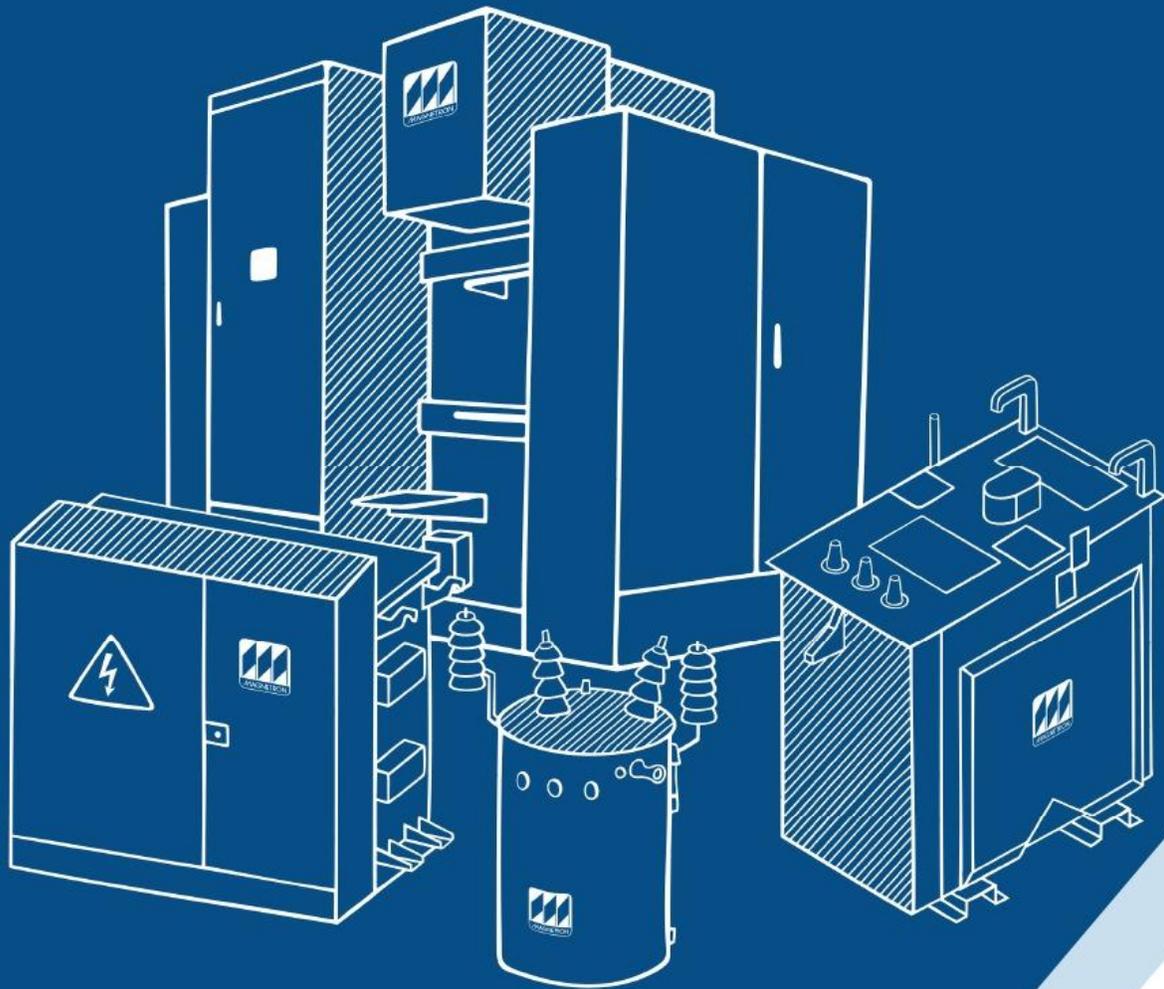




TRANSFORMAMOS  
**LA ENERGÍA**  
EN DESARROLLO  
**SOSTENIBLE**



# GUÍA DE MANEJO



## Contenido

1.	Seguridad y riesgos .....	5
1.1	Seguridad Personal .....	5
1.2	Tipos de riesgos .....	6
2.	Introducción .....	8
2.1	Transformadores tipo SUT .....	9
2.2	Variador de frecuencia VSD.....	10
2.3	Transformador de entrada (desfasador) .....	10
3.	Definiciones .....	12
3.1	Transformador .....	12
3.2	Autotransformador.....	12
3.3	Distorsión armónica.....	12
3.4	Factor K: .....	12
3.5	Devanado primario .....	12
3.6	Devanado secundario.....	12
3.7	Devanado de media tensión .....	12
3.8	Devanado de baja tensión .....	12
3.9	Embalaje .....	12
3.10	Base del embalaje.....	12
3.11	Peligro .....	12
3.12	Riesgo.....	12
4.	Abreviaciones.....	13
5.	Manipulación.....	14
6.	Embalaje.....	17
7.	Transporte.....	20
7.1	Distribución da la carga: .....	20
7.1.1	Transformadores sin huacal .....	20
7.1.2	Transformadores con huacal .....	21
7.1.3	Cargue camiones descapotados.....	23
7.1.4	Unidad de cargue tipo open top (contenedor sin techo).....	24
7.1.5	Descargue.....	25
8.	Recepción.....	27
9.	Almacenamiento.....	29
10.	Accesorios .....	30
10.1	Accesorios normales .....	30
10.2	Accesorios opcionales .....	30
10.3	Ilustración accesorios .....	31
10.3.1	Aislador de media tensión .....	31
10.3.2	Aislador baja tensión.....	31
10.3.3	Dispositivo de alivio de presión (VSP).....	31
10.3.4	Conmutador de derivaciones.....	32
10.3.5	Placa de características.....	33
10.3.6	Sistema de puesta a tierra.....	34
10.3.7	Orejas de levante .....	35

10.3.8	Indicación externa del nivel del líquido aislante .....	35
10.3.9	Indicador de temperatura (termómetro) .....	36
10.3.10	Válvula de drenaje .....	36
10.3.11	Válvula de recirculación .....	36
10.3.12	Dispositivos izaje tapa .....	37
10.3.13	Manovacúmetro .....	37
10.3.14	Válvula para llenado de nitrógeno (tipo gusanillo) .....	38
11.	Marcaciones terminales .....	39
11.1	Marcación PST (Autotransformador) .....	39
11.2	Marcación SUT .....	39
11.3	Marcación PST (Hexafásico) .....	39
11.4	Marcación PST (Dodecafásico) .....	39
11.5	Marcación PST (Nonafásico) .....	40
11.6	Índice horario .....	40
11.7	Grupo de conexión .....	41
12.	Revisión antes de la instalación .....	41
13.	Pruebas antes de la instalación .....	43
13.1	Relación de transformación (TTR) .....	43
13.1.1	Autotransformadores (PST) .....	45
13.1.2	Hexafásicos .....	46
13.1.3	Dodecafásicos y Nonafásicos .....	46
13.1.4	SUT .....	47
13.2	Resistencia de los devanados .....	48
13.2.1	Autotransformadores (PST) .....	49
13.2.2	Hexafásicos .....	49
13.2.3	Dodecafásicos y Nonafásicos .....	49
13.2.4	SUT .....	50
13.2.5	Interpretación de los resultados .....	50
13.3	Resistencia de los aislamientos .....	51
13.3.1	Tensiones de ensayo .....	52
13.3.2	Interpretación de los resultados .....	52
13.3.3	Consideraciones especiales .....	52
13.4	Pruebas al líquido aislante .....	53
13.4.1	Rigidez dieléctrica .....	53
13.4.2	Contenido de agua .....	53
13.4.3	Color .....	53
13.4.4	Aspecto (visual) .....	54
13.4.5	Análisis de gases disueltos (AGD) .....	54
13.4.6	Otras pruebas .....	55
13.4.7	Cantidad de muestra requerida .....	55
13.4.8	Valores de referencia .....	55
14.	Instalación y puesta en servicio .....	57
14.1	Montaje .....	57
14.2	Sistema de puesta a tierra .....	57
14.3	Secuencia de conexión .....	58

14.4	Puesta en servicio .....	58
14.4.1	Energización transformadores con aceite vegetal a temperaturas por debajo de -20°C .....	59
14.4.2	Energización transformadores con aceite mineral a temperaturas por debajo de -20°C .....	60
15.	Transformadores con dos o más meses en almacenamiento .....	61
16.	Mantenimiento .....	64
16.1	Mantenimiento preventivo .....	64
16.1.1	Inspección externa.....	64
16.1.2	Inspección general.....	65
16.1.3	Pruebas al líquido aislante.....	65
16.1.4	Pruebas eléctricas de rutina.....	65
16.1.5	Pruebas a los dispositivos de control o protección.....	65
16.2	Mantenimiento correctivo .....	65
17.	Reparación.....	67
18.	Problemas y posibles soluciones .....	68
19.	Torques de ajuste.....	70
19.1	Tornillería en general .....	70
19.2	Ajuste tornillería Tapa-Tanque .....	70
19.3	Terminales de MT y BT.....	70
19.4	Conmutador de derivaciones.....	70
19.5	Válvulas de sobrepresión .....	71
19.6	Termómetro de aceite de dos (2) contactos.....	71
20.	Partes del transformador.....	72
20.1	Autotransformador .....	72
20.2	SUT .....	72
21.	Medio ambiente.....	73
22.	Términos y condiciones de garantía.....	75
23.	Anexo A “Conexión bobinas con marcaciones ANSI”.....	76
24.	Contáctenos .....	77

## 1. Seguridad y riesgos

Lea cuidadosamente este manual de instrucciones antes de intervenir el producto, hacer caso omiso a las instrucciones puede generar daño a la propiedad, lesiones graves o puede causar la muerte.

El producto cubierto en este manual, debe ser intervenido solo por personal calificado.

Este manual contiene información importante para la seguridad del personal y del producto.

Si se presenta algún problema no contemplado en el presente manual, contáctese con MAGNETRON S.A.S.

Cuando se trabaja con transformadores, los operadores se exponen a una serie de riesgos y peligros, es muy importante conocerlos para eliminar o minimizar las situaciones o condiciones que puedan ocasionar daño.

### 1.1 Seguridad Personal

- Detenga cualquier actividad si las condiciones de trabajo no son seguras.

- Todos los integrantes del equipo deben conocer las instrucciones de este manual, las prácticas de seguridad establecidas en el lugar de trabajo y la legislación aplicable.
- Utilice ropa y elementos de protección personal acorde con el trabajo a realizar.
  - ✓ Camisa de algodón manga larga.
  - ✓ Botas de seguridad dieléctrica.
  - ✓ Guantes de carnaza o dieléctricos.
  - ✓ Guantes de látex (toma de muestras del líquido aislante).
  - ✓ Guantes de látex (manipulación de herramientas).
  - ✓ Lentes de seguridad.
  - ✓ Lentes oscuros para protección solar (actividades en campo).
  - ✓ Casco.
  - ✓ Evite el uso de ropa holgada.
  - ✓ No use anillos, relojes, cadenas, aretes o cualquier elemento personal que le pueda generar daño.
  - ✓ No utilice tenis, shorts, camisas de manga corta y audífonos.

## 1.2 Tipos de riesgos

### ➤ Riesgos físicos

Se refiere a todos los factores ambientales que dependen de las propiedades físicas de los cuerpos y que actúan sobre los tejidos y órganos del cuerpo del trabajador, pueden producir efectos nocivos de acuerdo con la intensidad y tiempo de exposición de los mismos.

Están relacionados con la probabilidad inminente de sufrir un daño corporal con o sin contacto directo, se pueden clasificar como laboral o ambiental.

Son los más habituales y pueden ser provocados por las condiciones peligrosas en el trabajo:

- ✓ Ruidos,
- ✓ Iluminación,
- ✓ Temperatura,
- ✓ Humedad,
- ✓ Radiaciones,
- ✓ Vibraciones,
- ✓ Electricidad.

A continuación, se listan algunas actividades que se deben ejecutar:

- Instale iluminación localizada en aquellos puestos de trabajo que lo requieran, cuando la iluminación general sea moderada y pueda resultar insuficiente.
- Evite zonas de flujo muerto (donde el aire no circula).

- Utilice equipos de trabajo que generen bajos niveles de ruido.
- Ubique los equipos o fuentes ruidosas en lugares apartados, si es posible.
- Disminuya el tiempo de exposición.
- Establezca un sistema de rotación de lugares de trabajo.
- Utilice pantallas o blindaje de protección, para fuentes radiactivas.
- Aplique las 5 reglas de oro al trabajar con energía.



Figura 1: 5 reglas de oro

### ➤ Riesgos mecánicos

Están asociados al conjunto de factores físicos que pueden dar lugar a una lesión por la acción mecánica de elementos de máquinas, herramientas, piezas a trabajar o materiales proyectados, sólidos o fluidos.

El riesgo mecánico puede producirse en toda operación que implique manipulación de herramientas manuales, maquinaria, manipulación de vehículos, utilización de dispositivos de elevación.

- ✓ Choque contra objetos móviles o inmóviles,
- ✓ Golpes,
- ✓ Cortes,
- ✓ Atrapamientos por vuelco de máquinas o vehículos,
- ✓ Atrapamientos por o entre objetos,
- ✓ Proyección de fragmentos o partículas,
- ✓ Caídas de objetos en manipulación.

A continuación, se listan algunas actividades que se deben ejecutar:

- Formar a los trabajadores en materia preventiva, de forma teórica y práctica, sobre los equipos de trabajo necesarios para su puesto de trabajo.
- Garantizar las condiciones y forma correcta de uso de

maquinaria, en base a las instrucciones del fabricante.

- Promover la consulta y participación de los trabajadores en aspectos relacionados con los riesgos mecánicos.
- Garantizar la vigilancia periódica del estado de salud de los trabajadores.
- En caso de presentarse accidentes o enfermedades profesionales debidas a los riesgos mecánicos, se debe investigar y aplicar las medidas correctoras necesarias para que no vuelva a ocurrir.



Figura 2: Señales de riesgo mecánico

## 2. Introducción

Lea cuidadosamente y cumpla con las indicaciones dadas en este manual antes de intervenir el producto, el incumplimiento de las mismas invalida la garantía.

En determinadas aplicaciones del mercado petrolero, un transformador estándar no se puede utilizar debido a la variación de la frecuencia, la distorsión de armónicos y el componente de corriente directa existente en el voltaje de salida del convertidor de frecuencia.

Los transformadores utilizados en este sector, pueden ser elevadores o reductores y las aplicaciones más comunes son para extracción de petróleo con bombas electrosumergibles y equipos similares en aplicaciones para motores de alto voltaje.

El bombeo electrosumergible es un sistema de levantamiento artificial aplicado para desplazar volúmenes de crudo con una alta eficiencia y economía, en yacimientos potencialmente rentables (o en su defecto con grandes perspectivas) y en pozos profundos, con el objeto de manejar altas tasas de flujo.

Este método es aplicado generalmente cuando se presentan los siguientes casos:

- Alto índice de productividad,

- Baja presión de fondo,
- Alta relación agua– petróleo,
- Baja relación gas–líquido.

El bombeo electrosumergible es un sistema compuesto por dos tipos de equipos: **Los equipos de fondo y los equipos de superficie.**

Los equipos de fondo son los que permiten la extracción del crudo a través de una o varias bombas centrifugas acopladas a uno o varios motores.

Los equipos de superficie son aquellos que permiten llevar la energía eléctrica de alimentación para el motor, configurar la velocidad de giro de los motores y con esto el caudal de extracción del crudo.

Los equipos de interés para MAGNETRON S.A.S. son los equipos de superficie, acá es donde se profundizará sobre su aplicación y uso de los diversos tipos de transformadores que fabrica.



1. Fuente de energía eléctrica.
2. Transformador de entrada desfasador (reductor si la red eléctrica es 13200 – 13800V)
3. Variador electrónico de frecuencia VSD 480V. (6, 12, 18 y 24 pulsos)
4. Transformador elevador de frecuencia variable (SUT)
5. Equipo de fondo - Motor

Figura 3: Tipología sistema de bombeo electrosumergible

De este sistema de equipos de superficie, MAGNETRÓN S.A.S. fabrica transformadores para las diversas configuraciones que puede tomar esta topología, haciendo énfasis especial en los transformadores de entrada o desfasadores, los cuales deberán ser de un tipo específico de acuerdo al tipo de variador VSD utilizado y disponibilidad de energía eléctrica.

