

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE TRANSFORMADORES
DE POTENCIA SUMERGIDOS EN ACEITE**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR:

FREDY CARLOS DE LA CRUZ AGUIRRE

**PROMOCIÓN
2001-I**

**LIMA – PERÚ
2006**

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE
TRANSFORMADORES DE POTENCIA SUMERGIDOS EN ACEITE**

Dedico este trabajo a:

Mis padres, mi abuelita y hermanos,
por su apoyo incondicional su comprensión,
cuidados y motivación para lograr
siempre mis objetivos

SUMARIO

Este trabajo trata sobre las especificaciones técnicas de un transformador de potencia sumergido en aceite mineral aislante. Se describen las características generales, condición de operación, características eléctricas, y los requerimientos de diseño y construcción ceñidas a las normas descritas en el presente informe.

En el capítulo I se expone el objetivo y se menciona las normas a utilizar.

El capítulo II trata sobre las características generales, como condiciones normales de servicio y los niveles de aislamiento tanto internas como externas del transformador de potencia.

El capítulo III abarca el medio de refrigeración, según simbología estandarizada, límites permisibles de máxima temperatura de arrollamientos y el aceite mineral aislante.

En el capítulo IV trata sobre los devanados su especificación según las tolerancias.

El capítulo V trata sobre los bujes, capacidades frente a corto circuitos, resistencia a carga cantilever y distancia mínima de fuga para los diferentes niveles de polución.

El capítulo VI trata sobre la capacidad a soportar en magnitud, tiempo y límites de temperatura de los transformadores de potencia frente a cortocircuitos.

El capítulo VII trata de transformadores de corriente que se utiliza para protección y medición, en transformadores de potencia, sujetos a tolerancias.

El capítulo VIII trata sobre accesorios, los requisitos mínimos que deben cumplir en transformadores de potencia sumergidos en aceite mineral aislantes.

En el capítulo IX se describe un modelo de una especificación técnica.

ÍNDICE

PRÓLOGO	1
CAPÍTULO I	
DESCRIPCIÓN GENERAL	2
1.1 Objetivo	2
1.2 Normas Aplicables	2
CAPÍTULO II	
CARACTERÍSTICAS GENERALES	3
2.1 Condiciones Normales de Servicio	3
2.2 Nivel de Aislamiento y Distancias Externas en Aire	3
2.2.1. Factores de Corrección por Altitud	3
2.2.2 Nivel de Aislamiento	4
2.2.3 Niveles de Aislamiento para Devanados de Transformadores Sumergidos en Líquido Refrigerante	5
2.3.4 Distancia Externa en el Aire	9
CAPÍTULO III	
MEDIO DE REFRIGERACIÓN	18
3.1 Definiciones	18
3.1.1. Aditivo	18
3.1.2. Aditivo antioxidante	18
3.1.3. Aceite no inhibido	18
3.1.4. Aceite parcialmente inhibido	18
3.1.5. Aceite inhibido	18
3.2. Símbolos de identificación según el modo de refrigeración	18
3.3 Métodos de enfriamiento de transformadores de potencia	19
3.4 Líquidos refrigerantes y aislantes	20
3.5 Designación de los métodos de enfriamiento	21

3.5.1	Convección	21
3.5.2.	Conducción	21
3.5.3.	Radiación	22
3.6.	Especificaciones	22
3.6.1	Viscosidad	22
3.6.2.	Contenido de agua	23
3.6.3.	Tensión de ruptura dieléctrica	23
3.6.4.	Factor de disipación dieléctrica	23
3.6.5.	Acidez	23
3.6.6.	Tensión interfásica	23
3.6.7.	Contenido de azufre	24
3.6.8.	Estabilidad a la oxidación	24
3.6.9.	Formación de gases	24
3.6.10.	Punto de inflamación	24
3.6.11.	Hidrocarburos aromáticos policíclicos (PCA)	24
3.6.12.	Policloro bifenilos (PCB)	25

CAPÍTULO IV

ESPECIFICACIONES DE DEVANADOS Y SUS DERIVACIONES	27	
4.1	Devanados de los transformadores	27
4.2	Clases de regulación o variación de tensión,	28
4.2.1	Regulación o variación de tensión con flujo constante (R.T.F.C.)	28
4.2.2	Regulación o variación de tensión con flujo variable(R.T.F.V.)	28
4.2.3	Regulación mixta (R.T.F.M.)	28
4.3	Especificaciones de las Derivaciones para una Cotización o Pedido	28
4.4.	Especificaciones de la Impedancia de Corto-circuito	29
4.5	Pérdidas Bajo Carga e Incremento de Temperatura	29

CAPÍTULO V

BUJES AISLADORES PARA TENSIONES ALTERNAS SUPERIORES A 1000V	31	
5.1	Introducción	31
5.2	Buje	31

5.3.	Comportamiento de aisladores pasatapas en el campo eléctrico de alta tensión	31
5.4.	Características de los Aisladores pasatapas	33
5.5.	Valores Normalizados de la Tensión Nominal	36
5.6.	Valores Normalizado de la Corriente Nominal	36
5.7.	Valores Normalizados de la Corriente Térmica Nominal de Corta Duración	36
5.8.	Valores Mínimos de Resistencia de la Carga en Cantilever	36
5.9.	Mínima Distancia Nominal de Fuga	38
5.10.	Límites de Temperatura y Aumento de la Temperatura	39
CAPÍTULO VI		
APTITUD PARA SOPORTAR EL CORTOCIRCUITO		40
6.1.	Categoría de Transformadores	40
6.2.	Requisitos de Magnitud y Duración de Corriente de Cortocircuito	41
6.2.1.	Corriente de Corto Circuito Simétrica	41
6.2.2.	Corriente Asimétrica de Cortocircuito	43
6.2.3.	Duración de la Corriente Cortocircuitos	45
6.2.4.	Límites de Temperatura	46
CAPÍTULO VII		
TRANSFORMADORES DE CORRIENTE		22
7.1.	Valores Normalizado de la Corriente Primaria Nominales	47
7.2.	Intensidades de Corto Circuito Asignadas	47
7.3.	Límites de Calentamiento	48
7.4.	Clase de Exactitud	48
7.5.	Límites de Error de Corriente y Desplazamiento de Fase para los Transformadores de Corriente para Medida	48
7.7.	Requisitos para Transformadores de Corriente para Protección	49
7.7.1.	Factores Límites de Exactitud Normalizados	49
7.7.2.	Clase de Exactitud Normalizada	49
7.7.3.	Límites de Errores para Transformadores de Corriente para Protección	49

CAPÍTULO VIII

ACCESORIOS PARA TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS	51
8.1. Dispositivo para Puesta a Tierra del Tanque	51
8.2. Ruedas Orientables Planas y Dispositivo de Frenos	51
8.3. Dispositivos para Tracción y Apoyo del Gato Hidráulico	51
8.4. Válvulas para Toma de Muestras del Líquido Refrigerante	52
8.5. Válvulas para Recirculación y Drenaje del Líquido Refrigerante en el Tanque Principal	52
8.6. Indicador Magnético del Nivel del Líquido Refrigerante con do Contactos	52
8.7. Termómetro de Carátula con Dos Contactos	53
8.8. Dispositivo para Alivio de Sobrepresión con un Contacto	53
8.9. Placa de Características	53
8.10. Conmutador de Derivaciones bajo carga	54
8.11. Caja con Bornera para Señales de los Instrumentos	55
8.12. Radiadores Desmontable	55
8.13. Conexión Eléctrica Entre las Partes Metálicas	56
8.14. Tanque de Expansión	56
8.15. Dispositivos de Llenado del Tanque de Expansión	56
8.16. Válvula para Drenaje del Tanque de Expansión	56
8.17. Relé Buchholz	57
8.18. Deshumectador de Aire	57
8.19. Dispositivo de Alivio de Vacío o Presión	57
8.20. Imagen Térmica de los Devanados	58
8.21. Sistema de Ventilación Forzada	58
8.22. Gabinete de Control Ventilación	58
8.23. Ruedas Orientables con Pestaña para Riel	58
8.24. Base tipo Esquí o Patín	59
8.25. Válvulas para Independizar Relé Buchholz	59
8.26. Válvulas Mariposa para los Radiadores	59

CAPÍTULO IX

MODELO DE UNA ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	60
9.1 Objetivos	60
9.2 Normas Aplicables	60
9.3 Características generales	61
9.3.1 Tipo	61
9.3.2 Condiciones de Operación	61
9.3.3 Características Eléctricas	61
9.4 Requerimientos de Diseño y Construcción	62
9.4.1 Núcleo	62
9.4.2 Arrollamiento	62
9.4.3 Aisladores Pasatapas y Cajas Terminales para Cables	63
9.4.4 Tanque y Estructura Interior	64
9.4.5 Base	66
9.4.6 Equipo de Enfriamiento	66
9.4.7 Sistema de Conservación de aceite	67
9.4.8 Aceite para los Transformadores	68
9.4.9 Cableado de Control y Circuitos Auxiliares	68
9.5 Conmutador de Tomas Bajo Carga	69
9.5.1 Requerimientos de Diseño y Construcción	70
9.5.2 Requerimientos de Construcción	70
9.5.3 Gabinete de Control	71
9.5.4 Panel de control a distancia del cambiador de Tomas Bajo Carga	72
9.6 Accesorios	73
9.6.1 Relé Buchholz	73
9.6.2 Indicadores del Nivel de Aceite	74
9.6.3 Dispositivo de Detección de Temperatura	74
9.6.4 Relé de Presión, Nivel y Temperatura del Aceite	75
9.6.5 Regulador de Tensión	75
9.6.6 Válvulas de Descarga para sobrepresión	75
9.6.7 Válvulas y Grifos	75
9.6.8 Tableros y Cajas de Conexión	76
9.6.9 Ruedas para los Transformadores	76

9.6.10 Placas de Identificación	76
9.7 Datos Técnicos	77
CONCLUSIONES	90
ANEXOS	92
BIBLIOGRAFÍA	105

PRÓLOGO

El volumen contiene lo necesario para resolver los problemas relativos a las condiciones de las especificaciones técnicas de los transformadores de potencia, ceñidos a las normas internacionales que se mencionan en el presente informe para los requerimientos de diseño y construcción de estas máquinas eléctricas estáticas.

El tema aquí tratado se encuentra en las diferentes normas internacionales, nacionales y la literatura técnica de la especialidad, se a tratado de ser conciso en la exposición y desarrollo de los diversos capítulos, sin menos cabo de la amplitud necesaria que exige el conocimiento de los diversos capítulos.

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN GENERAL

1.1 Objetivo

Este trabajo tiene como propósito elaborar las Especificaciones Técnicas mínimas que deben cumplir los transformadores de potencia, en cuanto a diseño y fabricación.

1.2 Normas aplicables

Las norma internacional aplicable al presente trabajo, son las establecidas en la IEC “Internacional Electrotechnical Commission”.

Adicionalmente, como documentos de referencia, se emplearon las normas establecidas en la IEEE “The Institute of Electrical and Electronics Engineers”, las normas aplicables en diversos países, tales como las NTC “Normas Técnicas Colombianas”, IRAM “Instituto Argentino de Normalización” y AENOR “Asociación Española de Normalización.

CAPÍTULO II

CARACTERÍSTICAS GENERALES

A continuación se detallarán los valores de requisitos mínimos eléctricos así como recopilación de términos y definiciones según las diferentes normas tanto europea, norteamericana y la colombiana.

2.1 Condiciones Normales de Servicio

Las condiciones establecidas como normales para los transformadores por las normas son las que se designan en la tabla N° 2.1:

TABLA N° 2.1

Condiciones normales de servicio

	NTC	IEC	IEEE
Altitud (m)	<1000	<1000	<1000
Temperatura Ambiente (°C)	T _{promdiar} =30°C T _{amb} ≤40°C	-25°C a +40°C	T _{prom(24H)} ≤30°C T _{amb} ≤40°C

2.2 Nivel de Aislamiento y Distancias Externas en Aire

2.2.1 Factores de Corrección por Altitud

La tabla N°2.2 muestra los factores de corrección por altitud que se aplican a todos los aislamientos externos, o sea en contacto con el aire, de los equipos de media y alta tensión. para aisladores eléctricos situados en altitudes superiores a la normalizada de 1000m, el Nivel Básico de aislamiento de los aislamientos externos se reduce progresivamente a partir de los 1000m.

Estos factores de corrección están dadas según la norma IEC.

TABLA N° 2.2
Factores de corrección por altitud

Altitud(m)	Factor de corrección del nivel de aislamiento
1000	1.00
1200	0.98
1500	0.95
1800	0.92
2100	0.89
2400	0.86
2700	0.83
3000	0.80
3600	0.75
4200	0.70
4500	0.67

Estos valores de los factor de corrección del nivel de aislamiento están también indicados por la IEEE y la norma NTC.

2.2.2 Nivel de Aislamiento

Los transformadores se proveen designando la coordinación de los niveles de aislamiento al impulso de baja frecuencia y del nivel de aislamiento al impulso, sobre terminales de línea y nivel aislamiento de baja frecuencia sobre el terminal neutro.

La tensión del sistema y el tipo de transformador pueden influir en el nivel de aislamiento y en los procedimientos de prueba.

La norma Europea (IEC) considera los siguientes niveles de tensión:

- a. Transformadores con tensiones soportadas asignadas para arrollamientos con U_m 170kV.
- b. Transformadores con tensiones soportadas asignadas para arrollamientos con $U_m > 170kV$.

La norma americana IEEE, considera los siguientes niveles de tensión:

- a. Clase I: para transformadores de potencia con bobina de mayor tensión menores e iguales a 69kV.
- b. Clase II: para transformadores de potencia con bobina de mayor tensión desde 115 kV hasta 765 kV.

2.2.3 Niveles de Aislamiento para Devanados de Transformadores Sumergidos en Líquido Refrigerante

Los requisitos de aislamiento de los transformadores de potencia y ensayos de aislamiento correspondientes, se dan con referencia a arrollamientos específicos y sus bornes.

A cada arrollamiento de un transformador, tanto en el extremo de línea como en el de neutro, se le asigna un valor de tensión mas elevada para el material U_m .

Cuando se especifique un transformador sumergido en liquido refrigerante para operación a una altitud de 1000 m o menores, los niveles de aislamiento del aislamiento interno como de los niveles de aislamiento externo deben estar de acuerdo con las tablas N° 2.3 , N° 2.4 y N° 2.5, para sus respectivos tensiones máximas del equipo, mientras que para altitudes superiores a los 1000 m. Los niveles de aislamiento externos o sea en contacto con el aire se reducen progresivamente en función a la altura sobre el nivel del mar, por ello los niveles de aislamiento deben ser corregidos de acuerdo a los factores de corrección por altura según se indica en la tabla N° 2.2, por lo que, pueden ser necesario seleccionar bujes diseñados para niveles mayores de aislamiento que aquellos especificados para el aislamiento interno del devanado del transformador.

La Tensión máxima del Equipo y su Nivel de Aislamiento de cada devanado de un transformador se debe asignar un valor de tensión máxima del equipo U_m y su correspondiente nivel básico de aislamiento (NBI).

Las siguientes tablas N° 2.3, N° 2.4 y N° 2.5 muestran las tensiones máximas de equipo con sus respectivos niveles de aislamiento de impulso como nivel de aislamiento de baja frecuencia según la norma europea IEC, a continuación se hace una trascripción de las tablas tal como muestra dicha norma.

TABLA N° 2.3

Tensiones soportadas por arrollamientos de transformador con tensión más elevada para el material con $U_m \leq 170$ kV. Serie I basada en la práctica europea.

Tensión más elevada para El material U_m kV (valor eficaz)	Tensión soportada asignada de impulso tipo rayo kV (valor de cresta)	Tensión soportada Asignada inducida de corta duración o aplicada con CA kV (valor eficaz)
3,6	20	10
	40	20
7,2	60	28
12	75	38
17,5	95	50
24	125	70
36	145	95
	170	118
52	250	140
60	280	150
72,5	325	185
100	380	230
	450	275
123	550	325
145	650	
170	750	

NOTA: Las líneas punteadas pueden requerir ensayos adicionales fase a fase para demostrar que se cumple las tensiones soportadas fase a fases requeridas.

TABLA N° 2.4
Tensiones soportadas por arrollamientos de transformador con tensión más elevada para el material con $U_m \leq 169$ kV.
Serie II basada en la práctica Norteamericana.

Tensión más elevada Para el material U_m kV (valor eficaz)	Tensión soportada de impulso tipo rayo kV (valor de cresta)		Tensión soportada asignada inducida de cota duración o aplicada con CA kV (valor eficaz)	
	Transform. de distrib. (nota 1) y de clase I (nota 2)	Transfor. clase II (nota 3)	Transform. de distrib.. y de clase I	Transform. de clase II
15	95	110	34	34
	125	-	40	-
26,4	150	150	50	50
36,5	200	200	70	70
48,3	250	250	95	95
72,5	350	350	140	140
121		350		140
		450		185
145		550		230
		650		275
169		750		325

NOTA 1. Los transformadores de distribución transfieren energía desde un circuito de distribución primario a otro de distribución secundario.

NOTA 2. Los transformadores de potencia de clase I incluyen arrollamientos de alta tensión de $U_m \leq 72.5$ kV.

NOTA 3. Los transformadores de potencia de clase II incluyen arrollamientos de alta tensión de $U_m \geq 121$ kV.

TABLA N° 2.5

Tensiones soportadas asignadas para arrollamientos de transformador con $U_m > 170$ kV.

Tensión más elevada para el material U_m kV (V. eficaz)	Tensión soportada asignada de impulso tipo maniobra kV (V. de cresta)	Tensión soportada de impulso tipo rayo kV (V. de cresta)	Tensión soportada asignada inducida de corta duración o aplicada con CA KV (V. de cresta)
245	550	650	325
	650	750	360
	750	850	395
	850	950	460
	950	1050	510
300	850	1175	
	950	1050	
	1050	1175	
	1175	1300	
	1300	1425	
362	1300	1550	
	1550	1675	
	1675	1800	
	1800	1950	
	1950	2100	
420	1550	1675	Nota 3
	1675	1800	Nota 3
	1800	1950	Nota 3
	1950	2100	Nota 3
	2100		
550	1800		
	1950		
	2100		

NOTA 1 Las líneas punteadas no se ajustan a la Norma CEI - pero son práctica habitual en algunos países

NOTA 2 En transformadores uniformemente aislados con valores de niveles de aislamiento asignados con CA extremadamente bajos, pueden ser necesarias medidas especiales para llevar a cabo el ensayo de tensión inducida de corta duración en CA.

NOTA 3 No aplicable, salvo acuerdo en contrario

NOTA 4 Para la última columna, pueden requerirse tensiones de ensayo superiores para demostrar que las tensiones soportadas requeridas entre fases se alcanza. Esto es válido para los niveles de aislamiento más bajos asignados a las diferentes U_m de la tabla.

2.3.4 Distancia Externa en el Aire

Las distancias de aislamiento en el aire se entienden como las distancias en las que el campo eléctrico no es afectado por los aisladores pasantes (pasatapas), estas distancias de aislamiento que se fijan en las normas internacionales se consideran como mínimas no críticas que sean satisfactorias, sin necesidad de discusión.

Si el transformador de potencia se especifica para que opere a altitudes superiores a los 1000 m de altura, se deben incrementar los requisitos de distancias de aislamiento en el aire en 1% por cada 100 m que la altitud supere los 1000 m.