Los motores usados en este tipo de aplicación, son motores que operan a una tensión mayor o igual a 1100V con el ánimo de que las corrientes que circulan a través del cableado de fuerza sean tan bajas como sea posible; además, tienen la capacidad de girar a velocidades distintas con lo

cual es posible ajustar el caudal con el que se extrae el petróleo.

## Consideraciones especiales:

### 2.1 Transformadores tipo SUT

Es el equipo encargado de suministrar la tensión requerida por el motor de acuerdo a las condiciones necesarias para la explotación del pozo, esto contempla que se realice a una velocidad y potencia determinada. Para operar en dichas condiciones, el transformador debe ser diseñado de tal forma que cumpla con las siguientes condiciones:

- Frecuencia variable desde 10 Hz a 90 Hz.
- Múltiples posibilidades de tensión de salida, ajuste fino y ajuste grueso de la relación de transformación.
- Factor K para el incremento de las pérdidas por la temperatura de los devanados debida a la distorsión armónica generada por el VSD.
- Apantallamiento e incremento de los aislamientos para soportar la señal portadora de tensión de salida del VSD.

**Muy importante:** En este tipo de transformadores se debe tener en presente la relación voltaje/frecuencia (V/Hz), este dato lo encuentra en la placa de características y hace referencia a la variación que presenta el voltaje de alimentación del SUT por cada Hertz (1 Hz) que varía la frecuencia en el VSD.

En otras palabras, esa relación indica en que frecuencia de alimentación obtengo el voltaje y la potencia nominal del SUT.

A continuación, se da un ejemplo con un transformador SUT, voltaje de entrada 480 V y una relación V/Hz de 10.67.

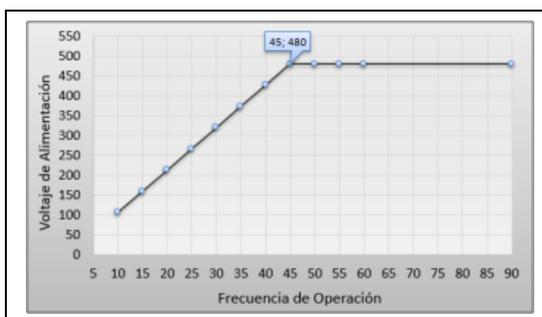


Figura 4: La gráfica indica que, con 45 Hz, se obtiene el VOLTAJE nominal a la entrada del SUT, de ahí en adelante, es constante.

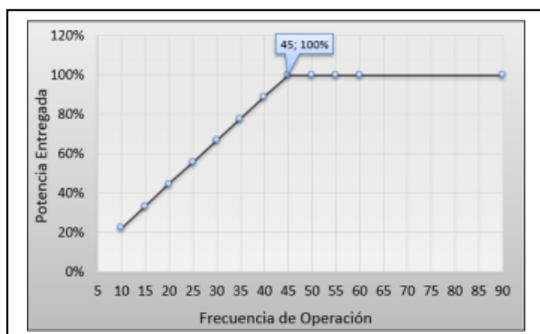


Figura 4-1: La gráfica indica que, con 45 Hz, se obtiene la POTENCIA nominal del SUT, de ahí en adelante, es constante.

TRANSFORMADOR DE FRECUENCIA VARIABLE			
No. DE SERIE 390798		AÑOS/MES 2018 / 06	
FASES	3	ALTURA (m.s.n.m)	1000
POTENCIA	520kVA K=2	T.S. AT/BT	5 / 1,2 kV
FRECUENCIA	10 - 90 Hz	BIL. AT/BT	60 / 30 kV
CLASE	Ac	% Zoc. A 85°C	5,30
TENSION PRIMARIA	480 V	MAT. DEVANADOS	Al / Al
TENSION SECUNDARIA	1107-4111 V	GRUPO CONEXION	DdB - Yd1
CORRIENTE PRIM.	625,46 A	REFRIGERACION	ONAN
CORRIENTE SEC.	271,2 - 73 A	RELAC. VOLTIOS/Hz	10,67
CALENT. ACEITE	65 °C	PESOS	PARTE ACTIVA 1238
CALENT. DEV.	65 °C	APROX.	ACEITE 718
		EN kg	TANQUE Y ACC. 799
			TOTAL 2755

Figura 4-2: Ejemplo placa de características donde se ilustra la relación V/Hz

## 2.2 Variador de frecuencia VSD

Es un equipo de electrónica de estado sólido que permiten variar la tensión y la frecuencia de salida a partir de la conmutación de sus componentes.

Esta conmutación genera en la red eléctrica aguas arriba y aguas abajo una distorsión armónica en la onda sinusoidal.

Estos equipos tienen un rango de tensión de operación, aunque es de resaltar que en sus características nominales son 480V de alimentación a 60Hz, permitiendo una variación en su salida de voltaje y frecuencia.

El número de pulsos del VSD en la rectificación e inversión determina las características de distorsión armónica, en donde un VSD de 24 pulsos maneja una tasa de distorsión armónica menor al VSD de 12 pulsos.

## 2.3 Transformador de entrada (desfasador)

**Precaución:** MAGNETRON S.A.S. no recomienda el uso de AUTOTRANSFORMADORES donde haya restricción de armónicos en la red, ya que estos no los filtran al presentar un solo devanado en su construcción.

Este equipo se selecciona de acuerdo a la disponibilidad de la energía eléctrica en donde será instalado y al tipo de variador de frecuencia que deberá alimentar.

Por lo general, el voltaje de salida de este equipo es 480V a 60Hz o 415V a 50Hz.

Si el transformador es alimentado por un generador eléctrico o un transformador reductor, su voltaje de entrada será 415/480V al igual que su voltaje de salida; si es alimentado directamente de la red eléctrica, este será un transformador reductor desfasador con voltaje de entrada 13200 o 13800V y su voltaje de salida será 415/480V a 50/60Hz.

También, de acuerdo al tipo de variador que alimentará, este transformador puede ser de un tipo específico con el fin de disminuir la distorsión armónica que genera el VSD en la red.

Si el variador es de 12 pulsos, se podrá usar un transformador desfasador del siguiente tipo:

- Autotransformador delta poligonal (seis fases de salida con desplazamiento  $30^\circ$  entre ellas,  $15^\circ$  y  $-15^\circ$  con respecto a la entrada).
- Hexafásico (seis fases de salida, una BT en conexión estrella (Y) y una BT en conexión delta (D), los grupos de conexión más comunes son Dd0, Dyn1 o Dyn5).

Si el variador es de 18 pulsos será más eficiente usar un transformador desfasador tipo:

- Nonafásico o 18 pulsos, (nueve fases de salida, una BT en conexión Ddo y dos BT con conexión Dz y desplazamiento  $20^\circ$  y  $-20^\circ$  con respecto a la entrada).

Si el variador a usar es de 24 pulsos, será más conveniente usar un transformador tipo:

- Dodecafásico, este permite una disminución más efectiva de armónicos en la red eléctrica en comparación con los demás transformadores desfasadores.

Dodecafásico (12 fases de salida, cuatro BT en conexión Dz con desplazamientos  $7.5^\circ$ ,  $22.5^\circ$ ,  $-7.5^\circ$  y  $-22.5^\circ$  con respecto a la entrada).

Es de aclarar, con cualquiera de los tipos de variadores será posible usar un transformador desfasador o no, pero el uso de un transformador apropiado para dicho VSD significa una reducción en la distorsión armónica y por ende una disminución de las pérdidas por calentamiento de los equipos, alargando su vida útil.

### 3. Definiciones

#### 3.1 Transformador

Dispositivo eléctrico sin partes en movimiento que transforma la energía eléctrica en sus dos factores principales: Voltaje y Corriente.

#### 3.2 Autotransformador

Es una máquina eléctrica, de construcción y características similares a las de un transformador, pero que, a diferencia de éste, sólo posee un único devanado alrededor de un núcleo ferromagnético.

En un autotransformador, una parte del devanado es común tanto al primario como al secundario.

#### 3.3 Distorsión armónica

A grandes rasgos, son perturbaciones en la frecuencia real de la señal eléctrica que se originan dentro de las instalaciones.

Los armónicos generan caídas en la tensión, ocasionando a corto o largo plazo, todo tipo de problemas.

#### 3.4 Factor K:

Es un indicador que permite estimar la capacidad que tiene un transformador de soportar los efectos térmicos generados por las corrientes armónicas sin exceder su temperatura de funcionamiento.

#### 3.5 Devanado primario

Devanado que se conecta a una fuente de alimentación.

#### 3.6 Devanado secundario

Devanado al cual se conecta una carga.

#### 3.7 Devanado de media tensión

Devanado que presenta el mayor voltaje.

#### 3.8 Devanado de baja tensión

Devanado que presenta la menor tensión.

#### 3.9 Embalaje

Cubierta fabricada normalmente en madera en la que se embalan los transformadores durante el almacenamiento y transporte.

#### 3.10 Base del embalaje

Estructura plana y fuerte fabricada en madera o metal que sirve para proteger y soportar el peso del transformador.

#### 3.11 Peligro

Situación inherente con capacidad de causar lesiones o daños a la salud de las personas.

#### 3.12 Riesgo

Combinación de la probabilidad de que ocurra un suceso peligroso con la gravedad de las lesiones o daños para la salud que pueda causar tal suceso.

## 4. Abreviaciones

A	Amperios
AGD	Análisis de gases disueltos (Dissolved gas analysis - DGA siglas en inglés)
ANSI	Instituto Nacional Estadounidense de Estándares
ASTM	Sociedad Estadounidense para pruebas y materiales
MT	Media tensión
BT	Baja tensión
DPS	Dispositivo para sobretensiones (pararrayos)
Hz	Frecuencia (Hertz)
IEEE	Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos
kg	Kilogramo
kV	Kilovoltio
kVA	Kilo voltio amperios
lbf.ft	Libras fuerza pie
m	Metro
máx	Máximo
mín	Mínimo
mΩ	Miliohmios
MΩ	Megaohmios
ms	milisegundos
NTC	Norma técnica colombiana
PCB`s	Bifenilos policlorados
Pn	Punto neutro

psi	Libras por pulgada cuadrada
PST	Phase shift transformer (transformador desfasador)
SPT	Sistema de puesta a tierra
SUT	Step up transformer (transformador elevador)
T	Tierra
TTR	Transformer turns ratio (relación de vueltas del transformador)
V	Voltios
VSD	Variable speed drive (Variador de velocidad)
VSP	Válvula de sobrepresión

## 5. Manipulación

**Precaución:** El transformador debe ser manipulado en posición

**Precaución:** La información, las recomendaciones, las descripciones y las notas de seguridad recopiladas en este documento son basadas en guías, normas y en la experiencia de MAGNETRON S.A.S.

**Precaución:** Esta información no incluye ni cubre todas las contingencias, por lo tanto, si requiere mayor información comuníquese con MAGNETRON S.A.S.

Conserve el transformador en la base (madera o metálica) sobre la cual se despacha hasta el sitio donde será instalado, ya que esta le brinda una mayor protección.

También, se puede conservar sobre las ruedas orientables o en el huacal (si lo lleva).

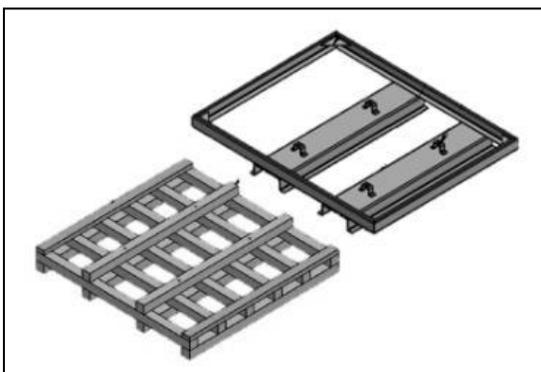


Figura 5: Bases utilizadas

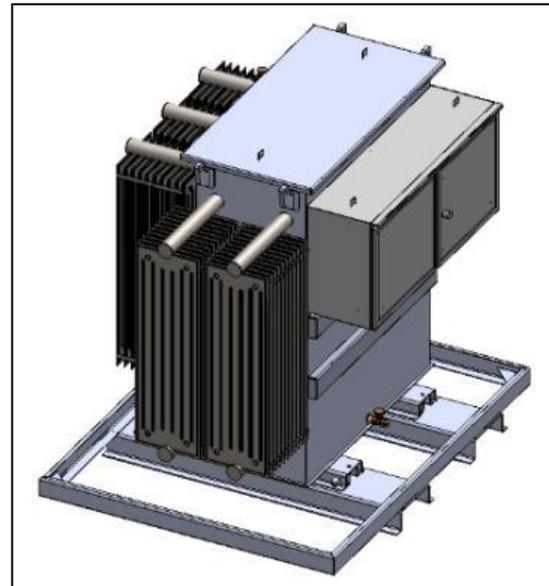


Figura 6: Transformador sobre la base

Por ningún motivo permita que el transformador sea arrastrado directamente sobre el piso, el tanque o el gabinete, pueden sufrir deformaciones o la pintura podría deteriorarse dando lugar a la oxidación de la lámina.

El transformador solo se debe elevar o izar utilizando las cuatro (4) orejas de levante; para transportarlo, utilice montacargas o grúa.

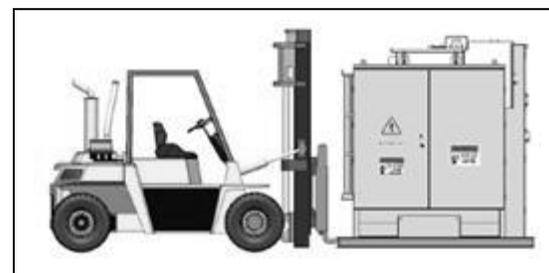


Figura 7: Transporte con montacargas

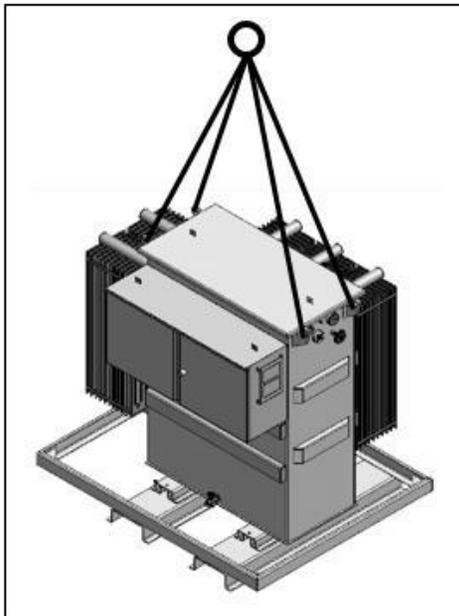


Figura 7-1: Elevación o izaje por Orejas de levante

No levante o mueva el transformador colocando palancas o gatos debajo de accesorios, conexiones, radiadores u otros dispositivos, ya que estos elementos no están diseñados para ser sometidos a este tipo de esfuerzos y pueden presentarse rupturas o deformaciones ocasionando fugas de líquido aislante.

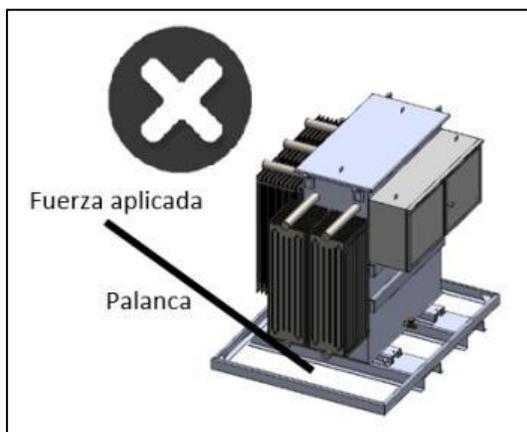


Figura 8: Manipulación inadecuada

Cuando un transformador no pueda ser manipulado por medio de grúa, diferencial, montacargas o porta estiba, podrá moverse deslizando sobre patines o rodillos.

Utilice rodillos o patines acordes al peso del transformador y en la cantidad suficiente para distribuir el peso del mismo.