Las distancias de aislamiento a considerar son:

- Distancias de aislamiento en el aire fase a tierra y fase a neutro;
- Distancias de aislamiento en el aire fase a fase, entre fases del mismo arrollamiento;
- Distancias de aislamiento en el aire entre el borne de línea de un arrollamiento de alta tensión y el borne de línea de un arrollamiento de tensión inferior.

Las tablas N° 2.6, N° 2.7 y N° 2.8 están de acuerdo a la publicación de la norma europea IEC, a continuación se hace una transcripción de dichas tablas tal como se muestra en dichas normas.

La tabla N° 2.6 establece la distancia de aislamiento en el aire mínimas recomendadas entre fases y fases a tierra $U_m \leq 170$ kV serie I basada en la práctica europea.

La tabla N° 2.7 establece la distancia de aislamiento en el aire mínimas recomendadas entre fases y fases a tierra $U_m \leq 169$ kV serie II basada en la práctica Nortea Americana.

La tabla N° 2.8 establece la distancia de aislamiento en el aire mínimas recomendadas entre fases y fases a tierra $U_m > 170$ kV.

TABLA N° 2.6

**Distancia de aislamiento en el aire mínimas recomendadas fase a tierra, entre fases, fase a neutro y a arrollamientos de tensión inferior desde las partes en tensión de los pasatapas de transformadores de potencia que tengan arrollamientos con tensión más elevada para el material con $U_m \leq 170$ kV.
Serie I basada en la práctica europea**

Tensión más elevada para El material U_m kV (valor eficaz)	Tensión soportada asignada de impulso tipo rayo kV (valor de cresta)	Distancia de aislamiento en el aire mínima mm
3,6	20	60
7,2	40	90
12	60	110
17,5	75	170
24	95	210
36	125	275
52	145	280
72,5	170	450
100	250	630
123	325	830
145	450	900
170	550	1250
	650	1450
	750	

TABLA N° 2.7

**Distancias de aislamiento en el aire mínimas recomendadas fase a tierra, entre fases, fase a neutro y a arrollamientos de tensión inferior desde las partes en tensión de los pasatapas de transformadores de potencia que tengan arrollamientos con tensión más elevada para el material con $U_m \leq 169$ kV.
Serie II basada en la práctica Nortea Americana**

Tensión más elevada para El material U_m kV (valor eficaz)	Tensión soportada asignada de impulso tipo rayo kV (valor de cresta)	Distancia de aislamiento en el aire mínima mm
< 15	60 (vease la nota) 75 95 (Vease la nota) 110	65 (Vease la nota) 100 140 (Vease la nota) 165
26,4	150	225
36,5	200	330
48,3	250	450
72,5	350	630
121	450	830
145	550	1050
169	650 750	1250 1450

NOTA: Indica los valores solo para transformadores de distribución

TABLA N° 2.8

Distancias de aislamiento en el aire mínimas recomendadas fase a tierra, entre fases, fase a neutro y a arrollamientos de tensión inferior desde las partes en tensión de pasatapas de transformadores de potencia que tengan arrollamientos con tensión más elevada para el material con $U_m > 170$ kV.

Tensión más elevada para el material U_m kV (V. eficaz)	Tensión soportada asignada de impulso tipo		Distanc. de aislam. en el aire mínimas.		
	maniobra kV (V. eficaz)	rayo kV (V. cresta)	Fase -tierra mm (nota 1)	fase-fase mm (nota 1)	A otro Arrollam. mm (nota 2)
245	550	650	1250	1450	1250
		750	1500	1800	1450
300	750	850	1900	2250	1600
		950	2300	2650	1750
362	850	1050	2700	3100	1950
		1175			2200
420	950	1050	2300	2650	1950
		1175	2700	3100	2200
		1300	3100	3500	2400
		1425	3700	4200	2650
550	1300	1550	4400	5000	2850
		1675	4400	5000	3100
800	1550	1800	5000	5800	3300
		1950	5800	6700	3600
		2100			3800

NOTA 1 : Basada en tensión de impulso tipo maniobra

NOTA 2. Basada en tensión soportada de impulso tipo rayo.

NOTA 3. Las líneas punteadas no se ajustan a la Norma CEI, pero son práctica habitual en algunos países.

La tabla N° 2.9 es una transcripción de la IEEE, que señala las tensiones nominales, tensiones máximas del sistema y el nivel básico de aislamiento para sistemas normalizados por dicha norma para tensiones menores o iguales a 765 kV.

La tabla N° 2.10 es una transcripción de la IEEE, que señala la coordinación del nivel de aislamiento para transformadores de distribución y transformadores de potencia clase I.

La tabla N° 2.11 es una transcripción de la IEEE, que señala el nivel de aislamiento dieléctrico para transformadores de potencia clase II.

La tabla N° 2.12 es una transcripción de la IEEE, que señala las características eléctricas del aislamiento de los pasatapas de los transformadores para tensiones menores o iguales a 34.5 kV.

TABLA N° 2.9

Relationships of nominal system voltage to maximum system voltage and basic lightning impulse insulation levels (BIL) for systems 765 kV and below

Application	Nominal system voltage (Kv rms)	Maximum system voltage (from ANSI C84 -1-1995)(Kv rms)	Basic lightning impulse insulation levels (BIL) in common use (kV crest)			
Distribution	1.2	-	30	-	-	-
	2.5	-	45	-	-	-
	5.0	-	60	-	-	-
	8.7	-	75	-	-	-
	15.0	-	95	-	-	-
	25.0	-	150	125	-	-
	34.5	-	200	150	125	-
	46.0	48.3	250	200	-	-
	69.0	72.5	350	250	-	-
Power	1.2	-	45	30	-	-
	2.5	-	60	45	-	-
	5.0	-	75	60	-	-
	8.7	-	95	75	-	-
	15.0	-	110	95	-	-
	25.0	-	150	-	-	-
	34.5	-	200	-	-	-
	46.0	48.3	250	200	-	-
	69.0	72.5	350	250	-	-
	115.0	121.0	550	450	350	-
	138.0	145.0	650	550	450	-
	161.0	169.0	750	650	550	-
	230.0	242.0	900	825	750	650
	345.0	362.0	1175	1050	900	-
	500.0	550.0	1675	1550	1425	1300
765.0	800.0	2050	1925	1800	-	

TABLA N° 2.10
Dielectric insulation levels for distribution transformers and
Class I power transformers

Application	Basic lightning impulse insulation level (BII) (kV crest)	Chopped –wave impulse levels		Front – of- wave impulse levels		
		Minimum voltage (kV crest)	Minimum time to flashover (us)	Minimum voltage (kV crest)	Specific time to sparkover (us)	Low-frequency test level (kV rms)
	<i>Column 1</i>	<i>Column 2</i>	<i>Column 3</i>	<i>Column 4</i>	<i>Column 5</i>	<i>Column 6</i>
Distribution	30	36	1.0	-	-	10
	45	54	1.5	-	-	15
	60	69	1.5	-	-	19
	75	88	1.6	-	-	26
	95	110	1.8	-	-	34
	125	145	2.25	-	-	40
	150	175	3.0	-	-	50
	200	230	3.0	-	-	70
	250	290	3.0	-	-	95
	350	400	3.0	-	-	140
Power	45	50	1.5	-	-	10
	60	66	1.5	-	-	15
	75	83	1.5	-	-	19
	95	105	1.8	165	0.5	26
	110	120	2.0	195	0.5	34
	150	165	3.0	260	0.5	50
	200	220	3.0	345	0.5	70
	250	275	3.0	435	0.5	95
350	385	3.0	580	0.58	140	

TABLA N°2.11
Dielectric insulation levels for Class II power transformers

				Low Frequency test levels		
Nominal system voltage (kV)	Basic lightning impulse insulation level (BIL) (kV crest)	Chopped wave level (kV crest)	Switching impulse level (BSL) (kV crest)	Induced – voltage test (phase to ground)		Applied – voltage test level (kV rms)
				One hour level (kV rms)	Enhancement level (kV rms)	
Column 1	Column 2	Column 3	Column 4	Column 5	Column 6	Column 7
≤15	110	120	-	-	-	34
25	150	165	-	-	-	50
34.5	200	220	-	-	-	70
46	250	275	-	-	-	95
69	250	275	-	-	-	95
	350	385		-		140
115	350	385	280	105	120	140
	450	495	375	105	120	185
	550	605	460	105	120	230
138	450	495	375	125	145	185
	550	605	460	125	145	230
	650	715	540	125	145	275
161	550	605	460	145	170	230
	650	715	540	145	170	275
	750	825	620	145	170	325
230	650	715	540	210	240	275
	750	825	620	210	240	325
	825	905	685	210	240	360
	900	990	745	210	240	395
345	900	990	745	315	360	395
	1050	1155	870	315	360	460
	1175	1290	975	315	360	520
500	1130	1430	1080	475	550	-
	1425	1570	1180	475	550	-
	1550	1705	1290	475	550	-
	1675	1845	1390	475	550	-
765	1800	1980	1500	690	800	-
	1925	2120	1600	690	800	-
	2050	2255	1700	690	800	-

TABLA N° 2.12

Electrical insulation characteristics of transformer bushing (applies only to bushing 34.5 kV and below not listed in IEEE).

Outdoor bushing						Indoor bushing				
Power transformer						Distribution transformer s				
System voltage	Minimum creepage distance		60 Hz withstand		Impulse full wave dry withstand (kV)	60 Hz withstand		Impulse full wave dry withstand (kV)	60 Hz withstand 1 min dry	Impulse full wave dry withstand (kV)
			1 min dry	10 s wet		1 min dry	10 s wet			
(kV)	(mm)	(in)	(kV)	(kV)	(1.2/50us)	(kV)	(kV)	(1.2/50us)	(kV)	(1.2/50us)
1.2	-	-	-	-	-	10	6	30	-	-
2.5	-	-	21	20	60	15	13	45	20	45
5.0	-	-	27	24	75	21	20	60	24	60
8.7	-	-	-	-	-	27	24	75	30	75
8.7	178	7	35	30	95	-	-	-	-	-
15.0	-	-	-	-	-	35	30	95	50 ^d	110
18.0	-	-	-	-	-	42	36	125	-	-
25.0	-	-	-	-	-	-	-	-	60	150
34.5	-	-	-	-	-	-	-	-	80	200

CAPÍTULO III

MEDIO DE REFRIGERACIÓN

3.1 Definiciones

3.1.1. Aditivo

Viene hacer la sustancia química que se añade al aceite mineral para mejorar ciertas características.

3.1.2. aditivo antioxidante

Aditivo que se agrega al aceite mineral para mejorar la estabilidad a la oxidación.

3.1.3. Aceite no inhibido

Aceite mineral aislante que no contiene aditivos antioxidantes, pero puede contener otros aditivos

3.1.4. Aceite parcialmente inhibido

Aceite mineral aislante que según la norma IEC contiene hasta un 0.08% de aditivo antioxidante junto con otros aditivos.

3.1.5. Aceite inhibido

Aceite mineral aislante que según la norma IEC que contiene un mínimo de 0.08% y un máximo de 0.4% de aditivo antioxidante junto con otros aditivos.

3.2. Símbolos de identificación según el modo de refrigeración

Los Transformadores deberán designarse según el medio de refrigeración utilizado. Para transformadores sumergidos en aceite, dicha designación se realiza por medio de cuatro letras, estos códigos según las norma internacional IEC e:

Primera letra: Medio de refrigeración interno en contactos con los arrollamientos:

- O Aceite mineral o líquido aislante sintético con puntos de inflamación $\leq 300^{\circ}\text{C}$
- K Líquido aislante con punto de inflamación $> 300^{\circ}\text{C}$
- L Líquido aislante con punto de inflamación no medible

Segunda letra: Modo de circulación del medio de refrigeración interno:

- N Circulación natural por termosifón a través del sistema de refrigeración y en los arrollamientos.
- F Circulación forzada a través del sistema de refrigeración, circulación por termosifón en los arrollamientos
- D Circulación forzada a través del sistema de refrigeración, dirigida desde el sistema de refrigeración hasta al menos los arrollamientos principales.

Tercera letra: Medio de refrigeración externo.

- A Aire
- W Agua

Cuarta letra: Modo de circulación del fluido externo

- N Convección natural
- F Circulación forzada (ventiladores, bombas)
Así mismo comparte esta manera de designación del medio de refrigeración para transformadores la IEEE y la norma NTC.

3.3. Métodos de enfriamiento de transformadores de potencia

El calor producido por las pérdidas en los transformadores afecta la vida de los aislamientos, por esta razón es importante que este calor producido se disipe de manera que se mantenga dentro de los límites tolerables por los distintos tipos de aislamiento.

La transmisión del calor tiene las etapas siguientes:

- Conducción a través del núcleo, bobinas y demás elementos hasta la superficie.
- El calor se transmite por convección a través del aceite.

Los límites de calentamiento para los transformadores se dan de acuerdo a la norma IEC según tabla N ° 3.1:

TABLA N° 3.1.

Límites de calentamiento para transformadores

PARTE	MODO DE ENFRIAMIENTO	CIRCULACIÓN DE ACEITE	CALENTAMIENTO (°C)
Calentamiento en medio del arrollamiento medido por método de variación de la resistencia en el devanados con clase A de aislamiento.	<ul style="list-style-type: none"> • Natural • Por circulación Forzada. 	Natural Forzada	65
	<ul style="list-style-type: none"> • Por ventilación Forzada 	Forzada y dirigida a los devanados	70
Calentamiento en la parte superior del aceite en el transformador.			60

La norma NTC comparte estos límites de calentamiento de la norma IEC, sin embargo considera para el aceite en la parte superior el calentamiento debe ser de 60°C con tanque conservador y 55 °C sin tanque conservador.

Según norma IEEE57 contempla el límite de calentamiento:

- Líquido refrigerante en 65°C
- Temperatura para la bobina no debe exceder de 65°C
- Hottest -spot para la bobina a temperatura ambiente $\leq 80^\circ\text{C}$.

No se especifican límites numéricos para el calentamiento del núcleo, partes estructurales de la cuba y conexiones eléctricas fuera del arrollamiento.

3.4. Líquidos refrigerantes y aislantes

El calor producido por las pérdidas se transmite a través del aceite al exterior, dependiendo de los siguientes factores:

- La masa volumétrica
- El coeficiente de dilatación térmica.
- La viscosidad
- El calor específico

- La conductividad térmica

En condiciones geométricas y térmicas idénticas, el aceite es mejor conductor térmico que el aire, es decir resulta más eficiente para la disipación de calor.

Entonces podemos decir que el aceite cumple varias funciones en un transformador, siendo naturalmente el aislamiento y la refrigeración los más importantes. Otra de sus funciones consiste en transportar información sobre el estado de los componentes activos del transformador.

3.5. Designación de los métodos de enfriamiento

Los transformadores están por lo general enfriados por aire o aceite y cualquier método de enfriamiento empleado debe ser capaz de mantener una temperatura de operación suficientemente baja y prevenir puntos calientes en cualquier parte del transformador. El aceite se considera uno de los mejores medios de refrigeración que tiene además buenas propiedades dieléctricas y que cumple con las siguientes funciones:

- Actúa como aislante eléctrico
- Actúa como refrigerante
- Protege a los aislamientos sólidos contra la humedad y el aire

Con relación a la transferencia del calor específicamente, las formas en que se pueden transferir por un transformador son las siguientes:

- Convección
- Radiación
- Conducción

3.5.1 Convección

La transferencia de calor por convección se puede hacer en dos formas:

- por convección natural
- por convección forzada

3.5.2. Conducción

La conducción es normalmente un proceso lento por el cual se transmite el calor a través de una sustancia por actividad molecular. La capacidad que tiene una sustancia para conducir calor se mide por su conductividad térmica. Esta forma de transferencia de calor se presenta en el transformador en mayor o menor grado en algunas partes del transformador, como por ejemplo, del papel aislante al aceite aislante es por convección natural.

3.5.3. Radiación

Es la emisión o absorción de ondas electromagnéticas que se desplazan a la velocidad de la luz y representan en temperaturas elevadas un mecanismo de pérdida de calor. En el caso de los transformadores, la transferencia del calor a través del tanque y los tubos radiadores hacia la atmósfera es por radiación.

La selección del método de enfriamiento de un transformador es muy importante, ya que la disipación del calor, influye mucho en su tiempo de vida y capacidad de carga, así como en el área de su instalación y su costo.

3.6. Especificaciones

Deberán ser aceites aislantes minerales puros, producto de la destilación fraccionada de petróleo crudos, seleccionados y debidamente refinados.

Los aceites aislantes nuevos deberán estar exentos de materia extraña en suspensión o sedimentada. Los aceites deberán ser compatibles y no corrosivos, con todos los elementos que conforman los transformadores en los cuales se utilizan.

Los aceites se clasifican de acuerdo a su contenido de aditivo antioxidante, sin que se consideren como este, aquellos componentes propios del aceite que le dan características antioxidantes.

Los requisitos más importantes de un aceite de transformador se encuentran en la norma internacional IEC, donde estas cubren los requisitos mínimos de las especificaciones a adoptarse tal como muestra la tabla N° 3.2, que viene hacer la transcripción de dicha norma.

A continuación se detallarán los significados de algunos de ellos:

3.6.1 Viscosidad

La viscosidad de un aceite mineral es importante para la refrigeración de un transformador, es decir influye en la transferencia de calor y por lo tanto en el incremento de temperatura.

A menor viscosidad, el aceite circulará más fácilmente, es decir cuanto más alta viscosidad tenga el aceite serán peores las propiedades refrigerantes.

El aumento de temperatura reduce la viscosidad, y a menores temperaturas, mayor será la viscosidad.

3.6.2. Contenido de agua

El contenido de agua proporciona una indicación del contenido de agua en el material del papel, es decir una indicación alta de agua en el aceite, indicará un alto contenido de agua en el papel, dando como resultado un envejecimiento del papel, producido por la descomposición de la fibras, originando daños irreversibles que pueden conducir a una descarga eléctrica en el transformador.

Por lo tanto es necesario un bajo contenido de agua en el aceite mineral aislante para lograr una adecuada rigidez dieléctrica y unas bajas pérdidas por disipación y también para evitar la separación de agua libre.

3.6.3. Tensión de ruptura dieléctrica

Es la capacidad de resistir a sollicitaciones eléctricas en equipos eléctricos.

Según la norma IEC el aceite mineral aislante debe tener una rigidez dieléctrica como mínimo de 70 kV de tensión de ruptura dieléctrica.

Esta propiedad es compleja, y su valor depende del contenido de partículas, tipo de partículas, contenido de agua y método de prueba empleado.

Así mismo la cantidad de partículas puede verse influenciada por la carbonización de las partículas del aceite que ocasionan las descargas eléctricas parciales.

3.6.4. Factor de disipación dieléctrica

Es una medida de las pérdidas dieléctricas causadas por el aceite, un incremento del factor de disipación dieléctrica puede indicar contaminación por: humedad, partículas o contaminantes polares solubles o pobre calidad de refino.

3.6.5. Acidez

El aceite mineral debería ser neutro y libre de cualquier componente ácido, un valor alto de neutralización señala que el aceite a comenzado a oxidarse, es decir podrían originar corrosión, así como afectar sus propiedades eléctricas, incrementar la solubilidad del agua en el papel y con ello a la degradación del papel.

3.6.6. Tensión interfásica

Esta propiedad en el aceite mineral puede indicar para una baja tensión interfásica la presencia de contaminantes.

3.6.7. Contenido de azufre

En el aceite, las moléculas que contienen azufre pueden originar en características positivas, como negativas, así como determinadas tipos de azufre pueden corroer al cobre.

En el aceite mineral existe diferentes compuestos orgánicos sulfurados, esto depende del crudo, origen y el grado y tipo de refino.

3.6.8. Estabilidad a la oxidación

La oxidación se ve afectado por dos parámetros principales: oxígeno y temperatura. El aceite no se oxida sin el oxígeno ya que todos los aceites contienen en pequeñas cantidades aire, aun después del tratamiento. El calor acelera el deterioro del aceite, una regla empírica que no es aplicable a todos los aceites es que por el incremento de 10 °C, reduce la vida a la mitad.

La oxidación del aceite produce un incremento de la acidez y la formación de lodos.

3.6.9. Formación de gases

El aceite mineral del transformador siempre sufre una gasificación debido a descargas parciales, esto debido al desprendimiento de energía y con ello las moléculas se fragmentan, estos fragmentos son por ejemplo el H₂ y CH₄.

Las burbujas que se forman suponen un peligro para el transformador ya que estos gases no tienen las propiedades de aislamiento que tiene el aceite y ello puede originar descargas eléctricas.

La propiedad de absorción de gas están relacionadas con la aromaticidad del aceite lo cual esta sujeto a control indirecto por los requisitos de oxidación del aceite.

3.6.10. Punto de inflamación

La seguridad en la operación del transformador requiere un adecuado y alto punto de inflamación.

3.6.11. Hidrocarburos aromáticos policíclicos (PCA)

Los Hidrocarburos aromáticos policíclicos presentan propiedades deseables e indeseables que son las siguientes:

- a) propiedades deseables:
 - Inhibidores a la oxidación: esto se da durante el proceso de la oxidación dando origen a la destrucción de radicales.

- Alta absorción de gases.
 - b) propiedades indeseables:
 - Dentro de un campo eléctrico, las moléculas aromáticas ejercen un efecto negativo sobre las propiedades eléctricas.
 - Algunas moléculas son cancerígenas.
- Es por estas razones que se deben mantener en niveles aceptables en los aceites minerales aislantes.

3.6.12. Policloro bifenilos (PCB)

Los nuevos aceites minerales, derivados del petróleo, no contienen policloro bifenilos, debido a su impacto negativo sobre el medio ambiente, su uso se prohibió en muchos países.

Los policloro bifenilos tiene buenas propiedades eléctricas y su baja combustibilidad. El límite de detección de un pico individual es 0.1 mg/kg.

TABLA N° 1
Especificaciones Generales

PROPIEDADES	METODOS DE ENSAYO	LÍMITES DEL ACEITE DE	
		transformador	aparata conexión de baja temperatura
1. Función			
Viscosidad a 40 °C	ISO 3104	Máx 12mm ² /s	Máx 12mm ² /s
Viscosidad a -30 °C	ISO 3104	Máx 1800mm ² /s	-
Viscosidad a -40 °C	IEC 61868	-	Máx 400mm ² /s
Pto de congelación	ISO 3016	Máx 12mm ² /s	Máx -60°C
Contenido de H ₂ O	IEC 60814	Máx 30mg/Kg/40mg/Kg	
Tensión de ruptura dieléctrica	IEC 60156	Mín 30kV/70kV	
Densidad a 20°C	ISO 3675 o ISO 12185	Máx 0.895 gr/ml	
Factor de disipación dieléctrica a 90°C	IEC 60247 o IEC 61620	Máx 0.005	
2. Refino / estabilidad			
Aspecto	-	Limpio, libre de sedimentos y materia en suspensión	
Acidez	IEC 62021-1	Máx 0.01 mgKOH/g	
Tensión interfásica	ISO 6295	Sin requisitos Generales	
Contenido de azufre total	BS2000 parte 3730 ISO14596	Sin requisitos Generales	
Azufre corrosivo	DIN 51353	No corrosivo	
Aditivo antioxidante	IEC 60666	(U) aceite sin inhibir: no detectable (T) Aceite parcialmente inhibido: máx 0.08% (I) Aceite inhibido: 0.08-0.4%	
Contenido en 2- furtural	IEC 61198	Máx 0.1 mg/kg	
3. Presentaciones			
Estabilidad a la oxidación	IEC 61125 (método C) duración del ensayo (U) aceite sin inhibir: 164 h (T) aceite parcialmente inhibido: 332 h (I) Aceite inhibido: 500h		
Acidez total		Máx 1,2 mgKOH/g	
Lodos		Máx 0.8 %	
Factor de disipación dieléctrica a 90 °C	IEC 60247	Máx 0.500	
Formación de gases	IEC 60628,A	Sin requisitos Generales	
4. Salud, seguridad y medio ambiente (HSE)			
Pto. De inflamación.	ISO 2719	Mín 135 °C	Mín 100 °C
Contenido de PCA	BS 2000 parte 346	Máx 3%	
Contenido de PCB	IEC 61619	No detectable	

CAPÍTULO IV

ESPECIFICACIONES DE DEVANADOS Y SUS DERIVACIONES

4.1 Devanados de los transformadores

Los devanados de los transformadores se pueden clasificar en baja, media y alta tensión, esta distinción es de tipo global y tiene importancia para los propósitos de la realización práctica de los devanados debido a que los criterios constructivos para la realización de los devanados de baja tensión, son distintos de los usados para los devanados de alta tensión.

Las consideraciones que orientan desde el punto de vista de diseño, la disposición de los devanados, son aquellos referentes al enfriamiento, el aislamiento, la reactancia de dispersión y los esfuerzos mecánicos.

Los arrollamientos están dispuestos concéntricamente a las columnas del núcleo en la forma siguiente baja tensión al interior, media tensión y alta tensión al medio y regulación al exterior.

La forma constructiva de dichos arrollamientos es de discos continuos para baja, media y alta tensión.

Las uniones conductoras de corriente, excepto las conexiones roscadas, son soldadas con plata.

Los devanados están formados por bobinas redondas, fabricados con platina de cobre electrolítico de 99.9% de pureza.

Las bobinas son compactadas, ensambladas y aseguradas, teniendo en cuenta las expansiones y contracciones debidas a los cambios de temperatura, con el fin de suministrar rigidez para resistir el movimiento y distorsión producidos por condiciones de operación normales.

El aislamiento de los conductores es de papel para uso dieléctrico de pura celulosa.

En el aislamiento entre discos y entre arrollamientos se utiliza papel pressphan, calidad Transformer Board IV pre-prensado.

Las fuerzas radiales ocasionadas por un corto circuito son asumidas por el cobre y las fuerzas axiales por una adecuada construcción de los apoyos terminales del arrollamiento.

4.2. Clases de regulación o variación de tensión,

según el efecto de la variación de tensión sobre algunas características de un transformador que tenga derivaciones de un solo devanado, se deben distinguir tres clases de regulación.

4.2.1 Regulación o variación de tensión con flujo constante (R.T.F.C.)

La tensión en cualquier devanado sin derivaciones es constante cuando se cambia de derivación a derivación, en el devanado con derivaciones. La tensión es variable en los terminales del devanado con derivaciones y es proporcional a la amplitud de derivación.

4.2.2 Regulación o variación de tensión con flujo variable (R.T.F.V.)

La tensión de derivación en el devanado con derivaciones es constante cuando se cambia de derivación a derivación. La tensión en cualquier devanado sin derivaciones son variables e inversamente proporcional a la amplitud de derivación.

4.2.3 Regulación mixta (R.T.F.M.)

La tensión es variable en el devanado con derivaciones y en el (los) devanado(s) sin derivaciones.

Para este sistema se aplica lo siguiente:

R.T.F.C.

R.T.F.V.

4.3. Especificaciones de las Derivaciones para una Cotización o Pedido

Es necesario definir los siguientes datos para el diseño del transformador.

- a. Qué devanado debe tener derivaciones.
- b. El número de pasos y el paso de derivación, a menos que se especifique otra cosa, se debe asumir rango simétrico alrededor de la derivación principal y que los pasos de derivación del devanado con derivaciones son iguales, y si fuere desiguales, esto se debe indicar en la solicitud.
- c. Categoría de regulación de tensión y si la regulación mixta se aplica, el del punto de cambio (derivación de máxima tensión)

- d. Si existe limitación en la corriente máxima (derivación de potencia reducida), y en ese caso para que derivación se aplica.

En vez de los ítem c y d puede describirse una tabla en la placa de características.

La especificación de estos datos puede lograrse de dos maneras diferentes:

1. El usuario puede especificar todos los datos desde el comienzo en la cotización.
2. Alternativamente puede suministrarse un conjunto de casos de carga, con la potencia activa y reactiva indicando el sentido del flujo y sus tensiones bajo carga (valores extremos).

4.4. Especificaciones de la Impedancia de Corto-circuito

A menos que se especifique otra cosa, la impedancia de corto-circuito de un par de devanados debe ser referida a la derivación principal. Para transformadores con devanado de derivación con rango $>\pm 5\%$, los valores de impedancia también deben ser dados para las derivaciones extremas.

Una manera de especificar el valor de la impedancia de corto circuito en una solicitud de oferta, es indicar un rango aceptable entre los límites superiores y más bajos (como lo permiten las tolerancias), a través de todo el rango de derivación, dejando algún grado de libertad en el diseño, y originando una optimización económica.

4.5. Pérdidas Bajo Carga e Incremento de Temperatura

Si el rango de derivación es $>\pm 5\%$, y la potencia nominal es >2500 kVA, debe declararse para cada una de las derivaciones, además de la derivación principal, las pérdidas bajo carga referidas a su corriente de derivación.

Los límites de incremento de temperatura son válidos para todas las derivaciones en:

Potencias nominales de derivación

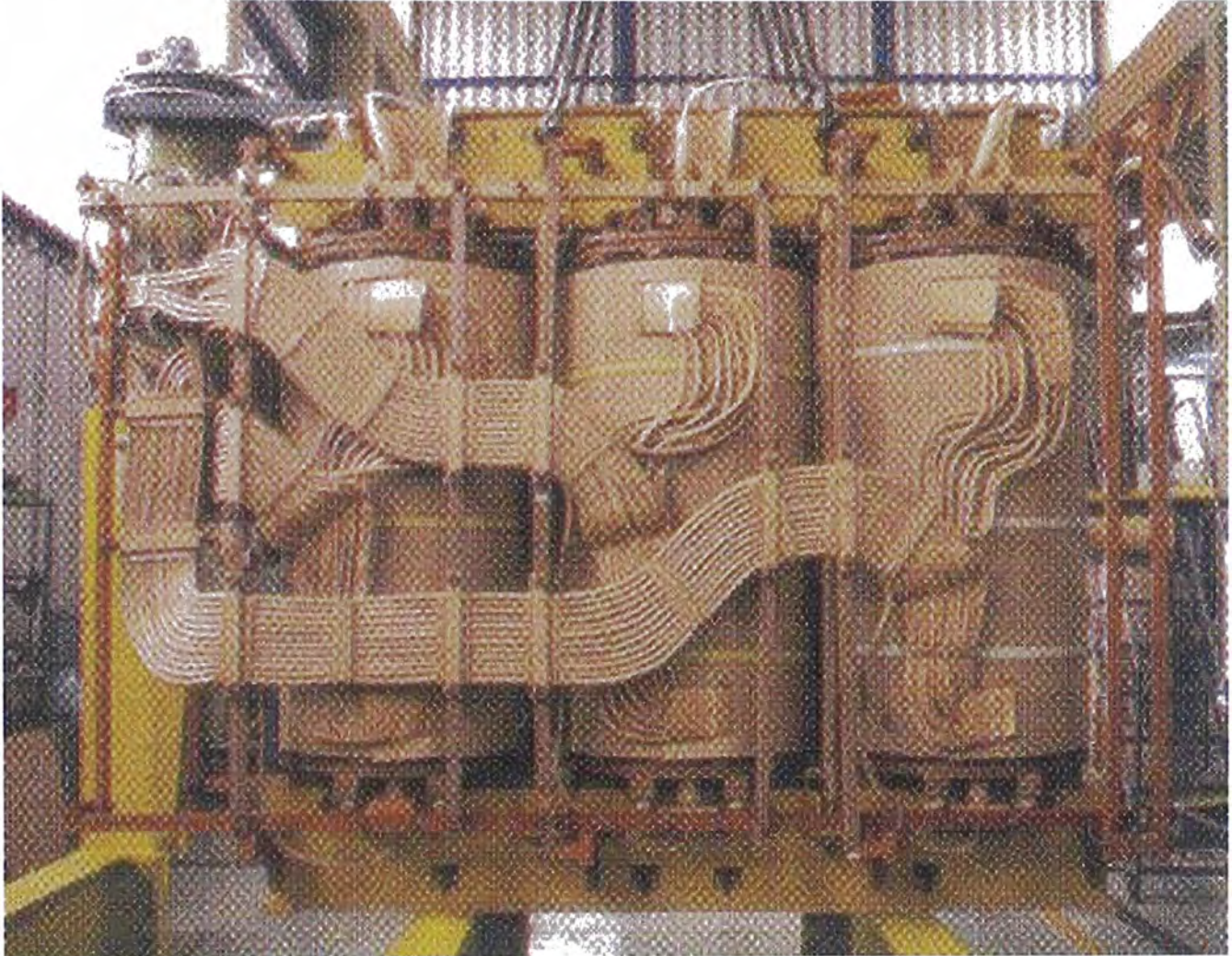
Tensión de derivación y

Corriente de derivación

Si se especifica el ensayo tipo de incremento de temperatura, esta se debe realizar sobre la derivación de máxima corriente (con pérdidas de cargas más altas)

Gráfico N° 4.1

Vista de los devanados y las derivaciones del transformador de potencia



CAPÍTULO V

BUJES AISLADORES PARA TENSIONES ALTERNAS SUPERIORES A 1000V

5.1. Introducción

A pesar de no ser uno de los componentes más costosos de un transformador, los pasatapas tienen una influencia importante en su confiabilidad y su calidad: Sin duda, los diseños estándar con cuerpo de papel impregnado en aceite y envolvente de porcelana cubrirán los requerimientos normales de pasatapas para transformadores para uso general, siempre que los pasatapas fueren diseñados correctamente y cuidadosamente fabricados.

Sin embargo existe un número creciente de instalaciones en las cuales requerimientos adicionales o requerimientos que exceden las especificaciones normales, hacen recomendable la utilización de pasatapas de diseño moderno, con cuerpos de papel impregnado en resina (RIP) y campanas de goma siliconada (SC). Particularmente la versión del pasatapas tipo seco, en el espacio entre el cuerpo y la envolvente relleno con material aislante seco en lugar de aceite para transformadores, ofrece una cantidad de ventajas.

5.2. Buje

Dispositivo que permite a uno o varios conductores pasar a través de una separación tal como una pared o un tanque, y los aísla de ésta. El medio de fijación a la separación forma parte del buje.

5.3. Comportamiento de aisladores pasatapas en el campo eléctrico de alta tensión

La función básica de un pasatapas es el seguro aislamiento de un conductor mediante una adecuada influenciación del campo eléctrico circundante, en la figura 5.1 se muestra esta distribución del campo eléctrico .

Figura N° 5.1
Campo Eléctrico alrededor del pasatapas

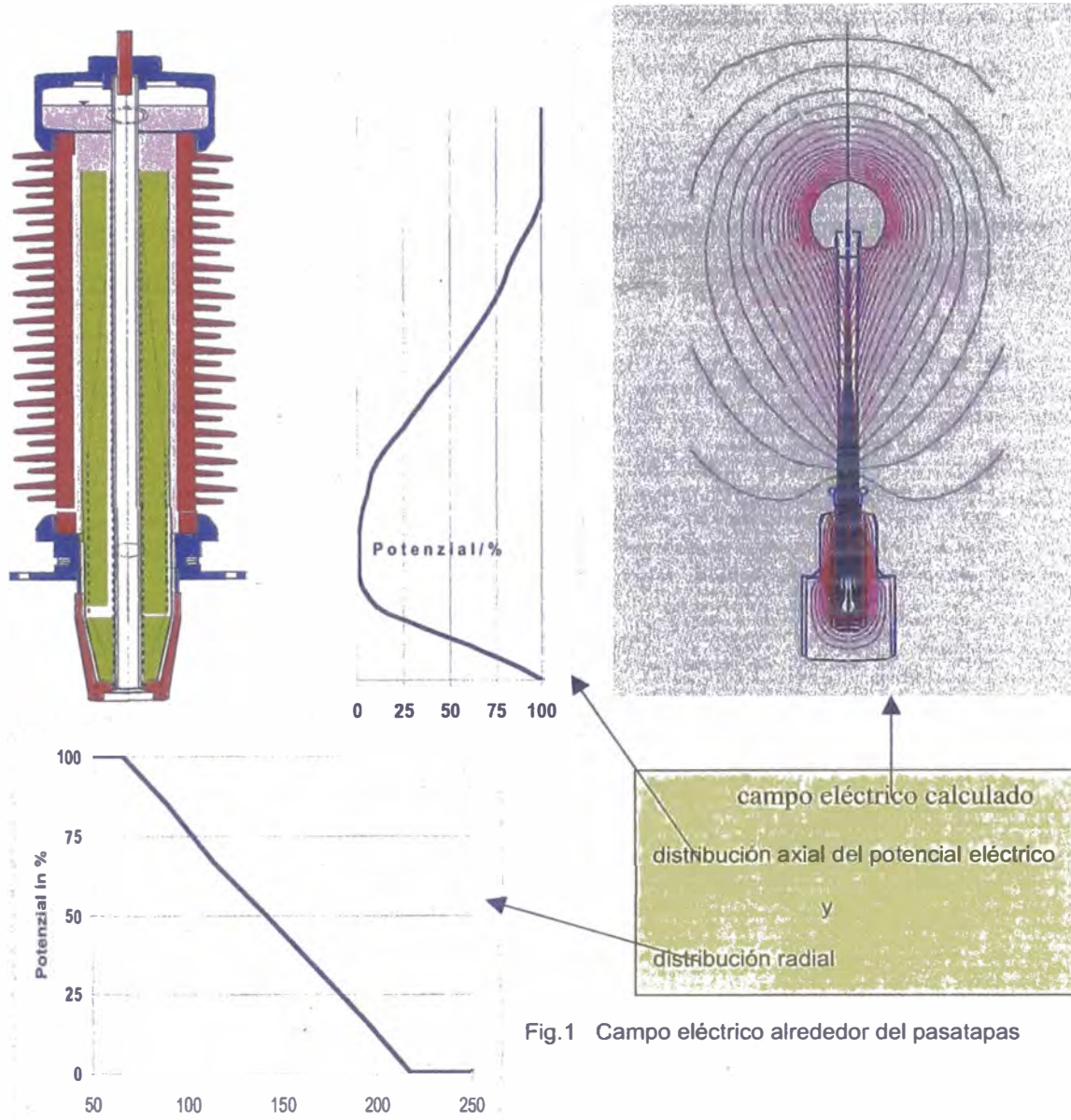


Fig.1 Campo eléctrico alrededor del pasatapas

5.4. Características de los Aisladores pasatapas

Los diferentes tipos de pasatapas cumplen los mismos requisitos; tienen el mismo principio de gradiente, pero son el resultado de diferentes estados de desarrollo, los tipos de pasatapas muy peculiares, basados en diferentes materiales aislantes y tecnologías son:

- Papel impregnado en resina (RIP)
- Papel impregnado en aceite (OIP)

Las características principales de los pasatapas de porcelana comparada con pasatapas compuestos se muestran en la tabla N° 5.1 son:

TABLA N° 5.1

Comparación de las características principales de pasatapas

Características de la porcelana	Características de los aisladores compuestos
<ul style="list-style-type: none"> • superficie lisa vidriada • superficie resistente a corrientes de fuga • larga duración de vida • estabilidad mecánica • fácil conformación • material económicamente razonable • precio reducido • reducida capacidad de soportar esfuerzos de flexión • grandes tolerancias de fabricación • sensible a cambios de temperatura • alto peligro de fragmentarse en caso de reventar • restringida resistencia contra presión • peso elevado • pequeña resistencia contra impactos • tiempo de entrega largo 	<ul style="list-style-type: none"> • superficie hidrofóbica • buenas características bajo polución • reducidas corrientes de fuga • tolerancias de fabricación pequeñas • peso reducido – fácil manejo • alta estabilidad mecánica • elasticidad en caso de flexionamiento • solución óptima contra sollicitaciones sísmicas • sin peligro por astillamiento, no revienta • sin peligro por fragmentos • resistente contra presión • tiempos de entrega considerablemente mas cortos • precio mas elevado

La tabla N° 5.2 muestra la comparación de las características con parámetros principales de los dos tipos de pasatapas.