No permita que se incline (puede voltearse); además, tenga cuidado de no dañar la base y de ejercer presión sobre el gabinete.

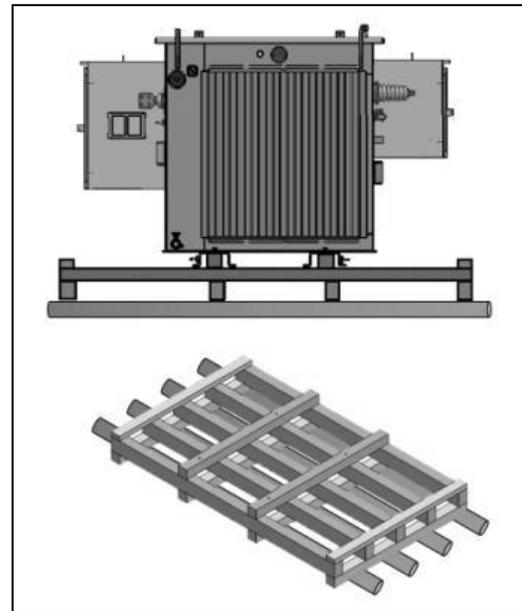


Figura 9: Uso de rodillos o patines para transporte

Los transformadores están provistos con dispositivos de izaje u orejas de levante que se utilizan para manipularlo con grúa, utilice eslingas de fibra ya que estas ayudan a proteger la pintura.

Si utiliza cadenas o estrobo metálicos, asegúrese de cubrir las

partes en contacto para evitar desprendimiento de pintura.

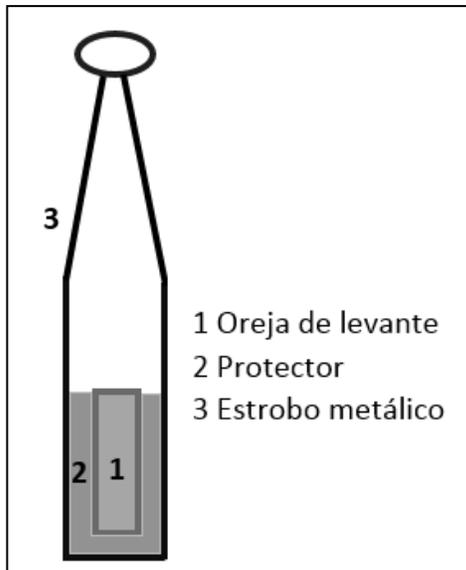


Figura 10: Protección pintura en las orejas de levante

No utilice las orejas de levante para transportar el transformador, están diseñadas solo para elevarlo o izarlo.

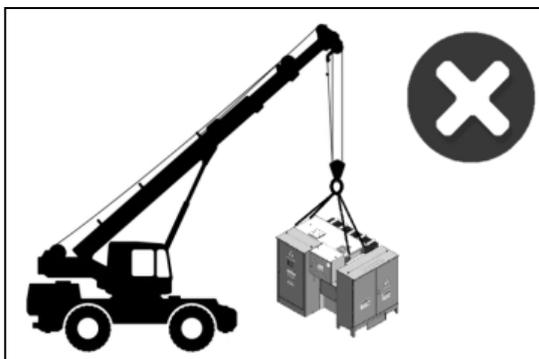
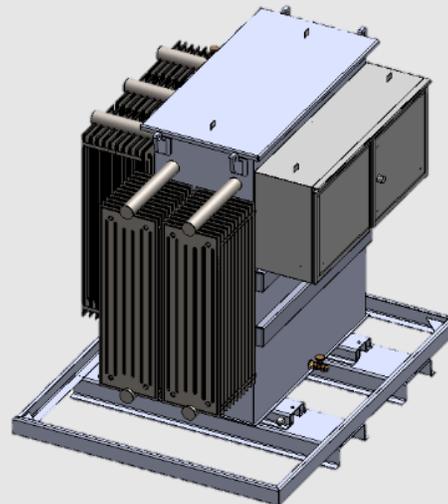


Figura 11: Prohibido transportar el transformador de las orejas de levante

**Precaución:** Por ningún motivo se debe apoyar o parar sobre los gabinetes del transformador, los terminales de BT, los aisladores de MT, válvulas de drenaje y recirculación o cualquier elemento de control o protección.



## 6. Embalaje

El embalaje del transformador debe permitir el manejo de tal forma que, al requerirse cualquier movimiento para su almacenamiento o transporte, sea fácil levantarlo por la base del embalaje.

La base del embalaje debe tener una altura mínima de 10 cm para permitir el ingreso de una monta carga o una porta estiba.

Las bases de madera están diseñadas de modo que se puedan manipular por el frente, el posterior o por los laterales.

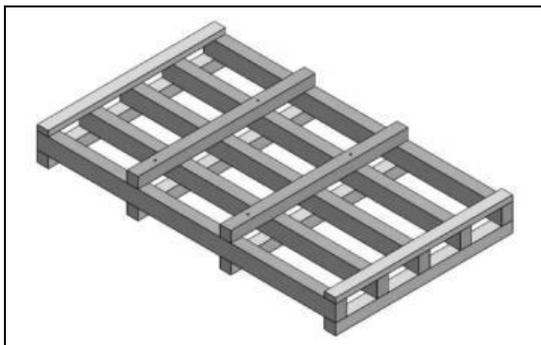


Figura 12: Base de madera para transformadores de potencia

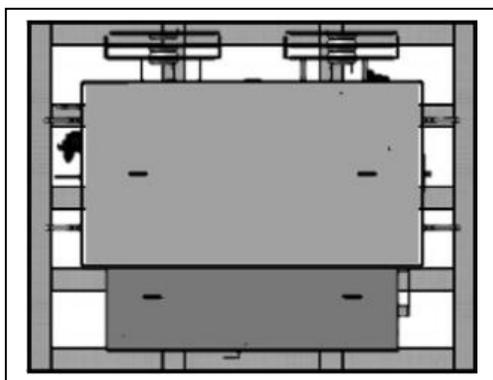


Figura 12-1: Transformador en base de madera – Vista superior

Las bases metálicas se diseñan en dos modelos:

- Para manipulación por el frente o posterior, cuando la base no supera los 2200 mm de longitud.
- Otro para manipulación por los laterales, cuando la base supera los 2200 mm de longitud.

**Nota:** Las bases metálicas se utilizan en transformadores con peso  $\geq 4000$  kg o por solicitud del cliente.



Figura 13: Base metálica para transformadores de potencia

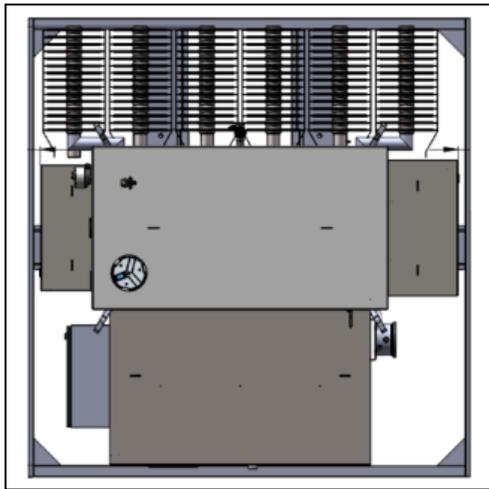


Figura 13-1: Transformador en base metálica – Vista superior

Los transformadores que se deben levantar o transportar con grúa (por peso o tamaño) y que van enhuacalados, se debe garantizar que las orejas de levante quedan libres y de fácil acceso para la ubicación de las eslingas o estrobos.

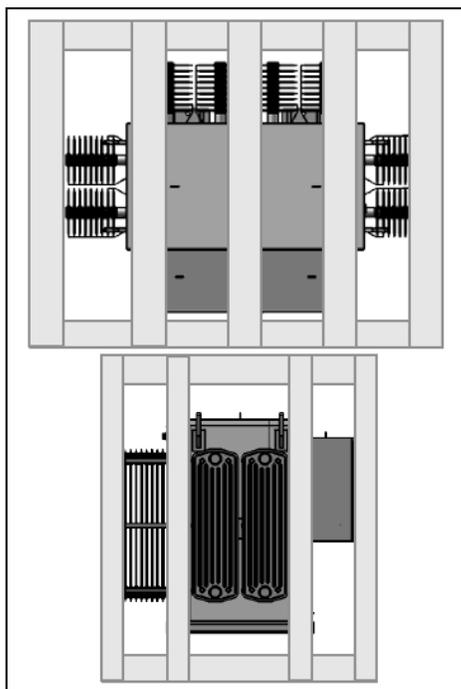


Figura 14: Orejas de levante de fácil acceso

El transformador debe estar acoplado a la base del embalaje, para evitar que sufra deterioro ocasionado por movimientos bruscos. En este tipo de transformadores, el acople se hace a través de tornillos.

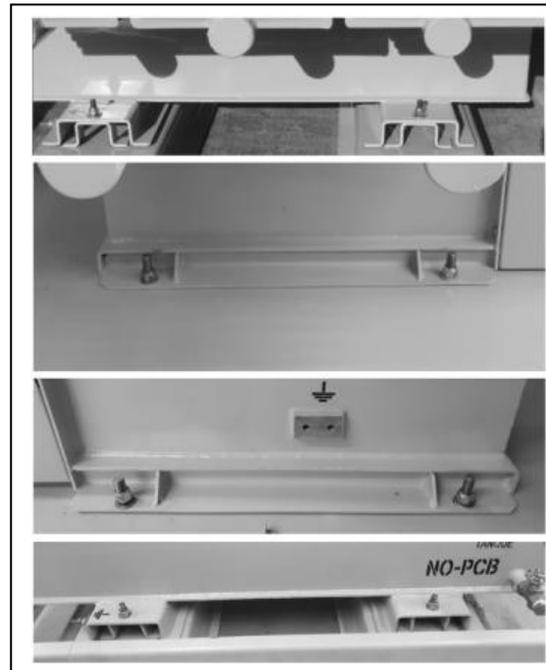


Figura 15: Anclaje con tornillos del transformador a la base

Cuando el transformador se despacha enhuacalado, la placa de características debe quedar visible para validar las características del transformador.

Si el transformador consta de uno o más gabinetes y la placa de características queda en el interior de alguno de ellos, para su identificación, localice el número de serie adherido en la tapa del gabinete en la parte superior derecha del frontal, también puede revisar el kVA (si aplica) en el mismo frontal.

La ubicación del adhesivo con el número de serie, puede variar dependiendo de la configuración del transformador.

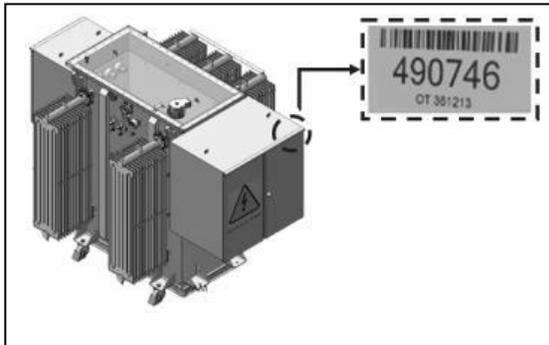
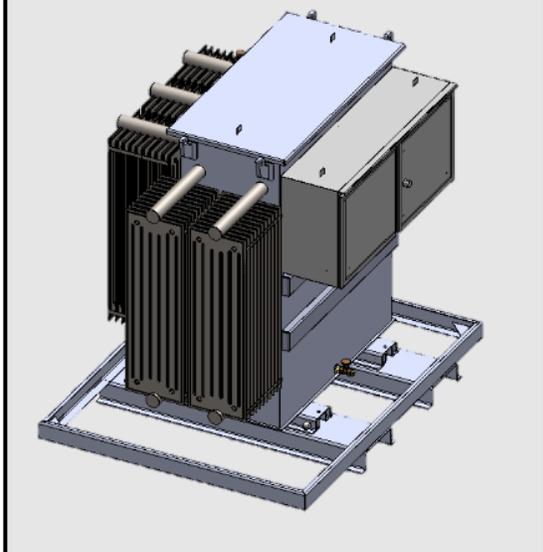


Figura 16: Adhesivo con el número de serie

**Precaución:** Por ningún motivo se debe apoyar o parar sobre los gabinetes del transformador, los terminales de BT, los aisladores de MT, válvulas de drenaje y recirculación o cualquier elemento de control o protección, estos elementos son muy frágiles y pueden dañar fácilmente.



## 7. Transporte

Con el fin de garantizar el transporte y la entrega final del equipo, es muy importante tener en cuenta lo siguiente:

- Las condiciones comerciales,
- Las condiciones de las vías,
- El sitio final de entrega,
- La altura de la carga,
- El peso de la carga,
- Las dimensiones finales.

Tenga en cuenta el peso del transformador para determinar los elementos de elevación y/o transportes adecuados, esta información figura en la placa de características, en el certificado de pruebas o en los documentos requeridos para su transporte.

Levante el transformador utilizando las orejas de levante o la base del embalaje.

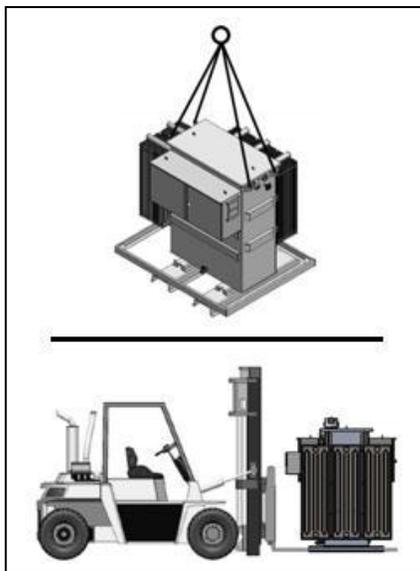


Figura 17: Partes para levantar el transformador.

Al elevar el transformador de las orejas de levante, asegúrese de no rozar o tocar cualquier componente (accesorios, gabinete, etc.) con las eslingas o estrobos.

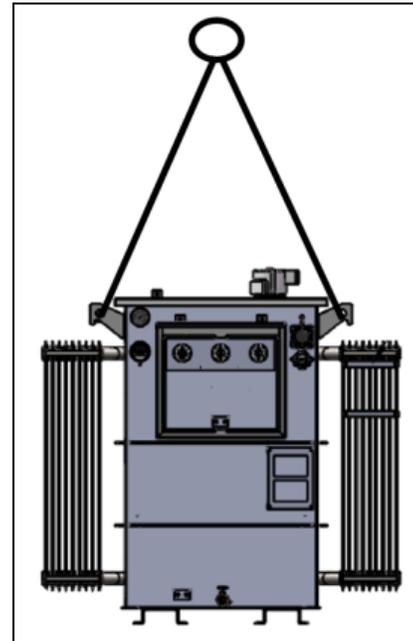


Figura 18: Elevación transformador desde las orejas de levante

### 7.1 Distribución da la carga:

#### 7.1.1 Transformadores sin huacal

Cuando se transporta un número considerable de transformadores, la carga debe distribuirse dentro del camión o contenedor.

La base de los transformadores hace las veces de separador, cuando quedan espacios entre ellas, se deben fijar cuñas de madera entre estas y el piso.

La función de las cuñas de madera es evitar desplazamientos de los transformadores cuando el transporte está en movimiento.

Adicional, los transformadores se deben amarrar con eslingas a las paredes del camión o contenedor y entre ellos.

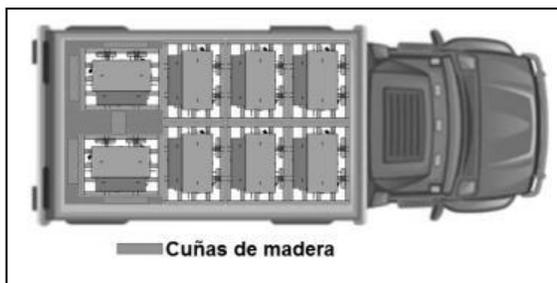


Figura 19: Cargue, distribución y uso de cuñas

Cuando se cargan pocas unidades debido al tamaño del producto, tenga en cuenta lo siguiente:

- La carga se debe colocar centrada en la plataforma del camión o contenedor.
- Si el producto tiene radiadores, cárguelos intercalados en el camión o contenedor, esto asegura que la carga queda balanceada.
- Cuando la base del transformador y el piso del camión son metálicos, se deben ubicar tablas de madera entre ellos para evitar desplazamientos.

Además, si la base del transformador es metálica,

también se debe amarrar a la carrocería del camión.

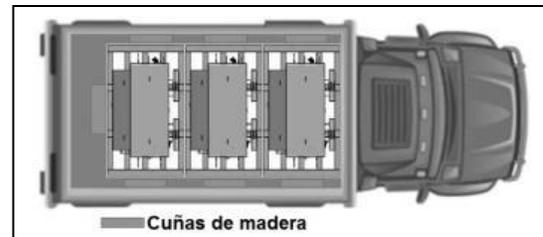


Figura 20: Carga centrada

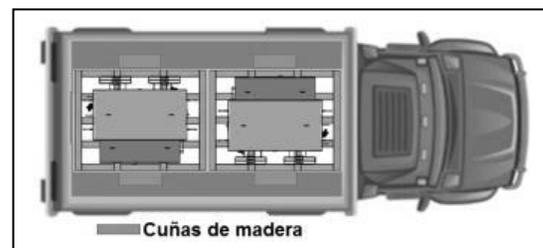


Figura 21: Radiadores intercalados



Figura 22: Tablas de madera entre la base metálica del transformador y el piso metálico del camión

## 7.1.2 Transformadores con huacal

Estos transformadores se cargan y transportan siguiendo las mismas consideraciones de los transformadores sin huacal. Sin

embargo, se hacen las siguientes observaciones:

- El embalaje (base y huacal) de los transformadores hace las veces de separador, cuando quedan espacios entre ellos, se deben fijar cuñas de madera entre estas y el piso.
- Estos transformadores se pueden cargar hasta en dos niveles, siempre y cuando el peso de la carga ubicada en el segundo nivel no supere los 400 kg.

Adicional, cada conjunto se debe amarrar entre sí para formar una unidad sólida y entre ellos a las paredes del camión o contenedor.

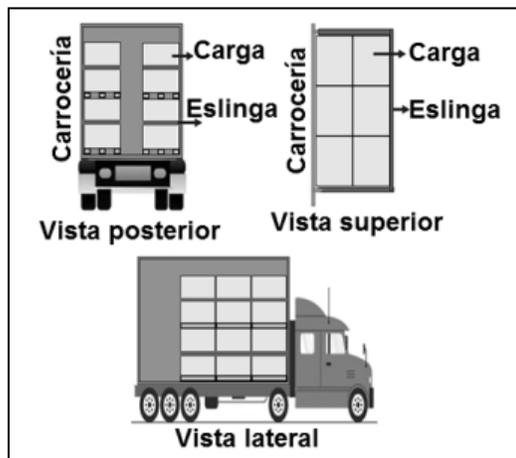


Figura 23: Forma correcta de cargar y amarrar los transformadores enhuacalados

- El amarre de la carga a la carrocería del camión o contenedor se puede hacer de varias formas:

Figura 19: Forma correcta de cargar y amarrar los transformadores enhuacalados

- Pasando la eslinga por encima del huacal.
- Pasando la eslinga por encima de la tapa y del gabinete del transformador.
- Pasando la eslinga por encima de las orejas de levante del transformador.



Figura 24: Formas de amarrar la carga enhuacalada al camión o contenedor

## 7.1.3 Carga camiones descapotados

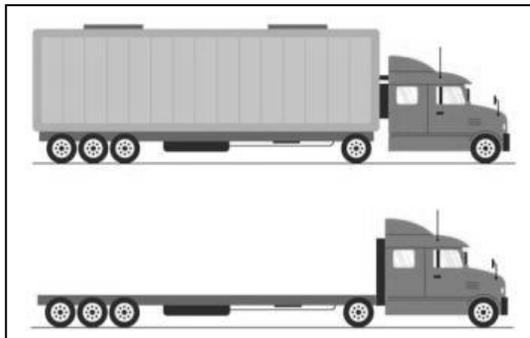


Figura 25: Camión normal y descapotado

Este tipo de carga se hace por solicitud del cliente o por las dimensiones del producto a transportar.

La carga en este tipo de camiones presenta varias ventajas:

- Al no tener la carpa, el envarillado y los laterales, se hace mejor uso del área total disponible de la plancha.
- Aplica para transformadores con o sin huacal.
- La carga puede sobresalir +/- 15 cm a los lados de la plancha.

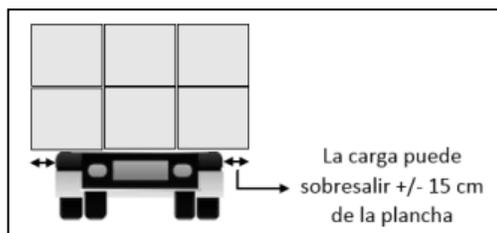


Figura 26: Tolerancia de la carga a los costados de la plancha

- Se incrementa el número total de transformadores en la carga.
- El cargue y descargue se hace por los laterales del camión, disminuyendo el tiempo de estas operaciones.
- Al cargar transformadores enhuacalados, se pueden apilar hasta en dos niveles, siempre y cuando el peso de los transformadores del segundo nivel no supere los 400 kg.

**Precaución:** Para Colombia, la altura total de la carga, medida desde el piso, no puede superar los 4,3 m.

El peso total de la carga no puede superar la capacidad del camión.

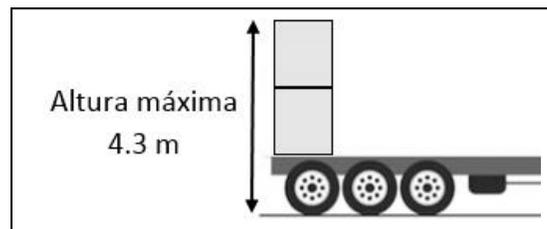


Figura 27: Altura máxima de la carga

### ➤ Pasos para el cargue

- La carga se debe hacer desde la parte frontal de la plancha (cerca de la cabina) hasta la parte posterior de la misma.
- Con la ayuda de los medios mecánicos adecuados (montacargas, grúa, etc.) cargue el primer

transformador, debe quedar centrado en la plataforma del camión.

- Repita el numeral anterior hasta completar la carga total del camión.

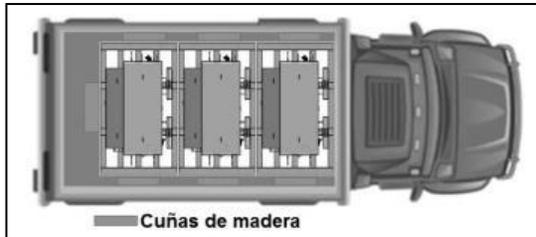


Figura 28: Carga centrada

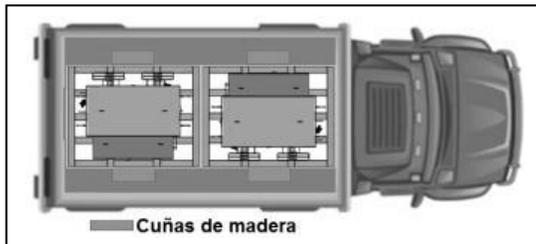


Figura 28-1: Radiadores intercalados

- Una vez ubicados y alineados los transformadores en la plataforma, asegúrelos con eslingas al chasis del camión (ver, como ayuda, la figura 23 del numeral 7.12).



Figura 29: Amarre carga con eslingas

- Para evitar el desplazamiento de la carga durante el transporte, asegure con una

eslinga el último transformador cargado.



Figura 30: Aseguramiento última fila transformadores cargados

**Precauciones:** Todas las filas se deben asegurar con eslingas, estas deben quedar bien tensionadas.

Si utiliza cadenas o estrobo metálicos para elevar el transformador, asegúrese de cubrir las partes en contacto para evitar desprendimiento de pintura.

### 7.1.4 Unidad de carga tipo open top (contenedor sin techo)

Para el cargue de este tipo de contenedores, tenga en cuenta lo siguiente:

- Utilice puente grúa (diferencial) o grúa.
- Al elevar la carga, hágalo solo hasta que sobrepase la altura del contenedor (elevarlo en

exceso, puede ocasionar accidentes).

- Asegúrese de no golpear la unidad de carga.
- La carga no puede quedar pegada a las paredes del contenedor.
- Revise el estado de las eslingas, estrobo o grilletes, no los utilice si presentan daño o deterioro.

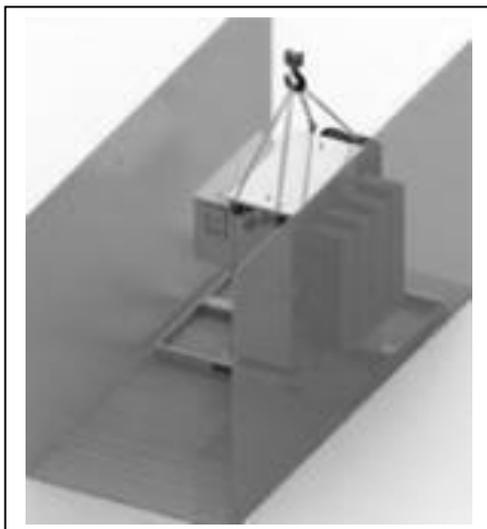
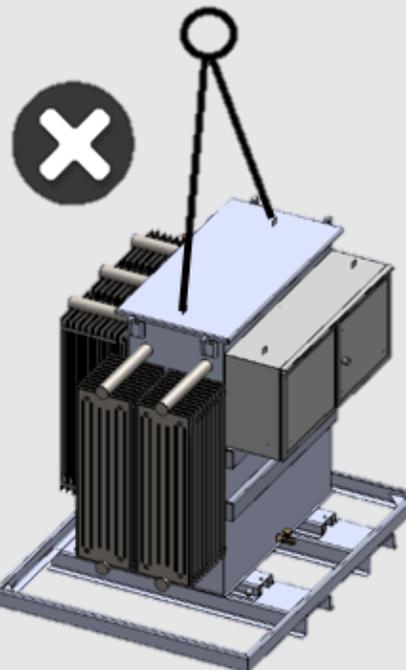


Figura 31: Cargue contenedor sin techo

### 7.1.5 Descargue

**Precauciones:** Algunos transformadores cuentan con aditamentos para levantar la tapa, NUNCA los utilice para levantar o izar el transformador.



Si utiliza cadenas o estrobo metálicos para elevar el transformador, asegúrese de cubrir las partes en contacto para evitar desprendimiento de pintura.

El descargue de los transformadores corre por cuenta del cliente, salvo que se especifique algo diferente en el contrato. Sin embargo, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Utilice siempre los medios mecánicos adecuados, montacargas, grúa, etc.
- Los medios mecánicos utilizados deben tener por lo menos el doble de capacidad que el peso del transformador.
- Eleve el transformador solo por las orejas de levante o la base del embalaje.
- El personal que hace parte del descargue, debe permanecer alejado del transformador cuando este es elevado.
- Los transformadores cargados en camiones descapotados, se deben descargar en forma inversa al cargue.
- En contenedores o camiones con la carrocería instalada, los transformadores que están fuera del alcance se deben jalar hasta ponerlos en posición de descargue, para ello:
  - Amarre una eslinga al montacargas o al medio mecánico utilizado y páselo alrededor de la base del embalaje del transformador.

- Hale el transformador hasta ponerlo al alcance del medio mecánico utilizado.
- Descargue el transformador.

**Precauciones:** El transformador no debe moverse usando apoyo de arrastre o de amarre al tanque.

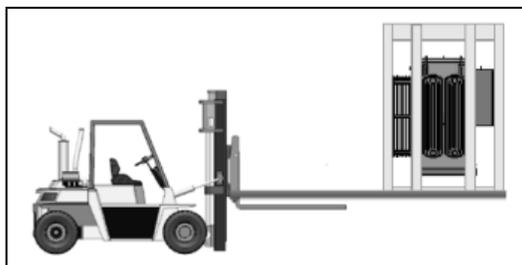
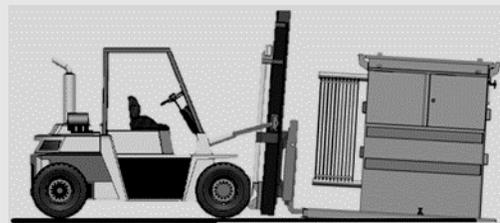


Figura 32: Forma adecuada de jalar un transformador en el descargue.

## 8. Recepción

**Precaución:** Antes de descargar el transformador, debe inspeccionar visualmente el estado del mismo, cualquier anomalía comunicársela al transportador y deje registro de la misma.

Los transformadores cubiertos en este manual son probados en fábrica de acuerdo a normas, se entregan completamente ensamblados y listos para su instalación o desarmados de acuerdo a su tamaño y peso, sin embargo, teniendo en cuenta las dificultades que se presentan durante el transporte, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Revise que los sellos de seguridad ubicados entre la tapa y el tanque para el producto nacional, no hayan sido removidos o presenten evidencias de haber sido manipulados.



Figura 33: Sello de seguridad

- Revise que los sellos de seguridad ubicados en los lugares que presenten partes removibles (cajas de conexiones, hand hole, tapas pernadas, etc.) para el producto tipo exportación, no hayan sido removidos o presenten evidencias de haber sido manipulados.



Figura 34: Sello de seguridad en partes removibles

- Cuando los transformadores se despachan y transportan en varias secciones como pueden ser: El tanque principal, el líquido aislante, los radiadores y otros elementos; los componentes desarmados van embalados en huacales o en cajas y deben ser confrontados contra la lista de empaque suministrada.
- Revise el estado de los aisladores de media y baja tensión, no deben estar sueltos ni presentar daño.

- Revise el estado de los instrumentos de control que van adosados al tanque principal.
- Revise el estado del tanque, no debe presentar golpes, grietas o daños en su pintura.
- Revise que las ruedas orientables (si las lleva) lleguen con el transformador.
- Comuníquese con MAGNETRON S.A.S. y notifique lo sucedido, suministrando la información completa del transformador.
- Tenga presente lo establecido en **Transporte (numeral 7)** antes de descargar el transformador.



Figura 35: Ruedas orientables

- Verifique que no se presenten fugas de líquido aislante.
- Revise que la tornillería no esté suelta o floja.
- Inspeccione la base del embalaje, no debe presentar daño.
- Revise que las características del transformador corresponden con lo solicitado (potencia, fases, voltajes, número de serie, etc.).
- En caso de encontrar daños en el transformador, en lo posible, deje registro fotográfico de los hallazgos.
- Informe al transportador las anomalías encontradas.

## 9. Almacenamiento

**Precaución:** Conserve el transformador en el embalaje (base o huacal), este lo protege de daño o deterioro durante su almacenamiento.

**Precaución:** Para evitar el ingreso de humedad en el transformador, la válvula de sobrepresión NO DEBE ser accionada por ningún motivo.



Una vez el transformador ha sido entregado al cliente, es aconsejable colocarlo en su ubicación permanente, aunque no se ponga en funcionamiento inmediatamente. Si esto no es posible, ubíquelo en un lugar seco; además, debe llenarlo con líquido aislante si aplica.

Acate las siguientes instrucciones para garantizar el buen estado del mismo:

- Almacénelo bajo techo.

**Nota:** Si el almacenamiento se hace a la intemperie, tenga presente que las condiciones ambientales pueden deteriorar la base de madera o el huacal del transformador, ocasionando con ello, daño o deterioro del mismo.

- Cuando aplique, alimente los gabinetes de control a su tensión correspondiente para evitar la condensación de agua en su interior.
- Cuando el almacenamiento se prolonga por más de seis (6) meses, se debe inspeccionar periódicamente el estado de la base de madera o el huacal.
- No lo almacene en lugares donde haya presencia de humedad, lodos, gases corrosivos o atmósferas explosivas.
- Los transformadores que se reciben divididos en varias secciones, se deben ensamblar totalmente, completar el nivel del líquido aislante y presurizar el tanque con nitrógeno seco a 3 psi.

**Nota:** Si no se puede ensamblar completamente, las partes y piezas, se deberán mantener selladas para evitar penetración de humedad.

## 10. Accesorios

**Precaución:** Si algún accesorio no está cubierto en este manual o requiere mayor información, comuníquese con MAGNETRON S.A.S.