TABLA N° 5.2

Comparación de características con parámetros principales de los pasatapas

	RIP	OIP
Características eléctricas		
Comportamiento con respecto a descargas parciales	característica de descargas parciales buena ,o sea tensión inicial >>tensión de operación	característica de descargas parciales buena ,o sea tensión inicial >>tensión de operación
Resistencia al arco eléctrico	Sin destrucción de la envolvente	La envolvente de porcelana revienta debido a altas temperaturas
Riesgo de reventar en caso de daño interno	no revienta	casi siempre revienta
Comportamiento frente a contaminación	debido a hidrofobia excelentes características	Porcelana es crítica en caso de fuerte contaminación
Comportamiento Sísmico		
Elasticidad	Estructura muy elástica fuerte amortiguamiento	Porcelana es frágil, reducido amortiguamiento
Riesgo a quebrarse	bajo / no existe	alto / casi siempre
Disponibilidad a operar después de un terremoto	si	no
Mantenimiento, posibilidades de control		
Trabajos de mantenimiento	inspección visual, esporádica, superficie aislante	inspección visual, superficie de la envolvente sistema de aceite completo
Parámetros a controlar	C, tan delta	C, tan delta, análisis de gas disuelto en aceite, valores del aceite
Posibilidades	2	>=4
Diversos		
Masa	0.8	1.0
Precio	1.2 tendencia a reducir	1.0
Tiempo de entrega	0.8	1.0

5.5. Valores Normalizados de la Tensión Nominal

Los valores normalizados según la norma internacional IEC de la tensión máxima y corriente nominal para bujes deben elegirse entre los valores siguientes en kilovoltios:

3.6-7.2-12-17.5-24-36-52-72.5-100-123-145-170-245-300-362-420-525-765

Así mismo comparte estos valores normalizados la Norma NTC2137

5.6. Valores Normalizados de la Corriente Nominal

Los valores de la corriente nominal según la norma internacional IEC para bujes se deben elegir entre los valores normalizados en amperios:

100-250-315-400-500-630-800-1000-1250-1600-2000-2500-3150-4000-5000-6300-8000-10000-12500-16000-20000-25000-31500-40000

Así mismo comparte estos valores normalizados la Norma NTC2137

5.7. Valores Normalizados de la Corriente Térmica Nominal de Corta Duración (I_{th})

La norma internacional IEC especifica que se debe cumplir lo siguiente:

Si: $I_{th}=25 I_r$ para $t_{th}=1 s$

Si: $I_r \geq 4000A$ entonces $I_{th}=100 KA$

Para bujes de transformadores siempre $t_{th}=2s$

Nota. Si $t_{th} \neq 1 s$, entonces siempre se cumple:

$I_{th} \times t_{th} = \text{constante}$

Así mismo para la corriente dinámica (I_d) especifica la norma IEC que debe tener una amplitud del primer pico de:

$I_d = 2,5 I_{th}$

Del mismo modo estos mismos valores están normalizados por la Norma NTC2137

5.8. Valores Mínimos de Resistencia de la Carga en Cantilever

Los bujes deben soportar la carga en cantilever, para carga normal (nivel I) y carga pesada (nivel II) según se indicada en la tabla N° 5.3, esta tabla es una transcripción tal como muestra las normas internacionales IEC.

TABLA N° 5.3

Valores mínimos de resistencia a la carga en cantilever

Tensión Nominal (kV)	Corriente nominal A							
	≤800		1000 1600		2000 2500		≥3150	
Carga de operación en cantilever N								
Buje instalado a ≤30° de la vertical								
	I	II	I	II	I	II	I	II
≤36	500	500	625	625	1000	1000	1575	1575
52	500	800	625	800	1000	1250	1575	1575
72.5 a 100	500	1000	625	1000	1000	1575	2000	2000
123 a 145	625	1575	800	1575	1250	2000	2000	2000
170 a 245	625	2000	800	2000	1250	2500	2000	2500
≥300	1250	2000	1250	2000	1575	2500	2500	2500
Buje instalado a >30° de la vertical								
	I	II	I	II	I	II	I	II
≤36	300	300	375	375	600	600	945	945
52	300	480	375	480	600	750	945	945
72.5 a 100	300	600	375	600	600	945	1200	1200
123 a 145	375	945	480	945	750	1200	1200	1200
170 a 245	375	1200	480	1200	750	1500	1200	1500
≥300	750	1200	750	1200	945	1500	1500	1500
Carga de ensayo en cantilever								
	I	II	I	II	I	II	I	II
≤36	1000	1000	1000	1250	2000	2000	3150	3150
52	1000	1600	1250	1600	2000	2500	3150	3150
72.5 a 100	1000	2000	1250	2000	2000	3150	4000	4000
123 a 145	1250	3150	1600	3150	2500	4000	4000	4000
170 a 245	1250	4000	1600	4000	2500	5000	4000	5000
≥300	2500	4000	2500	4000	3150	5000	5000	5000

Notas:

- El buje debe soportar la carga de operación en cantilever en cualquier dirección
- Para bujes en que las envolturas superior e inferior se ensamblan mediante presión sobre el conductor de fijación, se recomienda escoger la carga de ensayo en cantilever tomando en cuenta la expansión térmica del conductor debido al flujo de corriente nominal.

Así mismo estos valores mínimos de resistencia de la carga en cantilever se encuentran en la norma NTC.

5.9. Mínima Distancia Nominal de Fuga

La distancia de fuga según la norma internacional IEC se determina por:

$$dcs(\text{mm/kV}) \times Ur (\text{kV}) \times K_D \quad (5.1)$$

Donde:

dcs = es la distancia nominal mínima de fuga, cuyos niveles para los diferentes niveles de polución son:

I ligero	16 mm/KV
II medio	20 mm/KV
III pesada	25 mm/KV
IV muy pesado	31 mm/KV

K_D = es el factor de corrección dependiente del diámetro promedio D_m del aislador, cuyas clases son:

< 300 mm	$K_D=1$
300 a 500 mm	$K_D=1,1$
>500 mm	$K_D=1,2$

D_m : se determina según lo que indica la norma IEC 815.

La norma NTC comparte esta misma determinación de la distancia de fuga.

5.10. Límites de Temperatura y Aumento de la Temperatura

Los límites de la temperatura según norma IEC 137, de las partes metálicas en contacto con el material aislante bajo condiciones normales de operación son:

120 °C para papel adherido con resina e impregnado con resina: clase E

105 °C para papel impregnado con aceite: clase A
Valores que también son considerados según norma NTC.

CAPÍTULO VI

APTITUD PARA SOPORTAR EL CORTOCIRCUITO

Los transformadores deben ser diseñados y construidos para resistir, sin daños, los efectos térmicos y mecánicos de los cortocircuitos externos, tanto los transformadores de potencia y reguladores, inmersos en líquidos.

Los cortocircuitos externos no se limitan a los cortocircuitos trifásicos: ellos influyen a las fallas entre fases, entre dos fases y tierra y entre una fase y tierra.

Los elementos asociados a los transformadores y que conducen corriente en forma continua como es el caso de terminales, bujes, cambiadores de derivación bajo carga o desenergizados, transformadores de corriente, etc., deben cumplir los requisitos de duración y magnitud de cortocircuito que rigen para el transformador.

Al aumentar la corriente en los devanados como consecuencia del cortocircuito, las pérdidas en el cobre crecen proporcionalmente al cuadrado de la corriente produciéndose un incremento de temperatura. Al aumentar la temperatura del cobre el calor fluye en el aislamiento adyacente al conductor. Dicha transferencia depende de la capacidad térmica del aislamiento, esto determina una capacidad térmica efectiva del conjunto conductor-aislamiento.

6.1 Categoría de Transformadores

La norma IEC 76-5 reconoce tres categorías para transformadores trifásicos según su potencia nominal como se indica en la tabla 6.1:

TABLA N° 6.1

Categoría de los transformadores según IEC

CATEGORÍA	POTENCIA TRIFÁSICA KVA
I	hasta 3150
II	3150 a 40 000
III	Mayor de 40 000

Mientras que la norma IEEE67 reconoce cuatro categorías para transformadores como se indica en la tabla 6.2:

TABLA N° 6.2

Categoría de los transformadores según IEEE

CATEGORÍA	POTENCIA MONOFÁSICA KVA	POTENCIA TRIFÁSICA KVA
I	5 a 500	15 a 500
II	501 a 1667	501 a 5000
III	1668 a 10 000	5001 a 30 000
IV	Mayor de 10 000	Mayor de 30 000

Así mismo comparte esta clasificación la norma NTC 532.

6.2. Requisitos de Magnitud y Duración de Corriente de Cortocircuito

6.2.1. Corriente de Corto Circuito Simétrica (I)

Para los transformadores trifásicos con dos bobinas separadas, el valor eficaz de la corriente de cortocircuito simétrico **I** se calcula según la norma IEC como se indica en la fórmula 6.1:

$$I = \frac{U}{\sqrt{3}(Z_t + Z_s)} \quad , \text{ en kiloampere} \quad (6.1)$$

Siendo:

Z_s impedancia de cortocircuito de la red

$$Z_s = \frac{U_s^2}{S} \quad , \text{ en ohm por fase} \quad (6.2)$$

U_s es la tensión nominal de la red, en kilovolt y S es la potencia aparente de cortocircuito de la red en megavoltampere.

U y Z_t se definen del modo siguiente:

c) Para la toma principal:

U es la tensión nominal U_r del arrollamiento considerado, en kilovolt;

Z_t es la impedancia de cortocircuito del transformador referido arrollamiento considerado, y se calcula como sigue:

$$Z_t = \frac{z_t x U_r^2}{100 x S_r}, \text{ en ohm por fase} \quad (6.3)$$

Donde z_t es la impedancia de cortocircuito a corriente nominal y para la temperatura de referencia, expresada en porciento, y S_r es la potencia nominal del transformador en megavoltampere.

d) Para tomas diferentes a la toma principal

U es, salvo especificación en contrario, la tensión de toma del arrollamiento y para la toma considerada, en kilovolt;

Z_t es la impedancia de cortocircuito del transformador referida al arrollamiento y a la toma considerados, en ohm por fase.

Para los transformadores de la categoría I, en el cálculo $Z_s \approx 0$ si: $Z_s \leq 5\%Z_t$.

Mientras la norma IEEE define para la corriente de cortocircuito simétrica para transformadores de dos devanados según se indica:

$$I_{sym} = \frac{1}{Z} \quad (6.4)$$

$$I_{SC} = I_{sym} \times I_r \quad (6.5)$$

donde:

Transformadores categoría I y II:

$$Z = Z_T \quad (6.6)$$

Transformadores categoría III y IV:

$$Z = Z_T + Z_S \quad (6.7)$$

Si no se dispone de valores actuales de (X_0/X_1) se asume una relación de 2,0.

$$Z_s = \frac{kVA_{base}}{kVA_{sc}} \quad (6.8)$$

donde:

KVA base = KVA del transformador, con enfriamiento natural (OA)

KVA_{sc} = KVA de cortocircuito aportados por el sistema

Donde:

I_{sym} = valor en por unidad de la corriente simétrica de cortocircuito

I_{sc} = valor eficaz en amperios de la corriente simétrica de cortocircuito

I_r = valor eficaz en amperios de la corriente nominal del devanado para la posición del conmutador de posición (corriente base)

Z = impedancia en por unidad

Z_T = impedancia del transformador en por unidad.

Z_s = impedancia equivalente del sistema en por unidad.

De la misma manera que la IEEE define el cálculo de la corriente de cortocircuito lo define también la norma NTC.

6.2.2 Corriente Asimétrica de Cortocircuito

El valor pico de la corriente asimétrica en el primer ciclo, que debe soportar el transformador en ensayo será según la norma IEC:

$$I = I_x K_x \sqrt{2} \quad (6.9)$$

Donde el factor $K_x \sqrt{2}$, depende de la relación X/R, siendo:

$X = X_t + X_s$, en ohmios

$R = R_t + R_s$, en ohmios

Salvo especificación en contrario $K_x \sqrt{2} = 1,8 \sqrt{2} = 2,55$

La tabla N° 6.3 es una transcripción de la norma IEC que indica los diferentes valores a utilizar de X/R según esta norma.

TABLA N° 6.3
Valores del factor $K\sqrt{2}$

X/R	1	1,5	2	3	4	5	6	8	10	14
$K\sqrt{2}$	1,51	1,64	1,76	1,95	2,09	2,19	2,27	2,38	2,46	2,55
Nota. Para otros valores de X/R, puede determinarse por interpolación.										

según práctica de la norma IEEE la corriente asimétrica de cortocircuito esta definida como se indica a continuación:

$$I_{SC(PICO ASIM)} = K I_{sym} (A)$$

En la siguiente tabla N° 6.4, se muestran una relación de valores de K con diferentes valores de R/X, que es una transcripción de dicha norma.

TABLA N° 6.4
Valores del factor K

R/X	K
0,001	2,824
0,002	2,820
0,003	2,815
0,004	2,811
0,005	2,806
0,006	2,802
0,007	2,798
0,008	2,793
0,009	2,789
0,010	2,785
0,020	2,743
0,030	2,702
0,040	2,662
0,050	2,624
0,060	2,588
0,070	2,552
0,080	2,518

Estos valores de la tabla N° 6.4, se encuentran también en la norma NTC.

6.2.3. Duración de la Corriente Cortocircuitos

La duración de la corriente de corto circuito simétrico en los transformadores según la IFC es:

- $T = 2$ segundos
- Si: $I > 25$ veces la corriente nominal, puede ser $T < 2$ segundos, previo acuerdo entre fabricante y comprador.

según norma IEEE y la norma NTC estará limitada a los siguientes valores:

CATEGORÍA I:

$$T = \frac{1250}{I_{sym}^2}, \text{ en segundos}$$

CATEGORÍAS II, III, IV:

$$T = 2 \text{ s}$$

6.2.4 Límites de Temperatura

La temperatura del material conductor en los devanados del transformador bajo condiciones de cortocircuito no debe superar los siguientes valores según norma IEC:

- 250 °C para conductor de cobre
- 200 °C para conductor de aluminio.
- 105 °C para el aislamiento del arrollamiento clase térmica A

La norma IEEE y la norma colombiana NTC comparten estos límites señalados por la norma IEC.

CAPÍTULO VII

TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

La norma NTC 2205 referida a transformadores de corriente menciona a los transformadores de corriente nuevos para uso con instrumentos de medición eléctrica y dispositivos de protección eléctrica con frecuencias entre 15 Hz y 100 Hz.

7.1. Valores Normalizados de Corriente Nominales

Los valores normalizados de las corrientes primarias y secundaria nominales en amperios, en el transformador de corriente son según se indica en la tabla N° 7.1:

Tabla N° 7.1

Valores normalizados de corriente

corriente primaria	10 - 12,5 – 15 – 20 – 25 – 30 – 40 – 50 – 60 - 75
corrientes secundaria	1 - 2 - 5

A estos valores se le incluye sus múltiplos o fracciones decimales.

7.2. Intensidades de Corto Circuito Asignadas:

Los transformadores de intensidad previstos de arrollamiento primario bobinado, o formados por un solo conductor, deberán cumplir las prescripciones de la tabla N° 7.2:

TABLA N° 7.2

Intensidades de cortocircuito térmica de corta duración y dinámica

Corriente Primaria Nominal	Descripción de la bobina secundaria	Valor	Duración
Térmica de corta duración (I_{th})	cortocircuito	Valor eficaz	T = 1 segundo Sin sufrir daños perjudiciales
Dinámica (I_{dyn})	cortocircuito	Valor de cresta	I _{dyn} = 2.5 I _{th}

7.3. Límites de Calentamiento

El calentamiento de un transformador de intensidad no debe sobrepasar el valor apropiado que se indica en la siguiente tabla N° 7.3, que es una transcripción parcial de la norma IEC.

TABLA N° 7.3
Límites de elevación de temperatura de los devanados

Clase de aislamiento	Límites de calentamiento K
Todas las clases, con los arrollamientos sumergidos en aceite	60
Todas las clases, con los arrollamientos sumergidos en aceite y herméticamente sellados	65
Todas las clases, con los arrollamientos embebidos en una masa aislante bituminosa	50

7.4. Clase de Exactitud

El grado de exactitud de un transformador de medida se caracteriza por su clase de precisión:

Las clases de precisión normales de los transformadores de intensidad para medida según IEC son:

0,1 – 0,2 – 0,5 - 1 - 3 - 5

Estos mismos valores para la clase de precisión son establecidos por las normas NTC y la norma UNE.

7.5. Límites de Error de Corriente y Desplazamiento de Fase para los Transformadores de Corriente para Medida

Para los transformadores según su clase, el error de intensidad y el desfase a la frecuencia asignada no deberán sobrepasar los valores de la tabla N° 7.4, cuando la carga secundaria este comprendida entre el 25% y el 100% de la carga de precisión.

La tabla N° 7.4 es una transcripción de la norma IEC.

TABLA N° 7.4.

Límites de error para transformadores de corriente de medida

Clases de precisión	Error de intensidad en tanto por ciento \pm para los valores de intensidad expresado en tanto por ciento de la intensidad asignada				Error de fase \pm para los valores de intensidad expresados en tanto por ciento de la intensidad asignada							
					Minutos				Centirradiares			
	5	20	100	120	5	20	100	120	5	20	100	120
0,1	0,4	0,2	0,1	0,1	15	8	5	5	0,4	0,2	0,1	0,1
0,2	0,7	0,3	0,2	0,2	30	15	10	10	5	4	5	5
0,5	5	5	0,5	0,5	90	45	30	30	0,9	0,4	0,3	0,3
1,0	1,5	0,7	1,0	1,0	180	90	60	60	2,7	5	0,9	0,9
	3,0	5							5,4	1,3	1,8	1,8
		1,5								5		

Los valores de la tabla N° 7.4 son similares a los de la norma NTC.

7.7. Requisitos para Transformadores de Corriente para Protección

7.7.1. Factores Límites de Exactitud Normalizados

5 – 10 – 15 – 20 – 30

Valores según norma NTC.

7.7.2. Clase de Exactitud Normalizada

Para transformadores de corriente para protección, la clase de exactitud se designa por el máximo error compuesto porcentual permisible a la corriente primaria nominal límite de exactitud, prescrita para la clase de exactitud correspondiente, seguida por la letra P (significa protección)

clase de exactitud normalizada son:

5P y 10P

7.7.3 Límites de Errores para Transformadores de Corriente para Protección

A la frecuencia nominal y con una carga nominal conectada, el error de corriente, el desplazamiento de fase y el error compuesto no deben exceder los valores de la tabla N° 7.5.

La tabla N° 7.5 es una transcripción de la norma NTC.

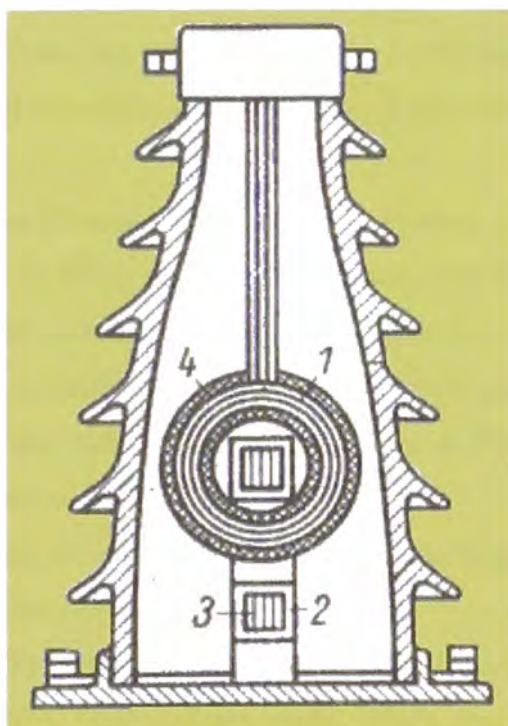
TABLA N° 7.5.

Límites de error para transformadores de corriente para protección

Clases de precisión	Error de corriente a corriente primaria nominal	Desplazamiento de fase a corriente primaria nominal		Error compuesto a corriente primaria con limite de exactitud nominal %
		minutos	centirradiaes	
5P	± 1	± 60	$\pm 1,8$	5
10P	± 3	-	-	10

Figura N°7.1

Ubicación del transformador de corriente en el interior del pasatapas



CAPÍTULO VIII

ACCESORIOS PARA TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS

8.1. Dispositivo para Puesta a Tierra del Tanque

Las normas IEC y la NTC, señalan que debe existir por lo menos dos puestas a tierra localizadas en las parte inferior del tanque, en segmentos diametralmente opuestos para conectar los conductores de la puesta a tierra. Así mismo señalan las capacidades de cortocircuito para cada una de las puestas a tierra debe ser de 20 kA durante 1 s, para transformadores con potencias menores o iguales a 5000 kVA y de 50 kA durante 1s, para las potencias comprendidas entre 5000 kVA y 10 000 KVA. Cada una de las puestas a tierra consiste preferiblemente en una placa de acero inoxidable o en una placa de acero cobrizado con espesor mínimo de cobre de 0,4 mm, ubicada de tal manera que no interfiera con los arreglos para elevación del transformador mediante el dispositivo de gato hidráulico u otros elementos.

8.2. Ruedas Orientables Planas y Dispositivo de Frenos

Las normas IEC y la NTC, para los transformadores señalan que deben tener cuatro ruedas planas para desplazar el transformador sobre superficie plana en dirección longitudinal y transversal. La distancia normal entre ruedas que recomiendan en ambas direcciones es de: 1505 mm entre centros para transformadores mayores a 5000KVA y de 1070mm entre centros para transformadores en 2500KVA Y 5000 KVA

El freno para ruedas es un sistema mecánico que bloquea el giro de las ruedas del transformador y evita su desplazamiento.

8.3. Dispositivos para Tracción y Apoyo del Gato Hidráulico

Según la norma NTC estos dispositivos deben tener el tamaño y la resistencia mecánica adecuados para levantar con gatos hidráulicos, el transformador completamente armado y lleno del líquido refrigerante.

Los dispositivos están diseñados con agujeros para hallarlo en las direcciones perpendicular y paralela a la línea central de los pasatapas de alta tensión.

8.4. Válvulas para Toma de Muestras del Líquido Refrigerante

Según la norma NTC todos los transformadores deben estar provistos de una válvula de máximo 12mm (1/2 pulgada) de diámetro para toma de muestras del líquido refrigerante del nivel inferior del tanque. La válvula debe ser hermética y se ubicará de tal manera que sea fácilmente accesible y deberá tener alguna protección contra golpes.

8.5. Válvulas para Recirculación y Drenaje del Líquido Refrigerante en el Tanque Principal

Según la norma IEC, especifica que las válvulas deben diseñarse para ser montadas en tuberías en cualquier posición y con cualquier orientación, deben resistir presiones de 200 kPa, mientras que para la condición de servicio deben soportar en el interior de la tubería desde el vacío hasta 100 kPa en posición abierto y 80 kPa en posición cerrado.

Según la norma NTC se dispondrán dos válvulas tipo cortina de 50mm (2 pulgadas) de diámetro, una en la parte superior del tanque del transformador que servirá para llenado o recirculación, en la parte inferior del transformador ubicadas de tal forma que permitan un fácil acceso.

La válvula inferior deberá proveer drenaje del líquido dentro del tanque hasta un máximo de 25mm desde el fondo.

8.6. Indicador Magnético del Nivel del Líquido Refrigerante con dos Contactos

Según la IEC el indicador de nivel de lectura directa debe ser de tipo DIAL, y debe estar dotado de un flotador macizo que opere por el principio de desplazamiento (no permite flotadores huecos), además sus contactos de alarma eléctrica, deben poseer una caja de bornes con un borne de puesta a tierra, así mismo estos bornes deben permitir conexiones de cables de 1.5 a 4 mm².

Según la norma NTC el transformador debe tener un indicador de nivel del líquido refrigerante de tipo magnético con escala de indicación del nivel normal y de los máximos del líquido refrigerante. El indicador debe tener dos contactos secos para dar una señal de alarma y otra de disparo.

8.7. Termómetro de Carátula con Dos Contactos

Según la norma NTC para indicar la temperatura del líquido refrigerante en la parte superior del transformador, se utilizará un termómetro de carátula con aguja de indicación de máxima temperatura y reposición manual. Deberá tener dos contactos ajustables para alarma y disparo que actuarán cuando la temperatura superior de líquido refrigerante alcance los valores seleccionados de temperatura.

Las dimensiones del dispositivo de acople del termómetro, así como el elemento sensor de temperatura, serán tales que el termómetro podrá ser instalado en el bolsillo o estuche dispuesto.

8.8. Dispositivo para Alivio de Sobrepresión con un Contacto

Según la norma NTC menciona que sobre la tapa o pared del tanque del transformador, se colocará un dispositivo de alivio de sobrepresión. La descarga de este dispositivo (si lo permite) estará orientada de tal forma, que el líquido refrigerante no pueda ser expulsado hacia los pasatapas en caso de una sobrepresión interna.

Así mismo señala que el dispositivo de alivio de sobrepresión debe tener un contacto para señal de disparo. La presión de operación del dispositivo se debe indicar en algún lugar visible del instrumento. Este dispositivo deberá ser diseñado para soportar presión de vacío. El diámetro del dispositivo debe estar de acuerdo con el tamaño del transformador.

8.9. Placa de Características

Según la norma NTC establece que todo transformador debe estar provisto de una placa de características, fabricada de material resistente, fijada en un lugar visible y las inscripciones deben ser de características indelebles, en la placa de características debe aparecer la siguiente información:

Nombre o razón social del fabricante.

Clase de transformador.

Número de serie dado por el fabricante.

Año de fabricación.

Número de fases.

Potencia nominal para cada método de refrigeración.

Frecuencia nominal.

Tensiones nominales, número de derivaciones y tensiones para cada una.

Corriente nominal.

Símbolo del grupo de conexión.

Tensión de cortocircuito a la corriente nominal, referido a 85 °C.

Método de refrigeración.

Tensión de serie de cada devanado.

Ubicación y marcación de terminales en el tanque.

Corriente de cortocircuito simétrica.

Duración del cortocircuito simétrico máximo permisible.

Volumen del líquido aislante.

Peso total.

Nivel básico de aislamiento de cada devanado, BIL o NBA.

Peso de la parte activa extraíble.

Peso para el transporte.

Diagrama de conexiones.

Líquido aislante.

Condiciones de instalación y aumentos de temperatura diferentes a los normalizados.

Nombre del cliente y número de contrato, cuando se conozca.

Presión y vacío del transformador.

Diagrama fasorial.

Material del devanado.

8.10. Conmutador de Derivaciones bajo carga

Según la normas IEC y la NTC, señalan que:

La conmutación se realizará sobre el arrollamiento de mayor tensión.

La cantidad de posiciones, sus designaciones y sus porcentajes de regulación serán especificados por el comprador.

El conmutador operara sumergido en aceite dentro de un recipiente estanco y tendrá un relevador de protección accionado por sobre presión o por flujo de aceite.

Deberá estar provisto de un accionamiento eléctrico y de otro manual, mediante manivela, con un seguro que impida efectuar simultáneamente las maniobras manual y eléctrica.

El conmutador poseerá un dispositivo para la operación paso a paso de modo tal que no pueda cambiarse mas de un escalón por cada escalón del comando. También deberá tener una protección contra funcionamientos en escalón incompleto y fuera de paso.

El conmutador a distancia deberá ser apto para el funcionamiento simultaneo de los conmutadores de dos o mas transformadores en paralelo. A pedido del comprador, cuando los transformadores estén destinados a funcionar en paralelo, se deberá prever la protección contra funcionamiento fuera de paso para dar señales de alarma y bloquear la operación simultanea de los conmutadores.

El motor de accionamiento del conmutador bajo carga tendrá protecciones térmicas, magnéticas y de falta de fase, con contactos auxiliares destinados a enviar señales de alarma al tablero, en caso de alguna falla.

Todos los elementos de accionamiento, de comando y protección del conmutador estarán dentro de un armario metálico para intemperie adosado al transformador, cuyo grado de protección serán al menos de IP44 (o si se solicita IP54).

Junto con el conmutador de tensión bajo carga, se suministrarán los pulsadores y el indicador de posiciones para el comando a distancia y, a pedido el regulador automático de tensión.

8.11. Caja con Bornera para Señales de los Instrumentos

Según la normas IEC y la NTC, consiste en una caja con protección para la intemperie IP-54 mínimo en donde llegan los cables de los elementos de protección del transformador debidamente identificados a una regleta de paso montada y desde donde partirá un cable para señales hasta el punto de control del transformador, debe estar ubicada sobre un soporte fijo al transformador a una altura accesible por el operario desde el piso. Debe fijarse internamente un plano con las indicaciones de accesorios y sus contactos correspondientes.

Según norma IEC deben aceptar cables como mínimo entre 1.5 mm^2 y 4 mm^4 .

8.12. Radiadores Desmontables

Los radiadores a emplear deben poderse montar y desmontar mediante bridas o planches con tornillos y empaques para facilitar a futuro su mantenimiento, reparación o transporte; las dimensiones serán fijadas por el fabricante del transformador.

8.13. Conexión Eléctrica entre las Partes Metálicas

Según la norma NTC menciona que debe haber una unión conductora entre partes metálicas ensambladas del tanque del transformador para uniformizar potenciales (tanque y tapa, tanque expansión y tanque principal, caja de control y tanque principal, caja de pasatapas y tanque principal, si aplica) mediante bujes roscados soldados a cada elemento y conectados con conector flexible (cable o laminilla) con tornillos que lo fijen.

8.14. Tanque de Expansión

Según la norma NTC para los transformadores a los cuales se aplique, tendrán un tanque de expansión del líquido refrigerante, con un volumen no menor al 11 % del volumen total del líquido refrigerante (el volumen total del líquido refrigerante se considera como el del tanque principal más el de los radiadores). El tanque se montará a un lado en la parte superior del tanque principal, con su eje principal perpendicular al eje de los pasatapas de A.T. El tanque será desmontable y podrá fijarse en los segmentos 2 o 4, a definir entre fabricante y comprador previamente a la fabricación, si fuera necesario.

El tanque debe estar previsto de una de sus tapas laterales desmontable para poder efectuar mantenimiento y limpieza.

8.15. Dispositivos de Llenado del Tanque de Expansión

Según la norma NTC el dispositivo de llenado del tanque de expansión estará localizado en la parte superior de éste sobre el eje de simetría longitudinal. Su cierre debe ser completamente hermético y apto para soportar las presiones que resulten del funcionamiento del transformador. El diámetro del dispositivo de llenado debe ser como mínimo de 19mm.

8.16. Válvula para Drenaje del Tanque de Expansión

Según la norma NTC el tanque de expansión debe tener una válvula de 12 mm (1/2 pulgada) de diámetro para efectuar el drenaje del tanque de expansión. El dispositivo estará localizado en el inferior del tanque sobre el eje de simetría longitudinal.

Cuando el transformador tenga conmutador bajo carga, el tanque de expansión dispondrá de dos compartimentos independientes y estancos entre sí. Uno para el transformador y otro para el conmutador, con todos los elementos y accesorios correspondientes al tanque principal.

8.17. Relé Buchholz

Según las normas IEC y la NTC, especifican para detectar la presencia de fallas que generen gases en el interior del transformador, se dispondrá en los transformadores con tanque de expansión un Relé Buchholz con dos flotadores y dos contactos, el cual irá instalado entre el tanque principal y el tanque de expansión del transformador, y dispondrá de válvula de purga o toma de muestra de gases y de botón de prueba de los contactos.

La norma IEC, menciona que el relé está sometido a una presión manométrica interior de funcionamiento continua de 50kPa, y debe ser capaz de soportar una presión de 250kPa durante 2 minutos.

El relé debe actuar en un tiempo de 0.5 s como máximo.

Las características eléctricas de los contactos deben soportar una corriente eficaz de 2A, y una corriente de corta duración de 10A durante 30ms, el tipo de contactos deben especificarse si son normalmente cerrados, normalmente abiertos o conmutados, y considera una vida mínima de los contactos de 1000 operaciones.

8.18. Deshumectador de Aire

Según las normas IEC y la NTC, especifica que el tanque de expansión estará en comunicación con el exterior a través del deshumectador de aire, cuya finalidad es secar el aire aspirado desde el exterior cuando se produce una variación de volumen en el líquido refrigerante, evitando así que penetre humedad en el transformador. El deshumectador tendrá en su interior, gránulos higroscópicos de silicato aluminico puro (silica gel) con un colorante que servirá de indicador, y deberá estar provisto de una trampa de aceite para que evite la exposición directa de la sílica con el aire del ambiente. La ubicación del deshumectador de aire permitirá que se puedan realizar labores seguras de supervisión y mantenimiento sin desenergizar el transformador.

El agente deshidratante generalmente son esferoides de silicagel debe tener una granulometría entre 2 mm y 7mm no debe estar muy polvoriento.

8.19. Dispositivo de Alivio de Vacío o Presión

Según las normas (IEC y NTC) los dispositivos de alivio de presión se usan frecuentemente, ya sean solos o en paralelo con un relé de control de caudal de líquido. Este dispositivo regulador que se instala para controlar valores máximos de presión y mínimo de vacío dentro del tanque con cámara de aire, sólo opera cuando las presiones o vacíos cambian

lentamente, no es una válvula de sobrepresión, se puede instalar en pared o tapa del tanque, los valores de presión y vacío son graduables por el fabricante del transformador.

Si el dispositivo de alivio de presión se utilizara como única protección, se instalaría normalmente con contactos que permitan disparar el interruptor del transformador.

Para este fin, a menudo se usa el diafragma de alivio de presión (disco de ruptura) o la válvula de alivio de presión, de tipo autosellado.

Ambos dispositivos se diseñan para asegurar una inmediata caída de presión, en caso de que exista presiones superiores a los valores permitidos, y así evitando daños mayores.

8.20. Imagen Térmica de los Devanados

Según la norma (IEC y NTC) es un termómetro que combina una señal térmica de la parte superior del aceite con otra señal eléctrica de las cargas actual del transformador para dar una lectura que simula la temperatura real del devanado. Debe estar provisto mínimo con 4 contactos graduables que sirven para el control de alarma, disparo y el manejo de prendido y apagado de ventiladores en caso de que los lleve.

8.21. Sistema de Ventilación Forzada

Según la norma NTC es un conjunto de ventiladores, soportes, cableados, diseñados para operación interior o intemperie según el montaje del transformador que permitan incrementar la potencia nominal (ONAN) en un determinado % acordado entre fabricante y comprador (típicos 15%, 25%, 33%). Siempre y cuando el transformador sea diseñado para tal fin.

8.22. Gabinete de Control Ventilación

Según la norma NTC es una caja de control instalada sobre soportes al transformador, con grado de protección acorde al montaje intemperie o interior, que contiene todos los elementos de control y protección de los ventiladores, provisto con una luz interior, higrostató y resistencia calefactora, con selector de operación manual o automática de los ventiladores. Puede incorporar las bornas de las otras señales de protección del transformador.

8.23. Ruedas Orientables con Pestaña para Riel

Según la norma NTC las ruedas que permiten el montaje sobre rieles de ferrocarril con dimensión estándar (de 70 mm en su parte superior). La pestaña evita que el transformador descarrile. Estas ruedas debe ser posible montarlas en direcciones paralelas a los ejes del transformador.

Las ruedas deben tener freno como un sistema mecánico que bloquea el giro de las ruedas del transformador y evitar su desplazamiento.

8.24. Base tipo Esquí o Patín

Según la norma NTC es una base adecuada en perfiles de acero lo suficientemente resistentes que el desplazamiento en los dos sentidos del transformador, bien sea arrastrado sobre piso o rodado sobre ejes.

Dimensionado de tal manera que el centro de gravedad del transformador no salga de los apoyos con una inclinación de 15° del transformador respecto a la horizontal.

8.25. Válvulas para Independizar Relé Buchholz

Válvulas instaladas sobre la tubería que conecta el tanque principal con el tanque de expansión y permiten retirar el Relé Buchholz para mantenimiento o cambio, pueden ser de diferentes tipos según el fabricante del transformador y el relé empleado.

8.26. Válvulas Mariposa para los Radiadores

Las normas IEC y la NTC, consideran que son válvulas colocadas entre el tanque principal y la parte superior e inferior de los radiadores. Independizan el radiador del tanque principal y permiten retiro o montaje de ellos para transporte o mantenimiento, debe tener una clara indicación en el mecanismo de operación, de la posición de abierto o cerrado de la válvula.

La norma IEC especifica que estas válvulas se diseñan para ser montadas en tuberías en cualquier posición y con cualquier orientación, deben resistir presiones de hasta 200 kPa, pero en condiciones de servicio deben soportar en el interior de la tubería desde el vacío hasta:

100 kPa en posición abierto

80 kPa en posición cerrado

CAPÍTULO IX

MODELO DE UNA ESPECIFICACIÓN TÉCNICA

9.1. Objetivos

Las presentes especificaciones técnicas tienen por objeto definir las condiciones de diseño y fabricación, para el suministro de los Transformadores de Potencia incluyendo sus accesorios.