Los accesorios instalados en este tipo de transformadores, se pueden clasificar en dos (2) tipos:

### 10.1 Accesorios normales

Elementos mínimos requeridos, suministrados por el fabricante con los transformadores, útiles para su identificación, manejo, instalación, buen funcionamiento y protección.

- Pasatapas de baja tensión.
- Pasatapas de media tensión.
- Dispositivo de puesta a tierra del tanque.
- Ruedas orientables.
- Dispositivos para gato hidráulico.
- Dispositivos para levantar o izar el transformador completo.
- Dispositivo para levantar o izar la parte activa y la tapa.
- Válvula para toma de muestras del líquido aislante.
- Válvulas para recirculación y drenaje del líquido aislante.

- Indicador del nivel del líquido aislante.
- Bolsillo para termómetro.
- Termómetro de carátula con o sin contactos.
- Dispositivo para alivio de sobrepresión con o sin contactos.
- Rotulado de los Pasatapas de MT y BT.
- Placa de características.
- Conmutador de derivaciones sin tensión.
- Caja con bornera para señales de los instrumentos.
- Conexión eléctrica entre partes metálicas ensambladas del tanque.

### 10.2 Accesorios opcionales

Otros elementos adicionales suministrados por el fabricante con los transformadores, por solicitud del cliente.

- Imagen térmica para simulación de la temperatura de los devanados y/o control de la ventilación forzada.
- Ruedas orientables con pestañas para riel y dispositivo de freno.
- Base tipo esquí o patín para arrastrar el transformador sobre el piso.
- Soportes para pararrayos.

- Cajas de protección de bujes de MT y BT.

### 10.3 Ilustración accesorios

A continuación, se detallan algunos de los accesorios utilizados en los transformadores objeto de este manual.

#### 10.3.1 Aislador de media tensión

Accesorio, normalmente fabricado en porcelana, diseñado para sujetar mecánicamente los conductores que forman parte de la línea eléctrica, manteniéndolos aislados de tierra y de otros conductores.

Su función principal, es hacer el puente entre los terminales de media tensión de la parte activa y la fuente de alimentación.

Sus características varían de acuerdo al nivel de tensión del transformador, el nivel básico de aislamiento y las distancias de fuga y de arco.

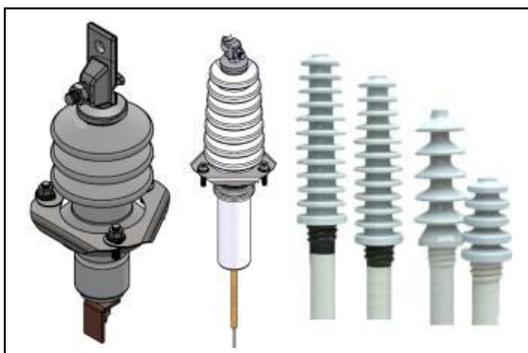


Figura 36: Aislador MT y algunos terminales

#### 10.3.2 Aislador baja tensión

Accesorio, normalmente fabricado en porcelana, diseñado para sujetar mecánicamente los conductores que forman parte de la línea eléctrica, manteniéndolos aislados de tierra y de otros conductores.

Su función principal, es hacer el puente entre los terminales de baja tensión de la parte activa y la carga externa.

Sus características varían de acuerdo al nivel de tensión del transformador, el nivel básico de aislamiento y las distancias de fuga y de arco.

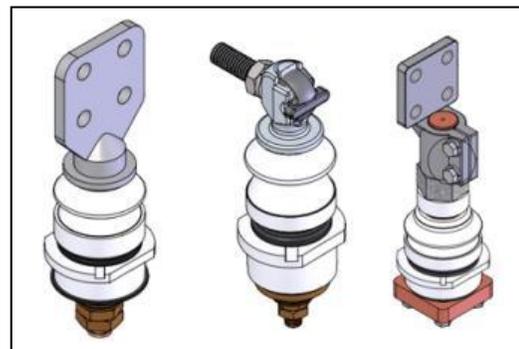


Figura 37: Aisladores BT con sus respectivos terminales

#### 10.3.3 Dispositivo de alivio de presión (VSP)

Su función principal es limitar la presión interna del transformador cuando es afectada por las temperaturas de funcionamiento del mismo, asociadas directamente con la carga instalada. La válvula de alivio de presión es un medio para desalojar las presiones anormales que se presentan al interior del transformador.

La válvula de alivio debe tener una capacidad de evacuación de gas adecuada para el volumen del transformador.

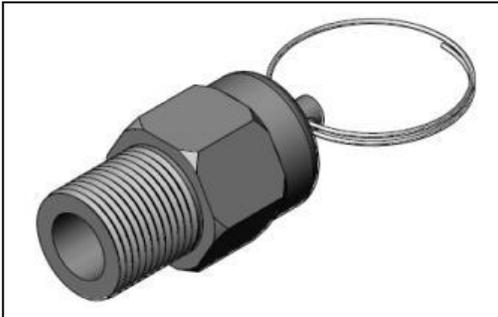


Figura 38: Válvula de sobre presión

#### 10.3.4 Conmutador de derivaciones

**Precaución:** El conmutador cuenta con una manija externa, la cual debe ser operada únicamente con el transformador desenergizado

El conmutador realiza la regulación de tensión que consiste en compensar las variaciones de tensión que se detectan en los puntos receptores de un sistema de transmisión o distribución de energía, variando la relación de vueltas en el devanado primario hasta obtener en el secundario la tensión requerida.

Existe una gran variedad de conmutadores utilizados en los transformadores para el sector petrolero, a continuación, se identifican dos tipos:

- Circulares (3 cuerpos)
- Lineales

##### 10.3.4.1 Pasos para maniobrar el conmutador CIRCULAR

- Desconecte el transformador de la fuente de alimentación.
- Verifique la ausencia de voltaje en el transformador midiendo el devanado de BT con un voltímetro.
- Conecte a tierra los terminales de MT y BT.
- Con un destornillador, libere el tornillo de anclaje de la manija hasta que sobresalga del disco.
- Gire la manija y llévela a la posición deseada.
- Asegure nuevamente el tornillo de anclaje de la manija, hágalo hasta que ingrese en el disco.
- Retire las conexiones de puesta a tierra de los terminales de MT y BT,
- Mida continuidad en los terminales de MT para garantizar que el conmutador quedó bien enclavado.
- Energice nuevamente el transformador.
- Mida el voltaje en BT, valide que es el voltaje deseado.

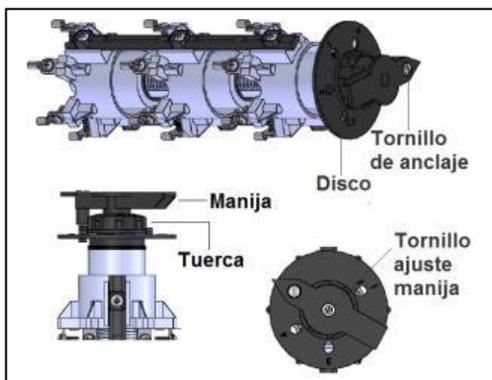


Figura 39: Conmutador circular

### 10.3.4.2 Pasos para maniobrar el conmutador LINEAL

- Desconecte el transformador de la fuente de alimentación.
- Verifique la ausencia de voltaje en el transformador midiendo el devanado de BT con un voltímetro.
- Conecte a tierra los terminales de MT y BT.
- Hale la perilla hasta liberarla del anclaje del disco.
- Gire la perilla y llévela a la posición deseada.
- Asegúrese que la perilla ancla correctamente en la disco.
- Retire las conexiones de puesta a tierra de los terminales de MT y BT.
- Mida continuidad en los terminales de MT para garantizar que el conmutador quedó bien enclavado.

- Energice nuevamente el transformador.
- Mida el voltaje en BT, valide que es el voltaje deseado.

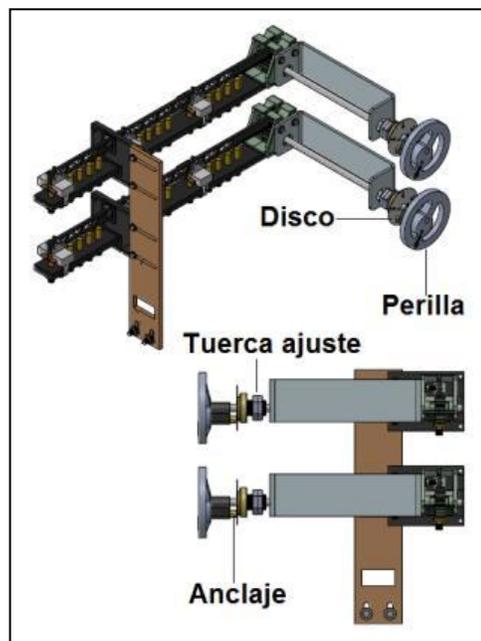


Figura 40: Conmutador LINEAL

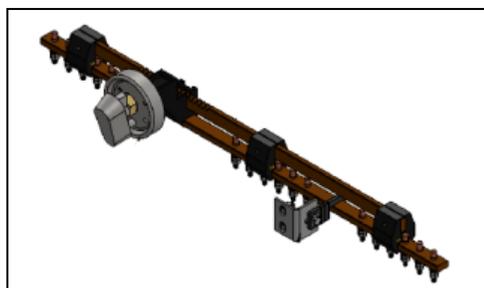


Figura 40-1: Conmutador lineal

### 10.3.5 Placa de características

Es un accesorio fabricado con un material resistente a la corrosión (aluminio, acero inoxidable, etc.) donde se consigna la información más relevante del transformador.

La placa debe fijarse en un lugar visible y sus inscripciones deben ser legibles e indelebles.

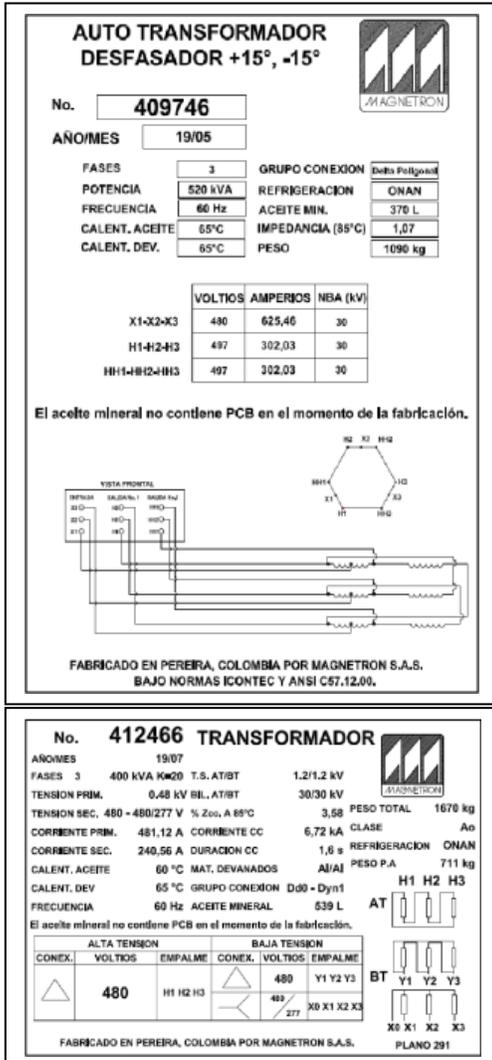


Figura 41: Ejemplo placas de características

### 10.3.6 Sistema de puesta a tierra

El transformador está provisto de tornillos (espárragos) o platinas con sus respectivos accesorios para permitir:

- El aterrizaje del punto neutro de BT o MT al

tanque, desde fábrica se envía conectado.

- El aterrizaje del tanque al sistema de puesta a tierra donde será instalado el transformador.
- El aterrizaje de la pantalla electrostática, cuando el transformador cuenta con ella.

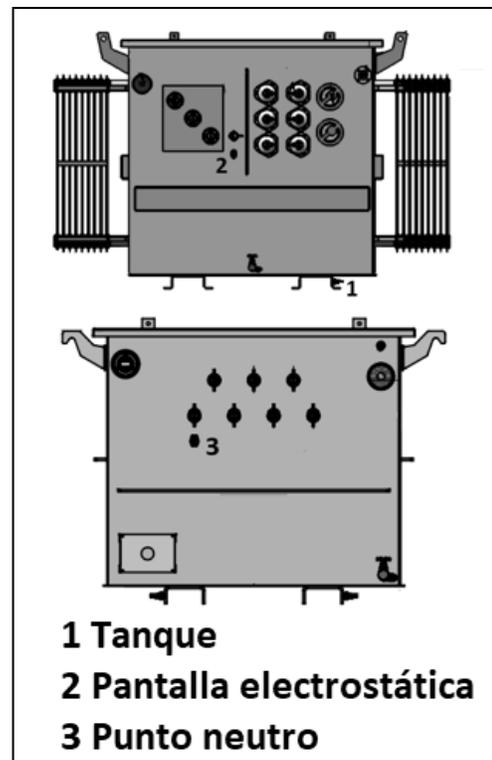


Figura 42: Puntos de aterrizaje

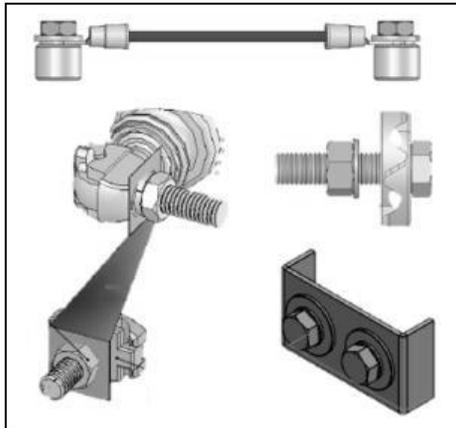


Figura 42-1: Accesorios para puesta a tierra

### 10.3.7 Orejas de levante

Dispositivos para levantar o izar el transformador completamente ensamblado y lleno de líquido aislante, se ubican de tal manera que al enganchar los estroboes o eslingas no se apoyen contra otros accesorios, ni contra los bujes, ni dañen la tapa.

Se utilizan únicamente para izar o levantar, no son para transportar.

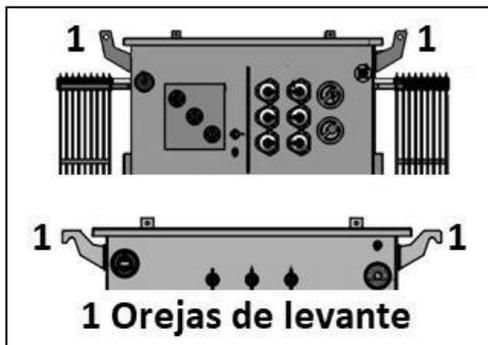


Figura 43: Orejas de levante o izaje

### 10.3.8 Indicación externa del nivel del líquido aislante

Es un dispositivo o medidor que indica el nivel de fluido dieléctrico en el tanque del transformador.

Cuando el indicador se instala en fábrica, el tanque se llena al nivel que corresponde a una temperatura del líquido de 25 °C

Si el medidor indica un nivel de líquido "BAJO", entonces el transformador se debe desenergizar e inspeccionar para determinar la causa del bajo nivel de líquido.

Un nivel bajo de líquido puede provocar fallas dieléctricas, sobrecalentamiento del transformador y una reducción en su vida útil.

Como característica opcional, el medidor de nivel de líquido se puede proporcionar con uno (1) o más contactos para la señalización remota de niveles (bajo o alto) de fluido dieléctrico.

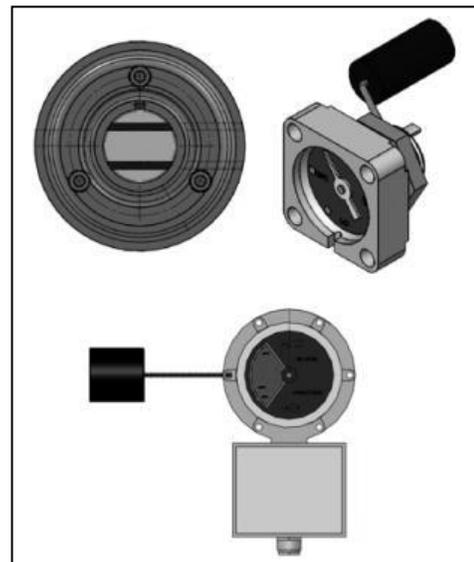


Figura 44: Indicadores del nivel del líquido aislante

### 10.3.9 Indicador de temperatura (termómetro)

Es un instrumento que mide la temperatura del líquido en grados centígrados e incluye un indicador reinicial de temperatura máxima.

El indicador rojo de temperatura máxima se puede reiniciar girando el imán en el centro de la placa frontal hacia el puntero indicador blanco.

El medidor de temperatura está montado en un pozo seco a prueba de líquidos para un fácil reemplazo.

Como característica opcional, los indicadores de temperatura del líquido se pueden proporcionar con uno (1) o más contactos para permitir la señalización remota de temperaturas inaceptables o para controlar los ventiladores de enfriamiento instalados en el transformador.

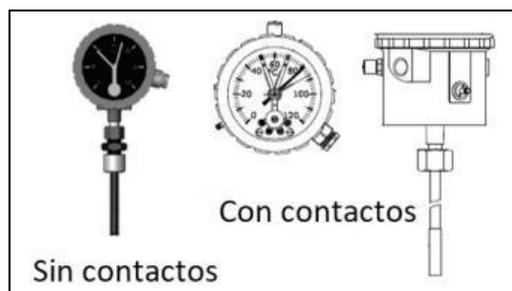


Figura 45: Indicador de temperatura

### 10.3.10 Válvula de drenaje

Este dispositivo está ubicado en la base del tanque, se utiliza para:

- Tomar muestras del líquido aislante con el fin de realizarle pruebas.
- Drenar el líquido aislante si fuera necesario.
- Recircular el líquido aislante cuando se hace mantenimiento en campo.

### 10.3.11 Válvula de recirculación

Este dispositivo está ubicado en la parte superior del tanque por encima del nivel del líquido aislante, se utiliza para:

- Llenar el transformador con líquido aislante.
- Recircular el líquido aislante cuando se hace mantenimiento en campo.
- Cambiar el líquido aislante sin sacar de servicio el transformador.

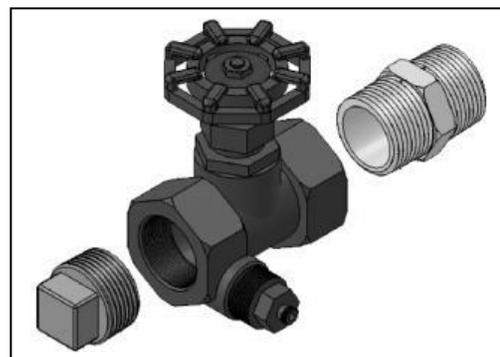


Figura 46: Válvula de drenaje o recirculación

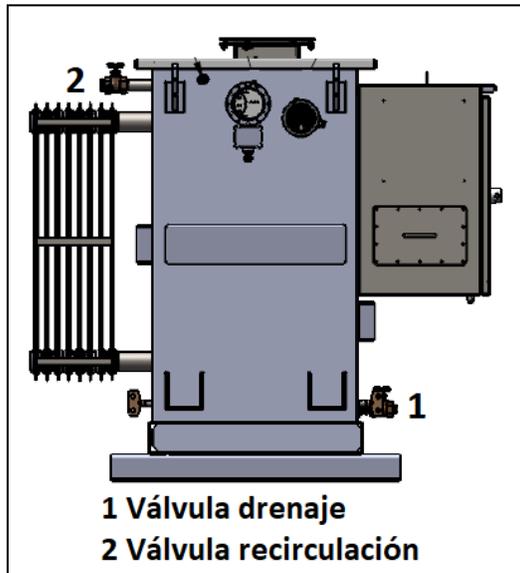


Figura 46-1: Ubicación válvulas

### 10.3.12 Dispositivos izaje tapa

Dispositivos ubicados en la tapa que sirven para izar o elevar la tapa, no están diseñados para levantar el transformador.

Cuando la parte activa se sujeta a la tapa, estas orejas se diseñan para levantar el conjunto TAPA-PARTE ACTIVA.

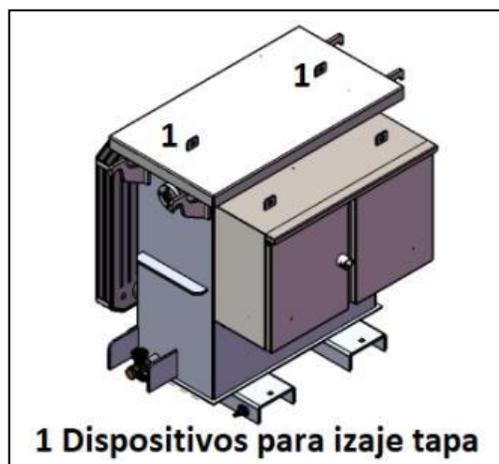


Figura 47: Dispositivos izaje de la tapa

### 10.3.13 Manovacuómetro

Es un instrumento diseñado para medir presión, normalmente viene calibrado para en psi.

Su principal característica, radica en que une las funciones de un manómetro y de un vacuómetro, ya que se encarga de medir tanto la presión relativa como la presión de vacío.

Las lecturas del indicador deberán variar conforme cambia la temperatura del transformador y deberán indicar normalmente presión positiva.

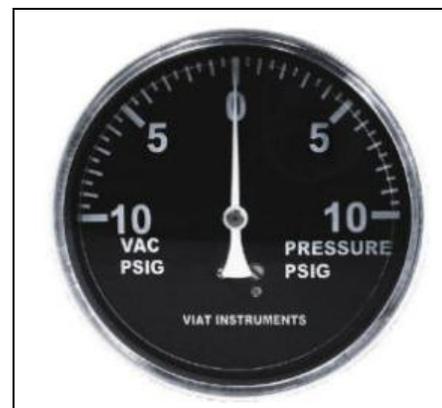


Figura 48: Manovacuómetro

### 10.3.14 Válvula para llenado de nitrógeno (tipo gusanillo)

Es un dispositivo que se utiliza para llenar con nitrógeno la cámara de aire del transformador.

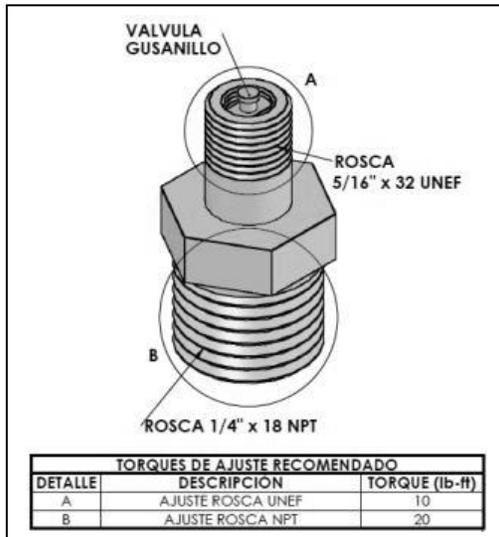


Figura 49: Válvula tipo gusanillo

## 11. Marcaciones terminales

La marcación de los terminales de media tensión y baja tensión en este tipo de transformadores, se realizan de acuerdo a la norma ANSI.

### 11.1 Marcación PST (Autotransformador)

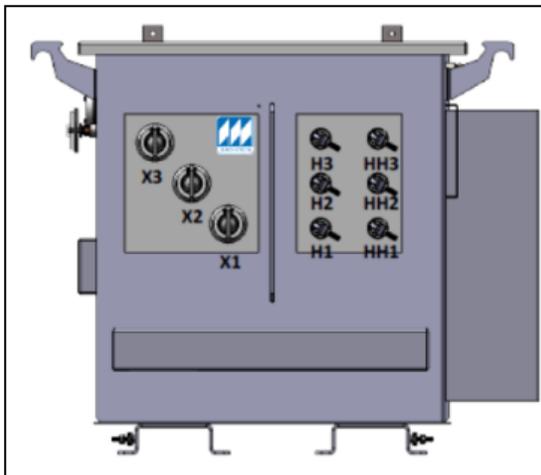


Figura 50: Marcación PST

### 11.2 Marcación SUT

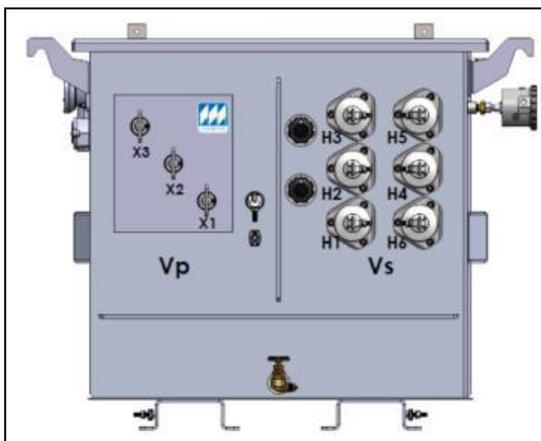


Figura 51: Marcación SUT

### 11.3 Marcación PST (Hexafásico)

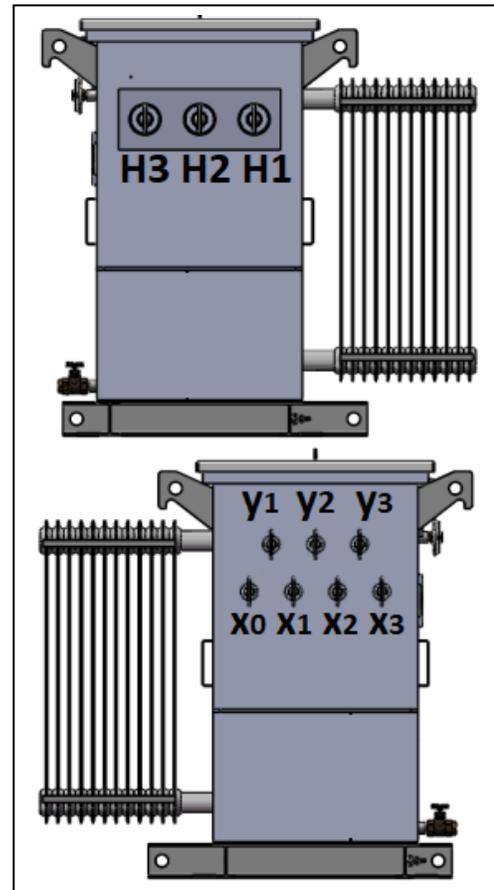
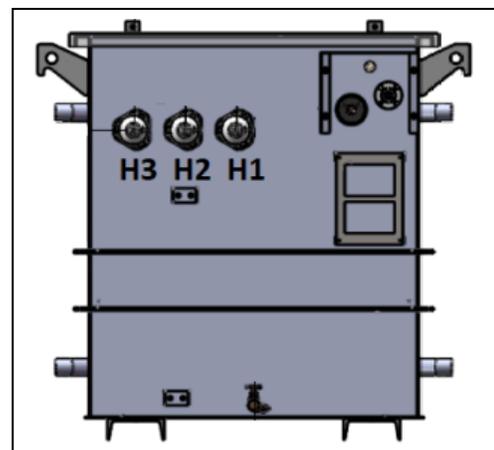


Figura 52: Marcación Hexafásico

### 11.4 Marcación PST



(Dodecafásico)

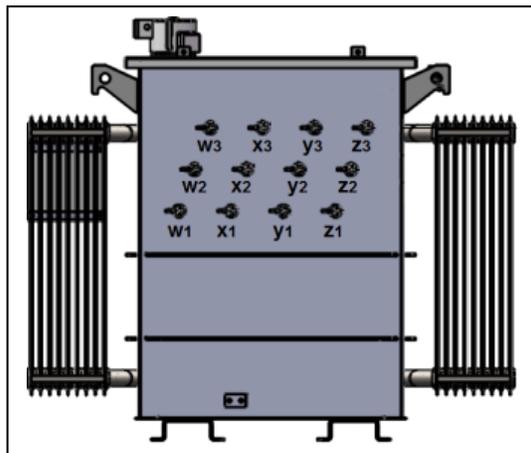
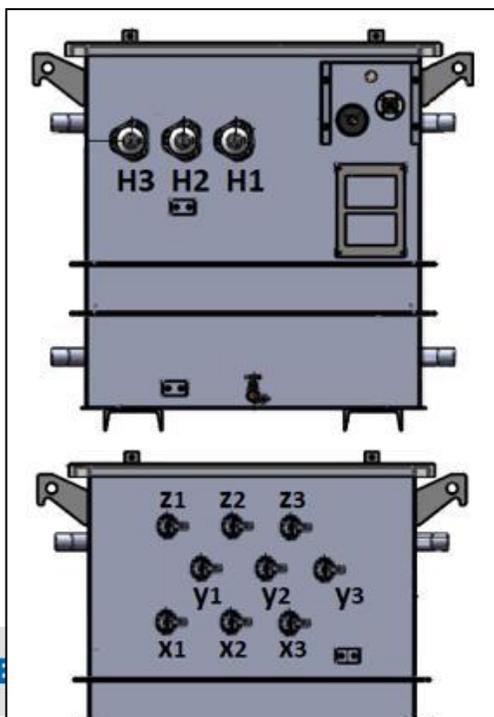


Figura 5.3. Marcación de un transformador trifásico DODECAFÁSICO (Nonafásico) Marca PST



- Las marcaciones en los terminales de media tensión se realizan con letras MAYÚSCULAS y para los terminales de baja tensión se realizan con letras MINÚSCULAS.

Los transformadores trifásicos presentan otros dos factores muy importantes para su conexión:

- Grupo de conexión
- Índice horario

### 11.6 Índice horario

Representa el ángulo de desfase entre el diagrama vectorial de las fuerzas electromotrices (tensiones) del devanado primario y del devanado secundario, cuando el transformador está en vacío.

En otras palabras, es el desfase, en grados, entre la tensión del primario y la tensión del secundario.

El índice horario se llama así porque el desfase se expresa según las horas de un reloj. Cada

hora, desde las 12 en punto, representa un desfase de  $30^\circ$ .

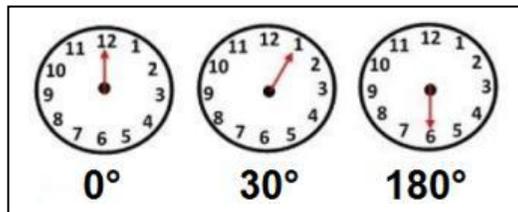


Figura 55: Ejemplos índice horario

## 11.7 Grupo de conexión

Representa el tipo de conexión para cada uno de los devanados, normalmente el devanado primario y el devanado secundario.

El grupo de conexión se representa con una serie de letras y un número, de la siguiente manera:

- La primera letra, en MAYÚSCULA, representa la conexión del devanado de mayor tensión.
- La segunda letra, en MINÚSCULA, representa la conexión del devanado de menor tensión.
- El número, representa el desfase, en grados, entre la tensión del primario y la del secundario ( $1 = 30^\circ$ ).
- Si en el grupo de conexión se observa una tercera letra (N o n), indica que la conexión en estrella (Y o y) lleva punto neutro accesible.

## Ejemplo:

# Dyn5

D	Indica la conexión del devanado de MAYOR TENSIÓN (Delta o triángulo)
y	Indica la conexión del devanado de MENOR TENSIÓN (Estrella)
n	Indica que la conexión en estrella (Y o y) lleva punto neutro accesible
5	Representa el desfase, en grados, entre la tensión del primario y la del secundario, en este caso $150^\circ (5 * 30^\circ)$

**Nota:** Otros grupos de conexiones:

- Ddo
- Yyn0
- Dyn11
- Ynd5
- Dyn1
- Dz
- Delta-Doble delta
- Etc.

## 12. Revisión antes de la instalación

Antes de instalar el transformador, verifique lo siguiente:

- Remueva todo rastro de suciedad y materiales extraños de los aisladores de media y baja tensión.
- Limpie el tanque del transformador.
- Revise que los accesorios adosados al transformador,

estén en buen estado y debidamente ajustados.

- Verifique que no se presenten fugas de líquido aislante.
- Asegúrese que el transformador no presente golpes o daños que puedan invalidar su buen funcionamiento.
- Revise la información consignada en la placa de características y verifique que está de acuerdo con los requerimientos (potencia, voltajes, etc.).
- Retire la base y el huacal (si lo tiene) del transformador.
- Verifique que el conmutador este bien anclado y en la posición requerida.
- Cerciórese que el punto neutro de baja tensión está correctamente aterrizado al tanque.
- Asegúrese que todas las partes y/o los accesorios a instalar, si los hay, estén completos y en buen estado.