9.2 Normas Aplicables

El conjunto del suministro será previsto de manera que el diseño y la fabricación deberán regirse de acuerdo a la última revisión las Normas IEC. Toda modificación a lo especificado en estas Normas deberá manifestarse claramente indicando la diferencia entre lo establecido y lo que se propone. Esta modificación en ningún caso será de un nivel técnico inferior a lo indicado en las Normas IEC vigentes. Las siguientes normas son aplicables:

Publication N° 60076	Power Transformers
76-1	Part 1: General
76-2	Part 2: Temperature rises
76-3	Part 3: (1980) Insulation levels and dielectric tests
76 3-1	Part 3: (1987) Insulation levels and dielectric tests. External clearances in air
76-5	Part 5: Ability to withstand short circuit
76-8	Power transformer – Application guide
Publication N° 60137	Bushing for alternating voltages above 1000 V
Publication N° 60214	On-load Tap Changers
Publication N° 60542	Application guide for on-load tap Changers
Publication N° 60354	Loading guide for oil-immersed power transformers
Publication N° 60551	Measurement of Transformer and Reactor Sound Levels

Adicionalmente se tendrá en cuenta las siguientes normas:

Normas VDE	0532
ANSI	C.57.12.30

9.3. Características Generales

9.3.1 Tipo

Los transformadores de potencia serán para servicio exterior, operación continua, devanados sumergidos en aceite, diseñado para dos (02) etapas de enfriamiento:

- Circulación natural de aceite y aire : ONAN.
- Circulación natural de aceite y forzada de aire : ONAF

El suministro solicitado estará equipado para las dos etapas de enfriamiento.

Deberán ser de sellado hermético y poseer todos los accesorios necesarios para su instalación completa.

Los transformadores serán trifásicos, y los devanados tendrán la siguiente designación:

- Devanado primario (Alta tensión) AT
- Devanado secundario (Media tensión) MT
- Devanado terciario (Baja tensión) BT

El transformador deberá contar con un dispositivo de conmutación de tomas bajo carga en el lado de AT, que permita regular la tensión en el lado de media tensión.

El neutro de devanados de AT y MT serán directamente conectados a tierra

Se deberá tener en consideración en el diseño el alto grado de contaminación existente en la zona del proyecto, por lo que el transformador y todos sus accesorios deberán tener un grado de protección IP65.

9.3.2. Condiciones de Operación

- a. El transformador debe ser diseñado para suministrar la potencia garantizada en forma continua, en todas sus etapas de enfriamiento y en todas las tomas de regulación.
- b. El transformador y su equipo de refrigeración deberán funcionar con un nivel de ruido que no exceda lo establecido por las normas indicadas en el numeral 2, a las condiciones de plena carga y con la ventilación forzada en servicio.
- c. Todas las piezas serán fabricadas con dimensiones precisas, de tal manera de garantizar su inter cambiabilidad.

9.3.3 Características Eléctricas

Las características eléctricas de los transformadores de potencia se indican en las Tablas de Datos Técnicos.

9.4 Requerimientos de Diseño y de Construcción

9.4.1 Núcleo

- a. 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.
- b. El armazón que soporta el núcleo será una estructura reforzada que reúna la resistencia mecánica adecuada evitando deformaciones permanentes en ninguna de sus partes; deberá diseñarse y construirse de tal manera que quede firmemente sujetado al tanque en ocho (08) puntos como mínimo tanto en la parte superior como en la inferior.
- c. El circuito magnético estará firmemente puesto a tierra con las estructuras de ajuste del núcleo y con el tanque, de tal forma que para que la conexión pueda soltarse de tierra se necesite retirar el núcleo. La conexión se efectuará con un cable de cobre, desde la parte superior del núcleo a la cubierta interior del tanque, quedando accesible desde la escotilla de inspección.
- d. 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 corto circuito. 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.
- e. La fijación de los núcleos, deberá estar prevista para soportar golpes propios de manipuleo y transportes de hasta 1.2 veces la aceleración de la gravedad (g)
- f. El Postor deberá presentar con su oferta una descripción completa de las características del núcleo, de los arrollamientos del transformador y de la fijación del núcleo al tanque.

9.4.2 Arrollamientos

- a. Las bobinas y el núcleo, completamente ensamblados, deberán secarse al vacío e inmediatamente después impregnarse de aceite dieléctrico.
- b. El aislamiento de los conductores será a base de papel de alta estabilidad térmica y resistencia al envejecimiento. Podrá darse a los arrollamientos un baño de barniz, con el

objeto de dar resistencia mecánica, más no para aumentar las propiedades dieléctricas del aislamiento.

- c. Todas las juntas permanentes que lleven corriente, a excepción de las roscadas, se soldarán eléctricamente o con autógena, empleando soldadura de plata o su equivalente en características eléctricas y mecánicas. La conexión de los arrollamientos a los bushings o aisladores pasatapas deberá conducirse por tubos guías y sujetarse rígidamente para evitar daños por vibraciones.

9.4.3 Aisladores Pasatapas y Cajas Terminales para Cables

- a. Las características de los aisladores pasatapas estarán de acuerdo con la última versión de las recomendaciones IEC, Publicación 137 y serán del tipo condensador para tensiones desde 34,5 kV en adelante. Los aisladores pasatapas desde 60 kV tendrán derivaciones al exterior para pruebas y su propia placa característica indicando su valor original de Capacitancia y Factor de Potencia.
- b. Todos los aisladores pasatapas serán de porcelana fabricada homogéneamente y libre de cavidades o burbujas de aire, el color será uniforme, sin manchas u otros defectos.
- c. Todos los aisladores pasatapas deben ser estancos a los gases y al aceite. El cierre debe ser hermético para cualquier condición de operación del transformador. Todas las piezas de los pasatapas montadas, excepto las empaquetaduras que puedan quedar expuestas a la acción de la atmósfera, deberán componerse totalmente de materiales no higroscópicos.
- d. Para los aisladores pasatapas de los arrollamientos de BT, se suministrarán terminales del tipo BANDERA con cuatro (04) agujeros dimensionados de acuerdo al standard ANSI.
- e. Los aisladores pasatapas deberán ser diseñados para un ambiente altamente contaminado e instalación al exterior con la línea de fuga indicada en la tabla de datos técnicos.
- f) El suministro incluirá los siguientes conectores terminales:
- Un conector terminal para cable de aleación de aluminio (AAAC) de 120 mm² de sección para el terminal de línea del lado de 138 kV.
 - Un conector terminal para cable de aleación de aluminio de 120 mm² de sección para el terminal del neutro del lado de 48 kV.
 - Dos conectores, para cable de energía de 300 mm² de sección por cada terminal del lado de BT

- g. El Postor incluirá en su propuesta una descripción detallada de los aisladores pasatapas, terminales y cajas de cables que permita conocer el equipo que propone suministrar.

9.4.4 Tanque y estructura interior

- a. El tanque del transformador será construido con chapas de acero de bajo porcentaje de carbón, de alta graduación comercial y adecuado para soldarse. Todas las bridas, juntas, argollas de montaje, etc., y otras partes fijadas al tanque deben estar unidas por soldadura. Deberá soportar por diez (10) minutos una presión interna equivalente a la presión de ruptura de la placa de ruptura (válvula de seguridad), con todos los accesorios instalados en el tanque. Deberá resistir y mantener continuamente un vacío apropiado para las operaciones de extracción de humedad y llenado de aceite.
- b. La tapa del tanque será empernada, en ella se dispondrá de una apertura (manhole) con tapa atomillada, que permita el fácil acceso de una persona al extremo inferior de los bushings o pasatapas. Todas las aperturas que sean necesarios realizar se harán de dimensiones apropiadas, circulares o rectangulares, de acuerdo a la capacidad y aislamiento del transformador.

Todas las aperturas que sean necesarios practicar en el tanque y en la cubierta, serán dotados de bridas soldadas alrededor, con el objeto de disponer de superficies que permitan hacer perforaciones sin atravesar el tanque, además de poder colocar empaquetaduras que sellen herméticamente los agujeros, ningún perno deberá pasar al interior de la tapa.

El tanque se reforzará con soportes que permitan su manejo con gatos mecánicos o hidráulicos, dichos soportes tendrán en su parte inferior y pegado al tanque, sobre los refuerzos verticales, un barreno de 2,54 cm de diámetro para maniobras de arrastre.

- c. El tanque y cualquier compartimiento conectado con él que este sujeto a las presiones de operación y todas las conexiones, juntas, etc., fijadas al tanque, deben estar diseñadas para soportar sin fugas o deformación permanente, una presión interna de 0.14 Mpa aplicada al transformador lleno de aceite durante un minuto.

Además, deberá diseñarse para soportar una presión absoluta hasta de 0,1 mm de Hg (100 micrones) al nivel del mar y a 30 grados de temperatura ambiente sin que se produzcan deformaciones permanentes, estando totalmente armado y cerrada la válvula de conexión al tanque conservador.

En la Placa de Identificación se indicarán las máximas presiones positivas y negativas que el tanque pueda soportar sin sufrir deformaciones.

El tanque estará provisto de asas de izado adecuadas para levantar el transformador completo, lleno de aceite.

- d. Todas las conexiones de tuberías al tanque deberán estar provistas de bridas. Todas las tuberías para el sistema de enfriamiento del aceite estarán provistas de válvulas de separación inmediatamente adyacentes al tanque y a las tuberías de distribución, estas válvulas tendrán un indicador de posición el cual juntamente con la válvula se mantendrán fijas mediante seguros empernados.

Todas las juntas con brida del tanque estarán provistas de empaquetaduras colocadas dentro de canales o mantenidas en posición por medio de topes. El material de las empaquetaduras deberá ser de nitrilo o una combinación de corcho - neoprene.

- e. El tanque estará provisto de dos bornes de cobre, tipo ANSI, para la puesta a tierra ubicados en dos extremos opuestos de la parte inferior del tanque. Cada conexión estará constituida por una placa de cobre de 85 mm² con dos pernos por lo menos.

- f. El tanque del transformador contará con las siguientes válvulas, bridas, etc., siendo ésta lista indicativa por tanto no representa limitación alguna.

- Válvula de descarga de sobrepresión de alta calidad ajustada para 0,05 MPa de sobrepresión interna.
- Válvulas para el tratamiento del aceite, situadas una en la parte superior y otra en la parte inferior del tanque.
- Grifos de prueba de aceite, de 19mm de diámetro tipo "gas" situadas una a 90% de la altura propiamente dicha del tanque y otro en la parte inferior del tanque.
- Válvulas de 3 vías para la conexión de la tubería del relé Buchholz.

- g. El transformador, deberá contar con ruedas orientables en planos perpendiculares (bidireccionales) con una distancia entre ruedas (normalizada) de 1505 mm x 1505 mm. Asimismo, deberá contar con anclaje antisísmico

- h. Los detalles de las ruedas, así como la disposición de las tuberías válvulas, etc., del tanque quedarán sujetas a la aprobación del Propietario.

En el diseño de estas partes se deberá tener en cuenta la disposición prevista para el transformador.

9.4.5 Base

La base del tanque será diseñada y construida de forma tal que el centro de gravedad del transformador, con o sin aceite (como normalmente se transporta), no caiga fuera de los miembros de soporte del tanque cuando el transformador se incline 15° respecto al plano horizontal. La base será tipo plataforma plana provista de apoyos adecuados para la colocación de gatos hidráulicos que permitan mover el transformador horizontalmente, completo y lleno de aceite. Para este fin, la base poseerá ruedas orientables de acero forjado o fundidas, de pestaña delgada, ubicadas adecuadamente para rodar sobre vía de rieles con una separación entre ejes de 1505 mm en la dirección longitudinal y transversal y se fijarán mediante pernos a los estribos del transformador.

9.4.6 Equipo de Enfriamiento

Se fijarán al tanque un número adecuado de unidades de enfriamiento. La capacidad de enfriamiento deberá ser suficiente para operar el transformador a su capacidad nominal aun cuando una unidad de enfriamiento esté fuera de operación.

El equipo de enfriamiento será suministrado completo con todos sus accesorios y comprenderá tuberías, radiadores, válvulas para las tuberías, ventiladores, gabinete de control, etc.

9.4.6.1 Sistema de enfriamiento tipo ONAN

- a. El sistema de enfriamiento ONAN, estará diseñada para permitir suministrar al transformador, en forma continúa, su potencia ONAN.
- b. El transformador estará provisto de un juego apropiado de radiadores, independientes entre sí.
- c. La construcción de los radiadores de aceite será de acuerdo con las prescripciones de las normas internacionales.
- d. El diseño de los radiadores deberá permitir un fácil acceso a todos los tubos, para inspeccionarlos y limpiarlos, con un mínimo de perturbaciones. Los radiadores tendrán asimismo dispositivos que permitan desmontarlos totalmente, así como válvulas para purga de aire. Todos los radiadores estarán provistos de asas de izado.
- e. Cada uno de los radiadores del transformador dispondrá de válvulas dispuestas convenientemente y diseñadas de tal forma que permita instalar y retirar los radiadores sin afectar las piezas del transformador.

9.4.6.2 Sistema de enfriamiento tipo ONAF

- a. El sistema de enfriamiento ONAF, estará diseñada para permitir suministrar al transformador, en forma continua, su potencia ONAF.
- b. Los ventiladores deberán estar instalados de tal modo que al entrar en funcionamiento el transformador no sean afectados o se aflojen. Asimismo el ruido de los ventiladores deberá ser lo más bajo posible y de acuerdo a las normas IEC o ANSI.
- c. Los motores que impulsen los ventiladores de enfriamiento serán alimentados en 220 Vac, 60 Hz y podrán operar hasta con 10% de caída de tensión. Asimismo estarán equipados con su correspondiente sistema de control y protección. El mando automático de estos ventiladores será controlado por contactos del relé de imagen térmica y el mando manual por medio de pulsadores de arranque – parada.
- d. El control de los motores del sistema de ventilación forzada será mediante contactores ubicados en la caja de mando junto con el sistema de operación manual.
- e. Cualquier problema en los motores de los ventiladores deberá ser detectado y señalizado por la alarma que corresponda.

9.4.7 Sistema de Conservación de Aceite

- a. El transformador estará provisto de un tanque conservador de aceite, con indicador de nivel de aceite provisto de contacto de alarma y desconexión.
- b. El tanque conservador estará provisto de un sistema en el cual el aceite esté aislado del aire exterior. Este sistema de preservación del aceite deberá ser, en principio un tanque de expansión del tipo diafragma.
- c. El diafragma será de goma de nitrilo y diseñado de forma que no esté sometido a esfuerzos mecánicos perjudiciales al nivel máximo ó mínimo del aceite en el conservador. La capacidad del depósito conservador será tal, que el nivel de aceite, en ningún caso, descienda por debajo del nivel de los flotadores del relé Buchholz.
- d. El conservador de aceite será calculado de tal modo que la expansión del aceite sea posible a una temperatura variante entre -20°C y 100°C. El conservador estará provisto de dos entradas de relleno con tapones y dos grifos de vaciado. La altura de ubicación de estos dispositivos será tal que sea accesible al personal de mantenimiento.

- e. El sistema de conservación de aceite deberá estar equipado con un respiradero deshidratante lleno de cristales de Gel de sílice (silicagel) y con ventanilla de observación. El respiradero deberá estar situado a una altitud conveniente sobre el nivel del suelo.
- f. El conservador estará equipado con tapón de drenaje, ganchos de levantamiento, válvulas para sacar muestra de aceite, ventanilla de observación del diafragma, abertura para el indicador de nivel.
- g. En el tubo de conexión entre el tanque principal y el tanque de conservación de aceite, se acoplará un relé Buchholz, el cual deberá estar perfectamente nivelado. Este tubo deberá tener una pendiente no menor de 8% para facilitar el flujo de gas hacia el tanque conservador
En la salida de los gases del relé Buchholz deberá conectarse un tubo que termina en un depósito del cual podrán tomarse muestras de gas, se contará con una válvula a continuación del depósito hacia la atmósfera, bajando por el costado del transformador hacia una altura de 1.80 m del nivel del patín inferior.

9.4.8 Aceite para los Transformadores

- a. El aceite necesario para el transformador, más una reserva de aproximadamente un cinco (5) por ciento del volumen neto de aceite, será suministrado con el transformador y embarcado separadamente en tambores de acero herméticamente cerrados. Los tambores llevarán el precinto de la refinería. Los transformadores se transportarán sin aceite, llenos de gas nitrógeno.
- b. El aceite dieléctrico será tal, que en su composición química no contenga sustancias inhibitoras, de acuerdo a lo establecido en la Norma IEC-60296.

9.4.9 Cableado de Control y Circuitos Auxiliares

- a. Todos los cables de control y los alimentadores de los circuitos auxiliares del transformador serán del tipo conductor de cobre cableado con aislamiento de PVC o equivalente, para una tensión máxima de servicio de 1000 V.
- a. El cableado que conecta las diferentes piezas, equipos o accesorios de los circuitos eléctricos propios del transformador, se efectuará utilizando cajas terminales y tubo de acero galvanizado rígido del tipo "Conduit" (o tubo flexible de acero galvanizado, según requerimiento).

9.5 Conmutador de Tomas bajo Carga

El equipo de conmutación de tomas bajo carga consistirá de un selector de tomas, un interruptor de arco inmerso en líquido, un motor de accionamiento y un control automático para una apropiada operación remota. Los requerimientos mecánicos y eléctricos para la interrupción del arco, el compartimiento, control automático, operación en paralelo con transformadores similares instrumentación y carga de los instrumentos del transformador serán los especificados en la norma IEC correspondiente. El aceite del compartimiento del conmutador se mantendrá separado del aceite del tanque principal.

El diseño será simple y robusto, con contactos de arco apropiados para una larga vida, capaces de realizar unas 500.000 operaciones bajo las condiciones de corriente y tensión nominal y los contactos del selector de cambio de tomas serán capaces de realizar 50.000 operaciones a plena carga sin tener partes a ser reemplazadas o reconstruidas. Cada conmutador de tomas ensamblado será capaz de soportar sin daño los esfuerzos producidos por la corriente de cortocircuito cuando el transformador sea sometido a corrientes de cortocircuito según los requerimientos de la Norma.

Los contactos móviles serán autoalineantes y en posición cerrado, aplicarán una presión contacto pesada. Todas las partes conductoras de corriente serán dimensionadas para asegurar que la elevación de temperatura no exceda de 10°C por encima de la temperatura standard del pasatapas adyacente bajo condiciones de plena carga.

El conmutador de tomas será diseñado para soportar las pruebas dieléctricas aplicadas al devanado al cual es conectado.

Adicionalmente el conmutador de tomas bajo carga tendrá las siguientes características:

- a. Las características propias del conmutador de tomas se indican en las tablas de datos técnicos.
- b. Los controles serán apropiados para operación automática, manual y remota.
- c. En todas las tomas se podrá operar con la potencia nominal ONAN y ONAF.
- d. El conmutador estará alojado dentro del tanque, pero en un compartimiento independiente con su respectivo tanque de expansión.
- e. El conmutador de tomas será controlado en el modo automático por un regulador de tensión instalado, junto con los accesorios necesarios, en un **Panel de control autosoportado**, que estará instalado en la sala de control.