## 13. Pruebas antes de la instalación

Los transformadores usados en el sector petrolero son de diversos tipos como se describió anteriormente, de forma similar a los transformadores convencionales, se les realizan las pruebas de rutina con algunas variaciones.

Con el fin de asegurar el buen funcionamiento del producto y no afectar la garantía del equipo, se deben realizar las siguientes pruebas que validan la instalación y energización del mismo:

### 13.1 Relación de transformación (TTR)

Esta prueba se realiza para medir la relación de voltajes o espiras entre dos o más devanados.

También, es una prueba que permite identificar:

- El grupo de conexión.
- Cortocircuito entre espiras o capas.
- Fallas por terminales reventados o abiertos.
- Daño o mala operación del conmutador.
- Conexiones erróneas o trocadas.

La relación de transformación de un transformador se puede medir por relación de espiras o por relación de voltajes, en el caso de los **transformadores**

**desfasadores**, para la medida del desplazamiento angular es necesario realizar la medida de relación de transformación por voltajes y de forma trifásica, ya que por el método de espiras no es posible obtener este valor en grados de desplazamiento.

Cuando sea posible realizar la prueba de relación de transformación por espiras, se expondrán los métodos con el TTR análogo y el TTR digital para cada tipo de transformador.

#### ➤ TTR análogo o de manivela

Con este equipo, se compara la relación del transformador bajo ensayo con la de un transformador de referencia (interno del equipo) cuya relación es regulable en pequeños escalones.

El transformador bajo ensayo y el TTR se conectan en paralelo aplicando tensión a los devanados de MT; los devanados de BT, en paralelo, se conectan a un detector sensible al que se obliga a señalar cero (0) ajustando la relación de transformación del transformador de referencia (TTR). La relación de transformación ajustada del transformador de referencia (TTR) es entonces igual a la relación de transformación del transformador bajo ensayo.

Este procedimiento se debe realizar en todas las posiciones del conmutador y en todas las

fases si es un transformador trifásico.



Figura 56: TTR análogo o de manivela

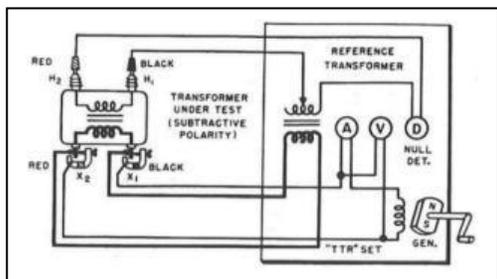


Figura 56-1: Conexión TTR al transformador bajo prueba

### ➤ TTR digital

Con este equipo, se aplica una tensión ajustable en los terminales de MT y es medida la tensión de salida del devanado correspondiente a la BT, de la división de estas tensiones resulta el valor de la relación de transformación.

Los terminales de MT y BT del equipo de medida son conectados a los terminales de MT y BT del transformador bajo prueba de acuerdo a la marcación de las fases correspondientes. Se debe configurar el equipo de acuerdo al grupo de conexión y la tensión a aplicar, como estándar se usa 8V.



Figura 57: TTR digital

### ➤ Cálculo de la relación de transformación

Se realizan de acuerdo al grupo de conexión o la polaridad del transformador:

Fases	Tipo de Conexión	Fórmula
1	Ii0 - Ii6	$RT = \frac{\text{Voltaje AT}}{\text{Voltaje BT}}$
3	Dd - Yy	$RT = \frac{\text{Voltaje AT}}{\text{Voltaje BT}}$
	Dy	$RT = \frac{\text{Voltaje AT (L-L)}}{\text{Voltaje BT (L-L)} / \sqrt{3}}$
	Yd	$RT = \frac{\text{Voltaje AT (L-L)} / \sqrt{3}}{\text{Voltaje BT (L-L)}}$

Figura 58: fórmulas para calcular la relación de transformación

### 13.1.1 Autotransformadores (PST)

MAGNETRON S.A.S. fabrica dos tipos de autotransformadores desfasadores: Delta poligonal y Zig-zag. Aunque son físicamente iguales, su forma constructiva y el método de prueba son diferentes.

El Delta poligonal puede ser probado por ambos métodos, mientras el Zig-zag solo se puede probar con el TTR digital, ya que su forma constructiva no permite realizar la prueba monofásicamente.

#### ➤ Delta Poligonal con TTR de Manivela

Conecte el equipo de medición al transformador como se indica en la tabla, para comprobar la relación de espiras por diseño:

Conexión MT TTR	Conexión BT TTR
X1 – H1	HH1 – X1
X2 – H2	HH2 – X2
X3 – H3	HH3 – X3

**Nota:** El resultado obtenido, debe ser +/- 1

Para comprobar la relación de transformación entre las bobinas de BT y las bobinas de MT, conecte el equipo de medición al transformador como se indica en la tabla:

**Nota:** El resultado obtenido, debe

Conexión MT TTR	Conexión BT TTR
HH2 – H3	X1 – H1
HH3 – H1	X2 – H2
HH1 – H2	X3 – H3

ser +/- 5.5

#### ➤ Delta Poligonal y Zig-zag con TTR digital

Esta es una verificación de la relación de transformación por voltajes, además, se realiza la comprobación del desplazamiento entre fases.

Conecte el equipo de medición al transformador como se indica en la tabla:

Caimán equipo	Terminal Transformador
1U	X1
1V	X2
1W	X3
1N	No conectar
2U	H1
2V	H2
2W	H3
2N	No conectar

Encienda el equipo de medición, configúrelo e inicie la prueba; al terminar, los resultados deben estar de acuerdo a lo relacionado en la siguiente tabla:

Lectura canal	Relación esperada
A (X1 – H1)	Vp/Vs
B (X2 – H2)	Vp/Vs
C (X3 – H3)	Vp/Vs

De igual forma, repita la prueba para comprobar el desplazamiento

entre las fases X-H, X-HH y las fases H-HH, el desplazamiento esperado es:

Entre fases	Desplazamiento
X - H	-15°
X - HH	+15°
HH - H	30°

### 13.1.2 Hexafásicos

Este tipo de transformadores están conformados por una MT común y dos BT independientes.

Los grupos de conexión más utilizados son el Dd0, Dyn1 o Dyn5. Los desplazamientos angulares se consiguen a partir de conexiones estándares.

#### ➤ TTR de manivela

La conexión del equipo de medición al transformador se realiza dependiendo del grupo de conexión, así:

Ddo	
Conexión MT TTR	Conexión BT TTR
H1 - H2	X1 - X2
H2 - H3	X2 - X3
H3 - H1	X3 - X1
Dyn1	
Conexión MT TTR	Conexión BT TTR
H1 - H3	X1 - X0
H2 - H1	X2 - X0
H3 - H2	X3 - X0
Dyn5	
Conexión MT TTR	Conexión BT TTR
H1 - H2	X0 - X1
H2 - H3	X0 - X2
H3 - H1	X0 - X3

#### ➤ TTR digital

Esta es una verificación de la relación de transformación por voltajes, además, se realiza la comprobación del desplazamiento entre fases.

Caimán equipo	Terminal Transformador
1U	H1
1V	H2
1W	H3
1N	No conectar
2U	X1
2V	X2
2W	X3
2N	X0

Para las configuraciones Dyn1 y Dyn5, conecte el equipo de medición como se ilustra en la siguiente tabla:

Para la conexión Ddo, configure el equipo de medición y conéctelo como se indica en la tabla:

Ddo	
Terminal TTR	Terminal transformador
1U	H1
1V	H2
1W	H3
1N	No se conecta
2U	X1
2V	X2
2W	X3
2N	No se conecta

### 13.1.3 Dodecafásicos y Nonafásicos

Los transformadores Nonafásicos (18 pulsos) y Dodecafásicos (24 pulsos), son transformadores conformados por una MT común y tres y cuatro BT respectivamente.

Los transformadores de 18 pulsos tienen dos grupos de conexión, Dd0 y Dz, los transformadores de 24 pulsos solo están configurados para conexión Dz.

Estos transformadores, logran los desplazamientos angulares deseados a partir de conexiones Zig-zag en BT, razón por la cual la relación de transformación solo puede ser medida usando un TTR digital trifásico, ya que las bobinas que conforman una fase se encuentran distribuidas en dos piernas diferentes del núcleo.

Para realizar la prueba, configure el equipo de medición y conéctelo al transformador como se indica en la tabla:

Caimán equipo	Terminal Transformador
1U	H1
1V	H2
1W	H3
1N	No conectar
2U	X1
2V	X2
2W	X3
2N	No conectar

Al finalizar, verifique los resultados de la relación de transformación y de los desplazamientos angulares.

Repita el procedimiento para cada una de las BT.

En transformadores con doble voltaje, se debe repetir la prueba para cada tensión primaria, caso puntual Dodecafásicos con voltajes 2000/415V.

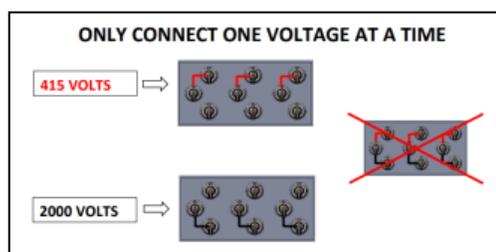


Figura 59: Conexión Dodecafásica con doble voltaje

### 13.1.4 SUT

El SUT es tratado como un transformador convencional, la medida de la relación de transformación puede realizarse de forma monofásica o trifásica, con conexión de MT en delta (D) o en estrella (Y).

Lo que hace diferente un SUT de un transformador convencional, es la posibilidad de ajustar la tensión de salida en un amplio rango, gracias a sus conmutadores de ajuste grueso y ajuste fino.

La relación se deberá garantizar en cada una de estas posiciones, en total son 25 posibles combinaciones (en un diseño típico); el conmutador de ajuste grueso da una mayor variación de espiras con respecto al conmutador de ajuste fino, pero entre ambos se debe garantizar una variación constante, la cual depende de los rangos de voltaje que solicite el cliente o corresponda al diseño.

### ➤ Con TTR de manivela

Conecte el equipo de medición al transformador como se indica en la tabla:

Conexión BT	TTR	Conexión AT	TTR
X1 – X2		H1 – H4	
X2 – X3		H2 – H5	
X3 – X1		H3 – H6	

**Nota:** Para realizar la relación de transformación, coloque el conmutador de ajuste grueso en la posición 1 y gire el conmutador de ajuste fino desde la posición 1 hasta la posición 5.

Repita el procedimiento anterior, variando la posición del conmutador de ajuste grueso hasta llegar a la posición 5, obteniendo así, las 25 lecturas de relación de transformación.

### ➤ Con TTR digital

Configure y conecte el equipo de medición al transformador como se indica en la tabla:

Caimán equipo	Terminal Transformador
1U	H1
1V	H2
1W	H3
1N	Punto neutro si es en conexión Y No conectar si es en conexión D
2U	X1
2V	X2
2W	X3
2N	No conectar

Al finalizar, verifique los resultados de la relación de transformación y del desplazamiento angular.

### Notas:

- Es estándar en los transformadores tipo SUT que la posición 1-1 es la de menor tensión, y la posición 5-5 la de mayor tensión, de forma inversa a los transformadores convencionales.
- En los certificados de pruebas, MAGNETRON S.A.S. entrega los resultados para la conexión Ddo.
- En el ANEXO A, se ilustran algunos diagramas de los grupos de conexión más utilizados.

### 13.2 Resistencia de los devanados

Esta prueba se realiza para garantizar que las conexiones internas del transformador no están sueltas o abiertas.

## 13.2.1 Autotransformadores (PST)

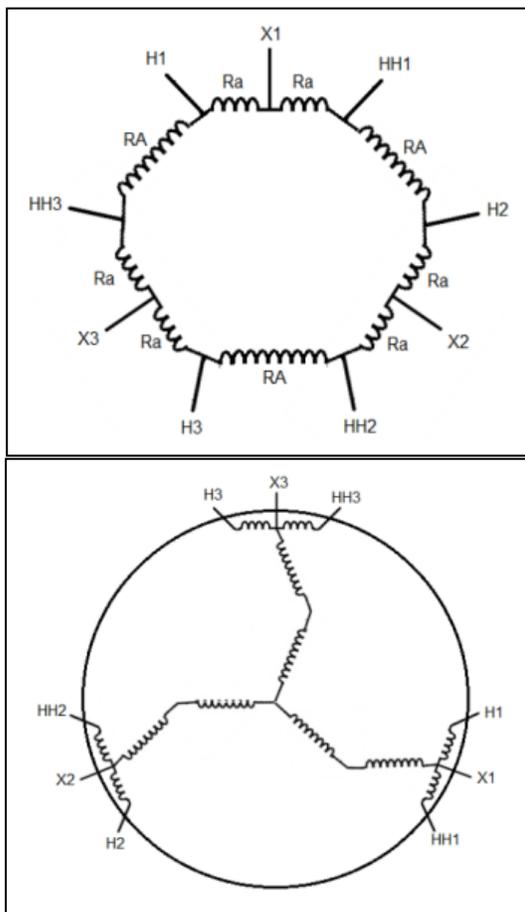


Figura 60: Diagramas de conexión

Este tipo de transformador requiere la medición de cada una de las bobinas que lo conforman, por lo tanto, se debe medir la resistencia entre terminales de acuerdo a la siguiente secuencia:

### ➤ Delta poligonal

RA	H1 – HH3	H2 – HH1	H3 – HH2
Ra	X1 – H1	X2 – H2	X3 – H3
Ra	X1 – HH1	X2 – HH2	X3 – HH3

### ➤ Zig-zag

X1 – X2	X2 – X3	X3 – X1
X1 – H1	X2 – H2	X3 – H3
X1 – HH1	X2 – HH2	X3 – HH3

**Nota:** En total, son nueve los valores de resistencia que se deben tomar para cada uno de estos transformadores.

## 13.2.2 Hexafásicos

Se realiza de forma similar a un transformador convencional, en este caso, se toma la resistencia de MT y la resistencia de BT (tanto para la conexión en delta como la conexión en Y).

En total, se toman nueve (9) valores de resistencia.

Conecte el equipo de medición al transformador como se indica en la siguiente tabla:

MT	H1-H2	H2-H3	H3-H1
BT en Delta (D)	Y1-Y2	Y2-Y3	Y3-Y1
BT en Estrella (Y)	X1-X2	X2-X3	X3-X1

## 13.2.3 Dodecafásicos y Nonafásicos

Se realiza de forma similar a un transformador convencional, en este caso se toma la resistencia de MT y la resistencia de cada una de las BT.

En total, se toman doce (12) lecturas para los Nonafásicos y quince (15) lecturas para los Dodecafásicos de resistencia.

En transformadores con doble voltaje, se debe repetir la prueba para cada tensión primaria.

Conecte el equipo de medición al transformador como se indica en la siguiente tabla:

### ➤ Dodecafásicos

MT	H1-H2	H2-H3	H3-H1
Secundario W	W1-W2	W2-W3	W3-W1
Secundario X	X1-X2	X2-X3	X3-X1
Secundario Y	Y1-Y2	Y2-Y3	Y3-Y1
Secundario Z	Z1-Z2	Z2-Z3	Z3-Z1

### ➤ Nonafásicos

MT	H1-H2	H2-H3	H3-H1
Secundario X	X1-X2	X2-X3	X3-X1
Secundario Y	Y1-Y2	Y2-Y3	Y3-Y1
Secundario Z	Z1-Z2	Z2-Z3	Z3-Z1

### 13.2.4 SUT

Se prueba como un transformador convencional, difiere en que se debe realizar la medida en los devanados de MT en conexión delta (D) y estrella (Y).

En total, se toman nueve (9) valores de resistencia.

### 13.2.5 Interpretación de los resultados

Si al realizar la prueba se le presenta alguno de los siguientes casos, el transformador ha sufrido un daño interno:

- Al medir el devanado de MT, alguno de los valores arrojados es más o menos el doble de lo consignado en el certificado de pruebas (figura 61).
- Al medir el devanado de MT, el medidor no registra un valor de medición.
- Al medir el devanado de BT, alguno de los valores arrojados es más o menos el doble de lo consignado en el certificado de pruebas o no registra ningún valor (figura 62).