9.5.1 Requerimientos de Diseño y Construcción

a. Sobre elevación de Temperatura

La sobreelevación de temperatura de los contactos del conmutador en aire y aceite no deberá exceder de 20°C y 65°C respectivamente y la temperatura total del punto más caliente en ningún caso deberá exceder de 105°C.

b. Capacidad de Interrupción

Los contactos de interrupción del conmutador bajo carga deberán ser capaces de interrumpir una corriente correspondiente al doble de la nominal y a la tensión nominal del paso, hasta por diez (10) veces la nominal además, deberán ser capaces de transportar en forma continua la corriente de cortocircuito.

9.5.2 Requerimientos de Construcción

- a. Todas las tomas del conmutador deberán ser diseñadas para la plena capacidad del transformador y deberán estar en el arrollamiento de AT
- b. El conmutador bajo carga deberá consistir, en principio, de selector de tomas, conmutador de derivación, conmutador de selector, resistencia de transición, mecanismos de accionamiento y dispositivos de control.
- c. El mecanismo de selección y conmutación de tomas y el resistor de transición (si este fuera el tipo) deberán estar sumergidos en aceite y ubicados en un compartimento independiente en el tanque del transformador. El compartimento del cambiador de tomas contará con un tanque auxiliar de compensación con un (01) indicador de nivel de aceite en dicho tanque.
- d. El conmutador de tomas bajo carga estará equipado con un relé que detecte las sobrepresiones internas en el compartimento del conmutador desenergizando el transformador. El relé no deberá actuar en operaciones normales del conmutador de tomas y del filtrado de aceite aún cuando el conmutador de tomas esté energizado.
- e. El compartimento del conmutador estará equipado con una placa de ruptura protegiéndolo de daños mayores ante aumentos anormales de la presión interna.
- f. Se considerarán medidas para prevenir el envejecimiento del aceite aislante en el compartimento del conmutador. El fabricante y/o el Contratista deberá recomendar dichas medidas en su Propuesta.

- g. Se evitará en lo posible, la utilización de cobre sin revestir en la estructura del conmutador de tomas con el fin de reducir la formación de cobre sulfurizado, debido al azufre activo en el aceite aislante.
- h. El mecanismo de accionamiento del conmutador de tomas deberá ser del tipo impulsado por motor eléctrico y deberá estar equipado con un dispositivo Indicador de posición.
- i. La capacidad de corriente nominal del conmutador de tomas no deberá ser menor que 150% de la corriente nominal del transformador.
- j. El conmutador de tomas deberá estar equipado con un sistema para el filtrado del aceite del compartimento. El sistema será capaz de ser operado aún cuando el conmutador de tomas esté energizado.

9.5.3 Gabinete de Control

El gabinete para el control del conmutador de tomas bajo carga deberá estar colocado cerca del compartimento del conmutador de tomas y deberá contar con los siguientes dispositivos:

- Interruptor automático de caja Moldeada : Un (01) lote
- Contactor magnético : Un (01) lote
- Interruptor de control para el conmutador de tomas : Un (01) juego
- Conmutador para control "remoto" "manual" : Uno (01)
- Indicador de posición para conmutador de tomas : Uno (01)
- Transmisor de posición del conmutador de tomas : Uno (01)
- Contador de operaciones : Uno (01)
- Dispositivo de control para conmutador de tomas : Un (01)
- Relés de protección para conmutador de tomas : Un (01) lote
- Lámpara piloto, (blanca) y lámparas de señales (roja y verde)
- Bloques de terminales : Un (01) lote
- Calentador eléctrico : Un (01) lote
- Otros dispositivos necesarios : Un (01) lote

Atención especial deberá ser puesta en el diseño del gabinete de control para prevenir la humedad, la oxidación y el polvo. Dado el alto grado de contaminación, el gabinete de control deberá tener grado de protección IP 65.

9.5.4 Panel de Control a distancia del Cambiador de Tomas Bajo Carga

El conmutador será controlado por un regulador automático de tensión ubicado en la Sala de Control de la subestación. Asimismo el conmutador podrá ser controlado manualmente desde la sala de control. Para tal efecto, el fabricante deberá suministrar los dispositivos de indicación de posición y control remotos, así como el regulador automático de tensión y el tablero de control donde estarán instalados estos equipos.

En el caso de un banco de transformadores monofásicos se suministrará un panel por cada banco y desde este panel se controlará los conmutadores de cada transformador.

La regulación de tensión se efectuará bajo el control automático y manual del Cambiador de Tomas, para lo cual se instalará en el panel la señalización correspondiente de las posiciones de las tomas del transformador o de los transformadores (en el caso de un banco de transformadores monofásicos), los selectores y el equipamiento necesario para elegir y operar el control manual y automático a distancia así como su visualización y manejo a distancia.

Contendrá el siguiente equipamiento mínimo.

Un (1) relé electrónico de regulación de tensión (90)

Un (1) indicador de posición a distancia de tomas, con 21 posiciones.

Un (1) conmutador selector de posiciones fijas con las siguientes funciones:

Mando manual

Apagado

Mando automático

Un (1) conmutador de mando con retorno a la posición central (apagado) por resorte, con las siguientes funciones:

Subir Toma

Apagado

Bajar Toma

El gabinete será de 0,6x0,6x2,0m, fabricado con perfiles estructurales y planchas de acero, de acabado liso con espesor no menor a 2,5 mm, puerta por la parte posterior con chapa y llave.

Las planchas de los extremos deben ser removibles de modo que permitan adicionar o eliminar paneles.

EL gabinete tendrá en la parte inferior una plancha metálica con una capa removible para el ingreso de los cables de control.

La puerta deberá llevar empaquetaduras para dotarse de un grado de protección IP-55.

Todas las partes metálicas serán limpiadas y protegidas contra óxidos mediante un proceso basado en fosfatos o equivalentes, el que será seguido inmediatamente por dos capas de impregnación de pintura anticorrosiva, añadiéndose las capas necesarias de acabado con sistema vinílico de color gris claro (ANSI 61).

Los paneles serán suministrados con orejas fijadas en la parte superior capaces de soportar el izamiento de todo el panel con su equipamiento completo.

El panel contendrá un calefactor a 220 VAC y de un tomacorriente para 600 V - 30 A.

Todos los cables deberán ser marcados adecuadamente, de tal forma que se identifiquen claramente los circuitos a los cuales pertenecen; además se instalarán dentro de canaletas de plástico de fácil acceso.

Debe proveerse borneras o regletas terminales para las conexiones de todos los cables de control, éstas serán previstas para operar a una tensión de 600 V y 30 A. Contarán con una cinta de marcación de material vinílico, de tal manera que, cada punto terminal y cada regleta estén debidamente identificados; las regletas o borneras deberán ser separadas en secciones que correspondan a funciones determinadas.

9.6 ACCESORIOS

Los siguientes accesorios deberán ser suministrados junto con el transformador de potencia.

9.6.1 Relé Buchholz

Cada transformador estará equipado con un relé Buchholz montado en el tubo de unión entre el conservador y el tanque del transformador. El relé Buchholz será del tipo antisísmico, de doble flotador, con dos juegos de contactos independientes.

El relé Buchholz estará provisto de grifos para sacar muestras y para dejar escapar el gas.

En caso de solicitarse un conmutador de tomas bajo carga para el transformador, se proveerá un relé Buchholz adicional, que se instalará en el compartimiento correspondiente al conmutador.

9.6.2 Indicadores del Nivel de Aceite

El transformador estará equipado con indicadores de nivel de aceite para el tanque del transformador y el conmutador, que puedan ser observados fácilmente desde el suelo, y que tengan una escala conveniente.

Los indicadores estarán montados en la pared lateral del conservador de aceite y estarán provistos de un contacto para alarma a nivel bajo y otro contacto para disparo de interruptor en caso que el nivel de aceite esté peligrosamente bajo.

9.6.3 Dispositivo de Detección de Temperatura

El transformador estará equipado con los siguientes dispositivos de detección de temperatura:

- Termómetros

Un (1) termómetro con escala graduada en grados centígrados para indicar localmente la temperatura del aceite.

El termómetro estará provisto de dos contactos de máxima temperatura, uno para alarma y otro para desconexión y será montado sobre la pared del tanque del transformador, a una altitud conveniente del suelo.

- Relé de Imagen Térmica

Uno (01) ó tres (03) equipos según se trate de transformadores de dos o tres devanados, para relé de temperatura de los arrollamientos de tipo "Imagen térmica", compuesto de un detector térmico, un transformador auxiliar de corriente y un adecuado cableado.

El relé de temperatura será usado, además, para indicación de temperatura de devanados por lo que estará provisto de un indicador de temperatura con escala graduada en grados centígrados e indicador de máxima temperatura; contendrá además cuatro (04) juegos de contactos ajustables independientemente, que se cerrarán automáticamente en secuencia con el aumento de la temperatura de los arrollamientos y que se abrirán automáticamente en la secuencia inversa con la disminución de la temperatura y que ejercerán las funciones siguientes:

Contacto 1: Dará señal de alarma por exceso de temperatura y ordenará el arranque de los ventiladores de la etapa ONAF.

Contacto 2: Dará alarma por exceso de temperatura.

Contacto 3: Ordenará disparo.

Contacto 4: Reserva

El Postor incluirá en su oferta una descripción detallada de los dispositivos de Imagen Térmica.

9.6.4 Relé de presión, nivel y temperatura del aceite

El transformador dispondrá de un relé de presión súbita, indicadores de nivel de aceite y temperatura del aceite todos ellos con contactos de alarma y disparo en dos niveles.

9.6.5 Regulador de Tensión

El regulador de tensión, si es que se solicita, controlará el cambiador de tomas del transformador y será de estado sólido con al menos las siguientes funciones:

- Control de tensión local: teniendo como referencia la tensión de uno de los homes del transformador.
- Control de tensión remota/simulación de línea de transmisión radial: teniendo como referencia la tensión de una barra remota controlable de un sistema radial, simulando la caída de tensión en una línea de transmisión.
- Control de tensión por señal externa de mayor jerarquía desde un centro de control.

9.6.6 Válvulas de descarga para sobrepresión

El transformador estará equipado con una válvula de descarga de sobrepresión o un dispositivo equivalente como equilibrador de sobrepresión. Esta válvula deberá dejar escapar cualquier sobrepresión interna mayor de 0,05 Mpa, causada por perturbaciones internas y volverá a cerrar después de haber actuado. La válvula estará equipada con contactos de alarma para indicar la actuación del dispositivo.

9.6.7 Válvulas y Grifos

Se preverán válvulas para las siguientes funciones:

- Drenaje de los tanques, de los conservadores y de los radiadores.
- Toma de muestras de aceite de los tanques y conservadores.
- Conexiones para filtración del aceite.
- Separación de las tuberías de los relés Buchholz del conservador de aceite y de los tanques principal y del conmutador.
- Purga de aire de los tanques, de los conservadores, de los radiadores, etc.
- Cierre de las diversas tuberías de aceite.

Todas las válvulas para aceite deberán ser de construcción apropiada para aceite caliente.

Las válvulas para las conexiones de filtración de aceite deberán corresponder a las prescripciones del equipo de tratamiento de aceite que el fabricante recomiende.

9.6.8 Tableros y cajas de conexión

Todos los cables eléctricos relacionados con accesorios del transformador, sistema de enfriamiento, etc., estarán conectados dentro de cajas metálicas de conexión o distribución.

Se suministrarán tableros convenientemente diseñados, para ser instalados sobre las paredes del transformador. Estos tableros tendrán compartimientos separados para circuitos de potencia, circuitos de mando y circuitos de señalización, con regletas de bornes adecuadas a la función.

Todos los interruptores, contactores y otros dispositivos de control para el equipo de enfriamiento tendrán que ser montados en una cabina de control. La cabina poseerá una puerta provista de bisagras y de una cerradura o manija con llave.

9.6.9 Ruedas para los Transformadores

Se suministrará un juego completo de ruedas orientables de acero forjado o fundido, de pestaña delgada, que se instalarán en la base del transformador.

9.6.10 Placas de Identificación

El transformador contará con una placa de identificación que se ubicará en un lugar de fácil accesibilidad para su lectura y se construirá de acero inoxidable. En esta placa se escribirán, en español, los datos concernientes a su fabricación, sus características eléctricas principales, los niveles de aislamiento, tensiones de cortocircuito, grupo de conexión, dimensiones generales, pesos tanto del aceite como totales. En forma adyacente se colocará una placa conteniendo los datos del conmutador bajo carga, la cual contendrá datos de su fabricación, cantidad de tomas, conexionado de las tomas y relación de transformación en cada toma.

Los aisladores pasatapas y los dispositivos de protección llevarán también una placa de identificación con la información necesaria de su fabricación y sus características principales.

9.7 Tabla de Datos Técnicos

TRANSFORMADOR DE POTENCIA TP1: 132/48/4.16 kV

ITEM	C A R A C T E R Í S T I C A S	UNIDAD	REQUERIDO	PROPUESTO
1.0	DATOS GENERALES			
1.1	- Fabricante			
1.2	Marca, modelo ó tipo			
1.3	País de origen			
1.4	Altitud de instalación	m.s.n.m.	3600	
1.5	Grado de Contaminación		Severo	
1.6	Temperatura mínima/máxima	°C	-10/25	
1.7	Clima		Seco-lluvioso	
2.0	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES			
2.1	- Tipo		Trifásico	
2.2	Devanados		3	
2.3	Frecuencia nominal		60	
2.4	Tensión nominal en toma central			
	Devanado de AT	kV	132/√3	
	Devanado de MT	kV	48/√3	
	Devanado de BT	kV	4.16	
2.5	Tensión máxima de Servicio:			
	Devanado de AT	kV	145/√3	
	Devanado de MT	kV	52.5/√3	
	Devanado de BT	kV	7.2	
2.6	Cambiador de tomas			
	Tipo		Bajo carga	
	Pasos		21	
	Rango de regulación		132/√3±10x1%	
2.7	Capacidad nominal para toma central - ONAN			
	Devanado de AT	MVA	14	
	Devanado de MT	MVA	7	
	Devanado de BT	MVA	7	

TABLA DE DATOS TÉCNICOS GARANTIZADOS
TRANSFORMADOR DE POTENCIA TP1: 132/ 48 / 4.16 kV

ITEM	C A R A C T E R Í S T I C A S	UNIDAD	REQUERIDO	PROPUESTO
2.8	Capacidad nominal para toma central - ONAF			
	Devanado de AT	MVA	18	
	Devanado de MT	MVA	9	
	Devanado de BT	MVA	9	
2.9	Conexión de devanados			
	Grupo de conexión		YNynd	
	Conexión Devanado de AT		Estrella con neutro a tierra	
	Conexión Devanado de MT		Estrella con neutro a tierra	
	Conexión Devanado de BT		Delta	
	Número de pasatapas			
2.10	Devanado de AT + neutro		3 +1	
	Devanado de MT + neutro		3 +1	
	Devanado de BT		3	
2.10	Tensión de cortocircuito			
	A 75°C, a 60 Hz, condición ONAN y toma de regulación en posición central y referido a potencia ONAN			
	- Entre primario - secundario	%		
	- Entre secundario - terciario	%		
	A 75°C, a 60 Hz, condición ONAN, toma de regulación indicada y referido a potencia ONAF			
	- Tap máximo: Entre primario - secundario	%		
- Tap mínimo: Entre primario - secundario	%			

TABLA DE DATOS TÉCNICOS GARANTIZADOS
TRANSFORMADOR DE POTENCIA TP1: 132/ 48 / 4.16 kV

ITEM	C A R A C T E R Í S T I C A S	UNIDAD	REQUERIDO	PROPUESTO
2.11	Corriente nominal devanado primario - (ONAN)			
	Toma correspondiente al 90% de Un	A		
	- Toma correspondiente al 100% de Un	A		
	- Toma correspondiente al 110% de Un	A		
2.12	Corriente nominal devanado secundario - (ONAN)	A		
	Corriente en vacío (% In)			
	- Al 90% de Un	%		
	- Al 100% de Un	%		
	Al 110% de Un	%		
2.13	Corriente de vacío:			
	- Al 90% de Un			
	- Al 95% de Un			
	- Al 100% de Un			
	Al 105% de Un			
	- Al 110% de Un			
2.14	Resistencia a la corriente de cortocircuito:			
	Devanado primario			
	- Valor pico de Icc inicial	kA RMS		
	- Valor eficaz de Icc durante 3 segundos	kA RMS	8	
	Devanado secundario			
	- Valor pico de Icc inicial	kA RMS		
	- Valor eficaz de Icc durante 3 segundos	kA RMS	8	
	Devanado terciario			
- Valor pico de Icc inicial	kA RMS			
- Valor eficaz de Icc durante 3 segundos	kA RMS	25		

TABLA DE DATOS TÉCNICOS GARANTIZADOS
TRANSFORMADOR DE POTENCIA TP1: 132/ 48 / 4.16 kV

ITEM	C A R A C T E R Í S T I C A S	UNIDAD	REQUERIDO	PROPUESTO
3.0	NIVELES DE AISLAMIENTO			
3.1	Aislamiento interno			
	- Devanado primario			
	Tensión de sostenimiento a frecuencia industrial	kV RMS	230	
	Tensión de sostenimiento al impulso 1.2/50 us (BIL)	kV RMS	550	
	- Neutro de devanado primario			
	Tensión de sostenimiento a frecuencia industrial	kV RMS	230	
	Tensión de sostenimiento al impulso 1.2/50 us (BIL)	kV RMS	550	
	- Devanado secundario			
	Tensión de sostenimiento a frecuencia industrial	kV RMS	95	
	Tensión de sostenimiento al impulso 1.2/50 us (BIL)	kV RMS	250	
	- Neutro de Devanado secundario			
	Tensión de sostenimiento a frecuencia industrial	kV RMS	70	
	Tensión de sostenimiento al impulso 1.2/50 us (BIL)	kV RMS	145	
	- Devanado terciario			
	Tensión de sostenimiento a frecuencia industrial	kV RMS	20	
	Tensión de sostenimiento al impulso 1.2/50 us (BIL)	kV RMS	60	
3.2	Aislamiento externo			
	- Devanado primario			
	Tensión de sostenimiento a frecuencia industrial	kV RMS	325	
	Tensión de sostenimiento al impulso 1.2/50 us (BIL)	kV RMS	750	

TABLA DE DATOS TÉCNICOS GARANTIZADOS
TRANSFORMADOR DE POTENCIA TP1: 132/ 48 / 4.16 kV

ITEM	C A R A C T E R Í S T I C A S	UNIDAD	REQUERIDO	PROPUESTO
	- Devanado secundario			
	Tensión de sostenimiento a frecuencia industrial	kV RMS	140	
	Tensión de sostenimiento al impulso 1.2/50 us (BIL)	kV RMS	325	
	- Neutro de Devanado secundario			
	Tensión de sostenimiento a frecuencia industrial	kV RMS	95	
	Tensión de sostenimiento al impulso 1.2/50 us (BIL)	kV RMS	250	
	- Devanado terciario			
	Tensión de sostenimiento a frecuencia industrial	kV RMS	28	
	Tensión de sostenimiento al impulso 1.2/50 us (BIL)	kV RMS	75	
4.0	AISLADORES PASATAPA			
4.1	Aislador del lado primario			
	- Fabricante			
	- Tipo			
	- Material		Porcelana	
	- Corriente nominal	A		
	- Corriente de cortocircuito de corta duración (3 seg.)	kA		
	- Corriente de cortocircuito dinámica	kAp		
	- Línea de fuga	mm/kV	25	
	- Distancia de arco	mm		
	- Carga de flexión	N		
4.2	Aislador del neutro del lado primario			
	- Fabricante			
	- Tipo			
	- Material		Porcelana	
	- Corriente nominal	A		
	- Corriente de cortocircuito de corta duración (3 seg.)	kA		

TABLA DE DATOS TÉCNICOS GARANTIZADOS
TRANSFORMADOR DE POTENCIA TP1: 132/ 48 / 4.16 kV

ITEM	C A R A C T E R Í S T I C A S	UNIDAD	REQUERIDO	PROPUESTO
	<ul style="list-style-type: none"> - Corriente de cortocircuito dinámica - Línea de fuga - Distancia de arco - Carga de flexión 	<ul style="list-style-type: none"> kAp mm/kV mm N 	25	
4.3	Aislador del lado secundario <ul style="list-style-type: none"> - Fabricante - Tipo - Material - Corriente nominal - Corriente de cortocircuito de corta duración (3 seg.) - Corriente de cortocircuito dinámica - Línea de fuga - Distancia de arco - Carga de flexión 	<ul style="list-style-type: none"> A kA kAp Mm/kV mm N 	Porcelana	
4.4	Aislador del neutro lado secundario <ul style="list-style-type: none"> - Fabricante - Tipo - Material - Corriente nominal - Corriente de cortocircuito de corta duración (3 seg.) - Corriente de cortocircuito dinámica - Línea de fuga - Distancia de arco - Carga de flexión 	<ul style="list-style-type: none"> A kA kAp mm/kV mm N 	Porcelana	
4.5	Aislador del lado terciario <ul style="list-style-type: none"> - Fabricante - Tipo - Material - Corriente nominal - Corriente de cortocircuito de corta duración (3 seg.) 	<ul style="list-style-type: none"> A kA 	Porcelana	

TABLA DE DATOS TÉCNICOS GARANTIZADOS
TRANSFORMADOR DE POTENCIA TP1: 132/ 48 / 4.16 kV

ITEM	CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	REQUERIDO	PROPUESTO
	<ul style="list-style-type: none"> - Corriente de cortocircuito dinámica - Línea de fuga - Distancia de arco - Carga de flexión 	<ul style="list-style-type: none"> kAp mm/kV mm N 		
5.0	LÍMITES DE ELEVACIÓN DE TEMPERATURA			
5.1	Sobre elevación de temperatura límite, a potencia nominal (ONAN/ONAF)			
	a) En devanados (medido por el método de resistencias)	°C	65	
	b) En aceite, parte superior (medido por termómetro)	°C	60	
5.2	Capacidad de sobrecarga permanente en condición ONAF, excediendo la temperatura de los devanados indicada en 3.10 en 5°C:			
6.0	PÉRDIDAS GARANTIZADAS			
6.1	Pérdidas en vacío a la tensión nominal, frecuencia nominal y toma de regulación en posición central	kW		
6.2	Pérdidas totales en el cobre con corriente nominal, 75°C, a 60 Hz y toma de regulación en posición central:			
	- al 100% de carga en condición ONAN	kW		
	- al 75% de carga en condición ONAN	kW		
	- al 50% de carga en condición ONAN			
	- al 25% de carga en condición ONAN			

TABLA DE DATOS TÉCNICOS GARANTIZADOS
TRANSFORMADOR DE POTENCIA TPI: 132/ 48 / 4.16 kV

ITEM	CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	REQUERIDO	PROPUESTO
6.3	Rendimiento a la potencia nominal, calculada por el método de separación de pérdidas con la toma de regulación de posición central. a) Cos Ø = 1.00 - Carga 100% - Carga 75% - Carga 50% - Carga 25% Cos Ø = 0.80 (Inductivo) - Carga 100% - Carga 75% - Carga 50% - Carga 25%	% % % % % % % % %		
6.4	Regulación de tensión a la potencia nominal, con la toma de regulación en la posición central a) Cos Ø = 1.00 b) Cos Ø = 0.80 (Inductivo)	% %		
7.0	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN			
7.1	Tipo de Enfriamiento (Según IEC)		ONAN/ONAF	
7.2	Radiadores - Fabricante - Tipo - Número de radiadores - Dimensiones: - Largo - Ancho - Altura	mm mm mm		

TABLA DE DATOS TÉCNICOS GARANTIZADOS
TRANSFORMADOR DE POTENCIA TP1: 132/ 48 / 4.16 kV

ITEM	C A R A C T E R Í S T I C A S	UNIDAD	REQUERIDO	PROPUESTO
7.3	Ventilación forzada - Tensión auxiliar disponible - Frecuencia nominal - Número de ventiladores - Tipo de motor de c/ventilador (trifásico ó monofásico) - Potencia unitaria de cada motor	V Hz und. und. kW	3F, 220 60	
8.0	TRANSFORMADORES DE CORRIENTE EN BUSHINGS			
8.1	En pasatapas devanado primario Número por fase Relación de transformación: * Corriente del arrollamiento primario * Corriente de los arrollamientos secundarios Número de secundarios Consumo/Clase de Precisión según IEC: * Protección (2) * Medición (1)	Und. A A VA/Clase VA/Clase	1 75-100 1 3 10 / 5P20 10 / 0.2	
8.2	Pasatapas devanado secundario Número por fase Relación de transformación: * Corriente del arrollamiento primario * Corriente de los arrollamientos secundarios Número de secundarios Consumo/Clase de Precisión según IEC: * Protección (2) * Medición (1)	Und. A A VA/Clase VA/Clase	1 100-125 1 3 10 / 5P20 10 / 0.2	
8.3	Pasatapas devanado terciario Número por fase Relación de transformación: * Corriente del arrollamiento primario * Corriente de los arrollamientos secundarios	Und. A A	1 1000-1250 1	

TABLA DE DATOS TÉCNICOS GARANTIZADOS
TRANSFORMADOR DE POTENCIA TP1: 132/ 48 / 4.16 kV

ITEM	C A R A C T E R Í S T I C A S	UNIDAD	REQUERIDO	PROPUESTO
	Número de secundarios		3	
	Consumo/Clase de Precisión según IEC:			
	* Protección (2)	VA/Clase	10 / 5P20	
	* Medición (1)	VA/Clase	10 / 0.2	
9.0	REGULACIÓN AUTOMÁTICA BAJO CARGA			
9.1	Conmutador de tomas bajo Carga			
	- País de procedencia			
	- Norma de fabricación			
	- Marca			
	- Tipo			
	- Número de Taps		21	
	- Paso de regulación	%	1	
	- Tensión motor (Altern, Trifásico - 60 Hz)	Vca	220	
	- Tensión control (corriente continua)	Vcc	110	
	- Corriente nominal	A		
9.2	Relé automático de tensión (90) de estado sólido			
	- Marca			
	- Tipo			
	- Rango de tensión de entrada	V	85-120	
	- Paso ajustable	V		
	- Rango de sensibilidad (+,-)	%		
	- Rango de retardo en tiempo	Seg	10-180	
	- Compensación de caída de tensión de línea		si	
	- Bloqueo por baja tensión		si	
	- Bloqueo por sobreintensidad		si	
	- posición desconectado-manual-automático		si	
	- Tensión auxiliar de control (corriente continua)	Vcc	110	

TABLA DE DATOS TÉCNICOS GARANTIZADOS
TRANSFORMADOR DE POTENCIA TP1: 132/ 48 / 4.16 kV

ITEM	C A R A C T E R Í S T I C A S	UNIDAD	REQUERIDO	PROPUESTO
9.3	<ul style="list-style-type: none"> - Indicadores de posición y control remotos - Marca - Tipo - Tensión auxiliar - pulsadores subir-bajar 	Vcc	110 sí	
10.0	ACCESORIOS			
	- Tanque conservador de aceite		sí	
	- Relé buchholz de la cuba		sí	
	- Relé buchholz en compartimento de conmutador		sí	
	- Indicador de nivel del aceite		sí	
	- Indicador de temperatura del aceite		sí	
	- Relé de imagen térmica		sí	
	- Válvula de sobrepresión		sí	
	- Desecador de aire para tanque de conservador		sí	
	- Ruedas orientables		sí	
	- Gabinete de control local del conmutador		sí	
	- Panel de control a distancia del regulador de tensión		sí	
11.0	Nivel de ruido máximo	dB		
12.0	ESFUERZOS SÍSMICOS			
	- Aceleración en dirección horizontal	g	0.5	
	- Aceleración en dirección vertical	g	0.2	
	- Frecuencia de movimientos	Hz	0-10	
13.0	ACEITE AISLANTE			
	- Fabricante			
	- Designación del fabricante			
	- Rigidez dieléctrica			
	- Adjuntar características físico - química del aceite			

TABLA DE DATOS TÉCNICOS GARANTIZADOS
TRANSFORMADOR DE POTENCIA TP1: 132/ 48 / 4.16 kV

ITEM	C A R A C T E R Í S T I C A S	UNIDAD	REQUERIDO	PROPUESTO
14.0	PESOS Y DIMENSIONES			
14.1	Pesos - Peso del núcleo y del conjunto de arrollamientos - Peso del tanque y armaduras - Peso de radiadores - Peso del aceite - Peso total, incluyendo aceite y accesorios - Peso de embarque de la pieza más grande - Peso total de embarque	kg kg kg kg kg kg kg kg		
14.2	Dimensiones Proyección sobre el suelo a) - Del tanque - Longitud - Ancho b) - Del tanque con radiadores - Longitud - Ancho Altura - Del tanque - De los radiadores - Del transformador en su conjunto - Requerida para retirar la parte activa del tanque	mm mm mm mm mm mm mm mm		
14.3	Croquis de dimensiones		si	
14.4	Ubicación de pasatapas - Lado primario, sobre tapa superior del tanque - Lado secundario, sobre tapa superior del tanque - Lado terciario, pared lateral del tanque			

TABLA DE DATOS TÉCNICOS GARANTIZADOS
TRANSFORMADOR DE POTENCIA TP1: 132/ 48 / 4.16 kV

ITEM	C A R A C T E R Í S T I C A S	UNIDAD	REQUERIDO	PROPUESTO
14.5	<p>Conexión de pasatapas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Lado primario, con conectores para conductor tipo AAAC 120 mm² - Lado secundario, con conectores para conductor tipo AAAC 120 mm² - Lado terciario, terminal tipo bandera para conectar a terminal de cable de energía XLPE 6/10 kV, 2 x 300mm² 		<p>si</p> <p>si</p> <p>si</p>	

CONCLUSIONES

- 1.- El costo de los transformadores esta estrechamente relacionado con la potencia del transformador, ya que a mayor potencia, mayor será la dimensión del transformador, y con ello se utilizará básicamente mayor cantidad de materiales de cobre y fierro, que son componentes básicos del transformador .
- 2.- La alternativa más económica, esta determinado para el comprador por el costo mínimo que representen el costo de adquisición y el valor actualizado de las pérdidas operativas, el costo de adquisición del transformador de potencia, esta estrechamente ligado a la cantidad de materiales utilizados, los componentes básicos son el hierro y el cobre, utilizados en el núcleo y el bobinado, de igual manera influyen las pérdidas que son gastos operativos durante la vida útil del transformador.
- 3.- Las pérdidas del transformador en el cobre, están relacionado con la sección del bobinado, también las pérdidas es directamente proporcional al cuadrado de la corriente.
- 4.- Así mismo las pérdidas en el transformador están relacionados con el núcleo del transformador, y estas pérdidas tienen que ver con la calidad de material del fierro que se utiliza para la construcción del núcleo y el diseño, es decir existe diseños óptimos, que van relacionados con la configuración del núcleo.
- 5.- La bobina de estabilización terciaria (conexión Yyn) incrementa el costo del transformador entre el 7% y 8% aproximadamente.
- 6.- Los costos del transformador dependen de los diferentes niveles de tensión y esta en un rango de hasta 10% mayor por incremento de nivel de tensión.

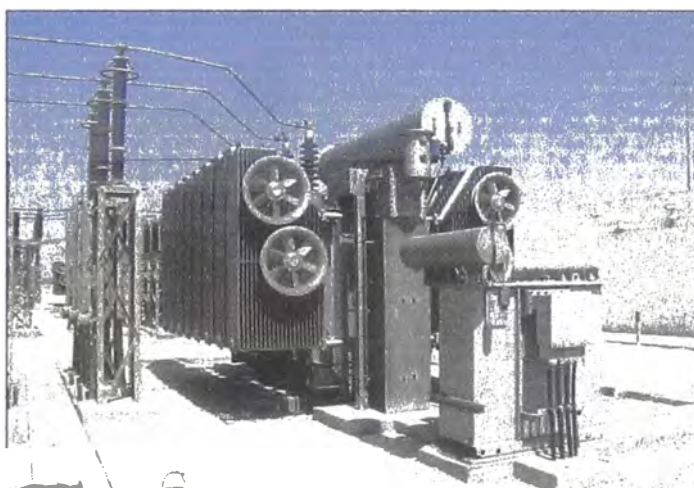
7.- Para obtener un transformador económico las especificaciones técnicas, tienen que estar sujeto a las normas internacionales, y la construcción del transformador sujeto a diseños óptimos, de lo contrario si uno desearía adquirir un transformador con requisitos más exigentes o diferentes a las normas internacionales, el costo se incrementaría de acuerdo a los requerimientos que desee el comprador.

ANEXOS

ANEXO A
VISTA DE UN TRANSFORMADOR DE POTENCIA

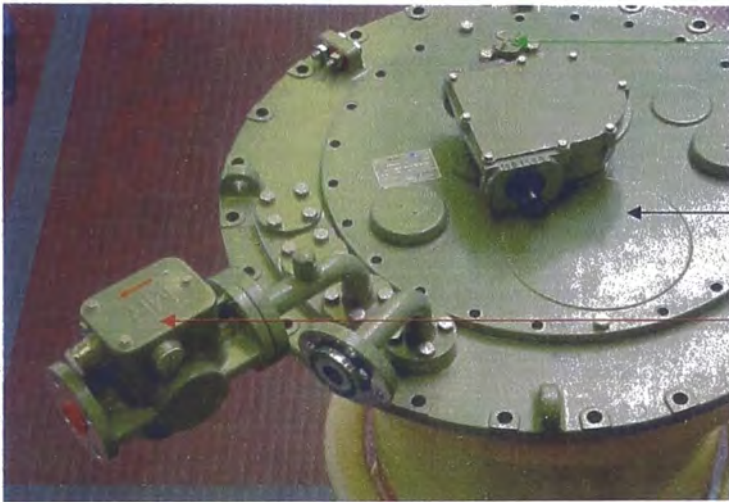
MTeC[®]

La refrigeración es más
que tan solo temperatura



ANEXO B
DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN DE UN TRANSFORMADOR DE POTENCIA

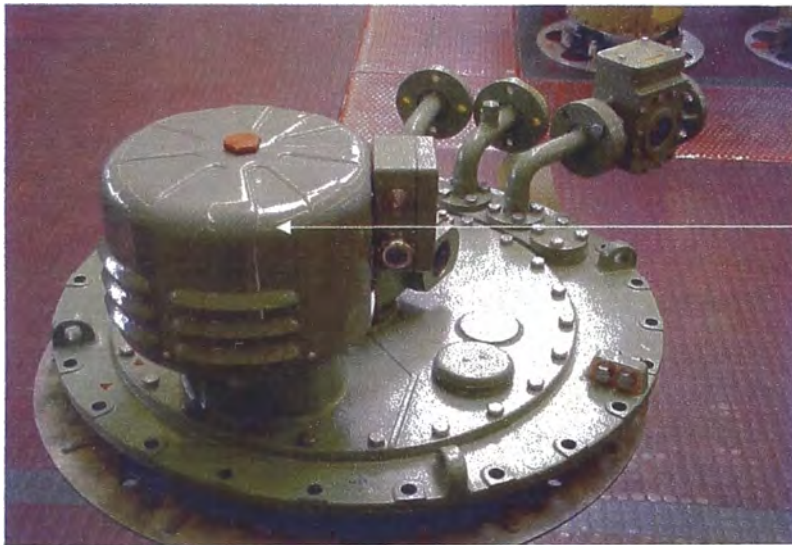
ANEXO C
VISTA DE UN CAMBIADOR DE TOMAS BAJO CARGA CON SUS DISPOSITIVOS DE
PROTECCIÓN



Válvula purga

Diafragma

Relé de protección RS2001



Válvula de alivio presión
Tipo **MPreC**

ANEXO D
VISTA DE LOS DEPÓSITOS DE CARBÓN PRODUCTO DE LA DESCOMPOSICIÓN
DEL ACEITE MINERAL EN EL CAMBIADOR DE TOMAS BAJO CARGA



Depósitos de carbón

ANEXO E
VISTA DE LOS DESGASTES DE CONTACTO DE UN CAMBIADOR DE TOMAS BAJO
CARGA

● **Modelo desgaste de contactos**



CONTACTO DESGASTADO



CONTACTO NUEVO



NTC 819	Electrotecnia. Transformadores Trifásicos autorrefrigerados y sumergidos en líquido. Corriente sin carga, pérdidas y tensión de cortocircuitos.
NTC 800	Transformadores. Designación de refrigeración.
NTC 801	Transformadores. Límites de calentamiento.
NTC 1465	Especificaciones para aceites minerales nuevos. Aislantes, para transformadores, interruptores y equipos eléctricos.
NTC 3607	Electrotecnia. Accesorios para transformadores trifásicos de potencia entre 2 500 kVA y 10 000 kVA.
NTC 3607	Bujes aislados para tensiones alternas superiores a 1000 V.
NTC 618	Transformadores eléctricos. Placa de características.
NTC 1057	Electrotecnia. Transformadores. Valores nominales de las potencias aparentes.
NTC 3680	Electrotecnia. Conmutador de derivaciones para operar sin tensión.
NTC 2205	Transformadores de medida. Transformadores de corriente.

- 4) Manual de montaje operación y mantenimiento de transformadores de potencia: ABB
- 5) Estaciones transformadoras y de distribución
Gaudencio Zopetti Júdez (Editorial Gstabo Gili)
- 6) Manual de aceite de transformadore: NYNAS
- 7) Catálogos de MR-CADEMY:
Fiabilidad en explotación del cambiador de tomas en carga
- 8) Maquinas Eléctricas sexta edición:
Colección McGraw-Hill interamericana.
- 9) El ABC de las máquinas eléctricas: I transformadores
Enríquez Harper.

BIBLIOGRAFÍA

1) Las normas UNE y IEC publicaciones siguientes:

Publication N° 60076 Power Transformers

76-1 Part 1 : General

76-2 Part 2 : Temperatura rises

76-3 Part 3 : (1980) Insulation levels and dielectric tests

76-3-1 Part 3 : (1987) Insulation levels and dielectric tests. External clearances in air

76-5 Part 5 : Ability to withstand short circuit

76-8 Power Transformer - Application guide

Publication N° 60137 Bushing for alternating voltages above 1000 V.

Publication N° 60214 On-load Tap Changers

Publication N° 60542 Application guide for on-load tap Changers

Publication N° 60354 Loading guide for oil-immersed power transformers

Publication N° 60551 Measurement of Transformer and Reactor Sound Levels

2) La Norma IEEE "The Institute of Electrical and Electronics Engineers" Std C57.12.00-2000: Standard General Requirements for liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers.

3) Las normas colombianas NTC publicaciones siguientes:

NTC 317 Electrotecnia. Transformadores de potencia y distribución. Terminología.

NTC 532 Aptitud para soportar el cortocircuitos.