Resultados consignados en el certificado de pruebas para la posición 2 del conmutador de derivaciones ( $\Omega$ )

U-V	V-W	W-U
29.9	29.8	30.0

Mediciones ( $\Omega$ )			
Posiciones conmutador	U-V	V-W	W-U
1	30.5	30.4	30.6
2	30.3	30.1	30.2
3	29.8	29.6	29.7
4	29.5	29.3	29.4
5	29.1	29.0	29.2

Mediciones ( $\Omega$ )			
Posiciones conmutador	U-V	V-W	W-U
1	30.5	61.0	30.6
2	30.3	60.1	30.2
3	29.8	29.6	29.7
4	29.5	29.3	29.4
5	29.1	29.0	29.2

Mediciones ( $\Omega$ )			
Posiciones conmutador	U-V	V-W	W-U
1	30.5	30.4	30.6
2	30.3	30.1	30.2

Medición errónea

vs H3-H5
H1
X1

- Realice la prueba durante un (1) minuto por cada medición (MT vs BT, MT vs T y BT vs T).
- Proceda de la siguiente manera:
  - Cortocircuite los terminales de MT (H1-H2-H3).
  - Cortocircuite todos los terminales de BT (x1-x2-x3, y1-y2-y3, z1-z2-z3, etc.).

Resultados consignados en el certificado de pruebas para BT			
2.31	2.30	2.31	
Valores medidos en campo			
2.34	2.33	2.33	✓
4.70	2.33	2.33	✗
2.34	1.	2.33	✗

Figura 62: Ejemplo de mediciones en BT

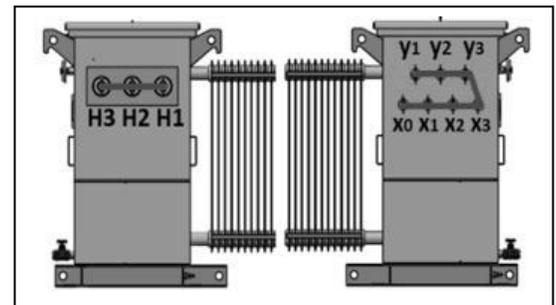


Figura 63: Cortocircuito terminales de MT y BT

### 13.3 Resistencia de los aislamientos

Esta prueba se realiza para tener una visión del estado de los aislamientos en cuanto a contaminación por presencia de agua, partículas metálicas o elementos extraños suspendidos en el líquido aislante.

- Utilice un medidor (megger) de 5 kV con un rango de medición de 50 MΩ como mínimo (utilice el mismo voltaje de la prueba en fábrica para minimizar las desviaciones).

- Para realizar las diferentes mediciones (3) se conectan los cables de la siguiente forma:
  - MT-BT: Cable de alimentación (+) en MT y cable negro (-) en BT, el cable guarda ira en un terminal de tierra.
  - MT-T: Cable de alimentación (+) en MT y cable negro (-) en T, el cable guarda ira en BT.
  - BT-T: Cable de alimentación (+) en BT y

cable negro (-) en T, el cable guarda ira en MT.

### 13.3.1 Tensiones de ensayo

Se recomienda aplicar el voltaje de prueba, teniendo en cuenta la clase del devanado bajo ensayo:

Clase (kV)	Voltaie DC (kV)
≤ 1.2	1
> 1.2	5

### 13.3.2 Interpretación de los resultados

Este ensayo no tiene correspondencia entre el valor de la potencia nominal, la tensión del transformador y la resistencia de aislamiento, razón por la cual, los valores mínimos se dejan a criterio del fabricante.

Para verificar si los valores medidos en el sitio de instalación están acordes, tenga presente los siguientes criterios:

- Compare los resultados obtenidos contra los reportados por MAGNETRON S.A.S. en el certificado de pruebas, estos deberían dar muy cercanos o por encima de lo medido en fábrica.
- Tenga en cuenta los valores mínimos establecidos por MAGNETRON S.A.S. según la

Clase (kV)	Resistencia mínima (MΩ)
1.2	1 000
15	10 000
34,5	50 000

clase del transformador.

- Aplique la fórmula empírica de James Biddle para calcular el valor mínimo de resistencia de los aislamientos:

$$R = \frac{CE}{\sqrt{kVA}}$$

R = Resistencia a 20°C del aislamiento medido en 1 min.

C = Constante para medidas a 20°C

C=1.6 para transformadores en aceite

C=30 para transformadores secos

KVA= Potencia nominal

E= Tensión nominal en voltios del devanado en prueba.

### 13.3.3 Consideraciones especiales

- En los Autotransformadores, solo se realizan dos pruebas de aislamiento, teniendo presente que, una parte del devanado es común tanto al primario como al secundario:

- MT vs BT
- BT vs T

- En los transformadores que presentan terminal para aterrizar la pantalla electrostática, se realizan seis (6) pruebas de aislamiento:

- MT vs BT
- MT vs T
- BT vs T
- Pantalla vs MT
- Pantalla vs BT
- Pantalla vs T

**Precaución:** Si tiene alguna duda o cree que le ha entrado agua al transformador, comuníquese con MAGNETRON S.A.S.

### 13.4 Pruebas al líquido aislante

Las pruebas al líquido aislante se deben realizar cuando el transformador:

- Se ha almacenado por un periodo superior a un (1) año.
- Cuando el almacenamiento se ha realizado a la intemperie.
- Cuando los resultados de la resistencia de los aislamientos no cumplen con los criterios.
- Cuando se presentan dudas por posible presencia de agua (humedad).

Las pruebas al líquido aislante se realizan para determinar las condiciones del mismo, SOLO con resultados satisfactorios, el transformador puede ser energizado.

Las pruebas mínimas requeridas son:

#### 13.4.1 Rigidez dieléctrica

Esta prueba mide la capacidad del líquido aislante de soportar tensión sin presentar falla.

El voltaje de ruptura dieléctrico sirve para indicar la presencia de agentes contaminantes como agua, suciedad o partículas conductoras en el líquido, uno o más de los cuales pueden estar presentes en concentraciones significativas cuando se obtienen voltajes de ruptura bajos.

#### 13.4.2 Contenido de agua

Este método de prueba cubre la medición del agua presente en líquidos aislantes mediante titulación coulométrica de Karl Fischer.

Las características eléctricas de un líquido aislante pueden verse afectadas negativamente por un contenido excesivo de agua. Un alto contenido de agua puede hacer que un líquido aislante no sea adecuado para algunas aplicaciones eléctricas debido al deterioro de propiedades tales como el voltaje de ruptura dieléctrica.

#### 13.4.3 Color

Este método de prueba cubre la determinación visual del color de una amplia variedad de productos derivados del petróleo, como aceites lubricantes, aceites de calefacción, aceites combustibles diésel y ceras de petróleo.

Utilizando una fuente de luz estándar, se coloca una muestra líquida en el recipiente de prueba y se contrasta contra discos de vidrio de colores que varían en valor de 0,5 a 8,0. Cuando no se

encuentra una coincidencia exacta y el color de la muestra se encuentra entre dos colores estándar, se informa el mayor de los dos colores.

#### 13.4.4 Aspecto (visual)

El líquido aislante debe tener un aspecto ópticamente transparente para permitir la inspección visual dentro del tanque del equipo.

Cuando el líquido aislante presenta un cambio en su aspecto, es un indicativo de oxidación, deterioro o contaminación, producto de la corrosión del metal u otros materiales indeseables.

#### 13.4.5 Análisis de gases disueltos (AGD)

El propósito de este análisis es conocer exactamente las diferentes sustancias que componen los gases disueltos en el líquido aislante del transformador.

De acuerdo a la naturaleza de los gases disueltos, se puede determinar la causa de la anomalía y tomar las medidas correctivas antes de que se ocasione una falla.

Cuando el transformador se somete a esfuerzos térmicos y eléctricos anormales, debido a la degradación del líquido aislante y de los papeles aislantes, se generan ciertos gases combustibles. El tipo y las concentraciones de gases

generados son importantes, por cuanto el proceso de envejecimiento normal produce cantidades extremadamente pequeñas de gases, mientras que condiciones incipientes o fallas declaradas generan grandes cantidades.

La detección de una condición anormal requiere de una evaluación de la concentración del gas generado y de la tendencia de generación. La cantidad de cada gas, con respecto al volumen total de la muestra, indica el tipo de falla que está en proceso.

Existen dos maneras de representar los resultados de gases disueltos: A partir de las concentraciones individuales y por las relaciones entre gases.

Los gases típicos generados por algunas fallas incipientes en transformadores de fuerza son:

- Hidrógeno, Oxígeno, Nitrógeno, Metano, Monóxido de carbono, Etano, Dióxido de carbono, Etileno y Acetileno.

Los mecanismos de falla más comunes son:

- Arcos eléctricos en el líquido aislante y en el aislamiento sólido; Corona, Descargas eléctricas de baja energía en el aislamiento sólido y sobrecalentamiento general o puntos calientes.

### 13.4.6 Otras pruebas

A continuación, se listan otras pruebas que se pueden realizar al líquido aislante:

- Tensión interfacial
- Gravedad específica
- Número de neutralización
- Contenido de PCB's
- Viscosidad
- Azufre corrosivo

Estas pruebas se deben realizar cuando se presenta alguna de las siguientes situaciones:

- Cuando los resultados de las pruebas mínimas requeridas presentan resultados muy ajustados a los mínimos o máximos permitidos.
- Por solicitud de MAGNETRON S.A.S.
- Por solicitud del cliente.
- Por solicitud de un ente externo.

### 13.4.7 Cantidad de muestra requerida

Para realizar las pruebas al líquido aislante, se requieren:

Prueba	Cantidad
Contenido de Agua Rigidez Dieléctrica Color y aspecto Tensión interfacial Gravedad específica Número de neutralización Viscosidad	1000 ml
Factor de Potencia al Aceite a 25°C	1000 ml
Azufre Corrosivo	100 ml
Análisis de gases disueltos	50 ml
Análisis cuantitativo de PCB's	500 ml

### 13.4.8 Valores de referencia

- Aceite mineral

Método y prueba	Valor de referencia
Rigidez dieléctrica ASTM D1816	≥ 35 kV
Contenido de agua ASTM D1533	≤ 35 ppm
Color ASTM D1500	≤ 0,5
Aspecto ASTM D1524	Claro y brillante

- Aceite vegetal

Método y prueba	Valor de referencia
Rigidez dieléctrica ASTM D1816  1 mm gap 2 mm gap	≥ 20 kV ≥ 35 kV
Contenido de agua ASTM D1533	≤ 200 ppm
Color ASTM D1500	≤ 1,0
Aspecto ASTM D1524	Limpio y claro

Nota: Cualquier desviación de las pruebas y revisiones relacionadas en este numeral, deberá ser notificada a MAGNETRON S.A.S. con el objeto de recibir instrucciones de cómo proceder y no colocar en riesgo el transformador, la omisión de este paso, ocasionará la pérdida de la garantía.

## 14. Instalación y puesta en servicio

**Precaución:** Para Colombia, la instalación del transformador se debe hacer de acuerdo a los requerimientos de las normas técnicas NTC-2050, NTC-3582 y al reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE).

Para los demás países, se deben seguir las normas o leyes que les aplique.

La instalación del transformador no es responsabilidad de MAGNETRON S.A.S. (salvo se especifique lo contrario en el contrato), sin embargo, como parte interesada en que el producto cumpla su función en las mejores condiciones, se deben seguir las siguientes consideraciones:

### 14.1 Montaje

La instalación del transformador debe realizarse en un sitio de fácil acceso, donde se garantice el montaje y retiro mediante grúa o montacargas, con capacidad de izar y transportar el transformador.

El transformador debe quedar instalado en un lugar con área suficiente que permita el fácil acceso para realizar trabajos de revisión, limpieza, mantenimiento, etc.

Si la instalación del transformador se hace en lugares cerrados (interiores), se debe garantizar

una buena ventilación para evitar calentamientos anormales.

Si el transformador está equipado con ventiladores, se debe garantizar que funcionan en la dirección correcta,

### 14.2 Sistema de puesta a tierra

- El punto neutro de BT o MT, el tanque, los DPS y la pantalla electrostática deben quedar sólidamente conectados a tierra.

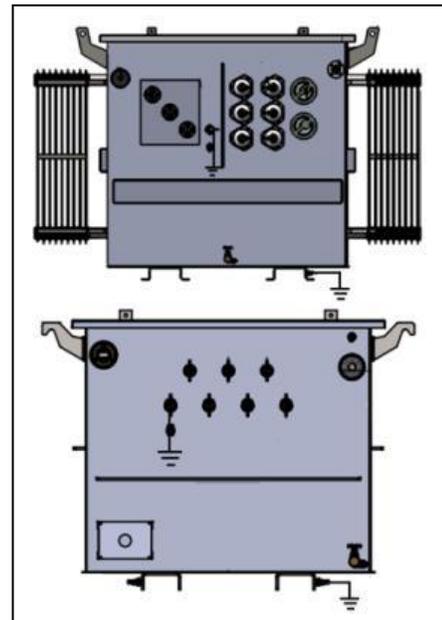


Figura 64: Puesta a tierra partes del transformador

**Nota:** También se deben conectar a tierra los gabinetes y los accesorios de control y protección que lo requieran.

- Los objetivos de un sistema de puesta a tierra son:
  - Garantizar la seguridad a los seres vivos.

- La protección de las instalaciones.
  - La compatibilidad electromagnética.
  - Permitir a los equipos de protección despejar rápidamente las fallas.
  - Servir de referencia común al sistema eléctrico.
- Valores de referencia para el sistema de puesta a tierra.

Aplicación	Valores máximos de resistencia de puesta a tierra ( $\Omega$ )
Estructuras y torrecillas metálicas de líneas o redes con cable de guarda	20
Subestaciones de alta y extra alta tensión	1
Subestaciones de media tensión	10
Protección contra rayos	10
Punto neutro de acometida en baja tensión	25
Redes para equipos electrónicos o sensibles	10

### 14.3 Secuencia de conexión

**Precaución:** Las conexiones no pueden quedar tensionadas. Las de media tensión, deben tener una forma y rigidez mecánica que no les permita moverse con el viento o las vibraciones, de tal forma que se pongan en contacto con partes que no se deben energizar o acercamientos que produzcan arcos eléctricos.

### 14.4 Puesta en servicio

**Precaución:** Para energizar el producto, se debe garantizar que las pruebas y revisiones enunciadas en el numeral 12 de este manual dieron resultados conformes; de lo contrario, no se puede realizar la energización y deberá contactarse con el personal de MAGNETRON S.A.S. para recibir instrucciones.

También, recuerde utilizar las herramientas y las protecciones adecuadas, como: Pértiga, guantes dieléctricos, botas de goma,

- Una vez instalado el transformador, déjelo en reposo mínimo 8 horas para transformadores con aceite mineral y mínimo 12 horas

para transformadores con aceite vegetal.

- Energice el transformador en vacío (sin carga), manténgalo así unas 12 horas.
- Asegúrese que el transformador no produce ruidos anormales (zumbidos, chisporroteos, flameo, etc.).
- Verifique el voltaje de salida y compruebe que está balanceado y dentro de lo requerido.
- Instale gradualmente la carga y siga revisando el voltaje de salida.
- Una vez instalada toda la carga, revise por varias horas el funcionamiento del transformador.
- Lleve un registro escrito de las condiciones finales de instalación.
- Limpie y ordene el área de trabajo.

#### 14.4.1 Energización transformadores con aceite vegetal a temperaturas por debajo de -20°C

**Precaución:** Por ningún motivo accione los componentes móviles (seccionador, conmutador, magnex, breaker, etc.) antes o poco después de su

La norma C57.12.00-1993 considera que las temperaturas iniciales por debajo de -20 °C son un servicio inusual.

La energización de los transformadores inmersos en aceite vegetal a temperaturas por debajo de -20°C, puede seguir la misma secuencia de los transformadores inmersos en aceite mineral, siempre y cuando se cumpla con los siguientes criterios:

- Almacene los transformadores de manera que no se requiera ningún movimiento mecánico para energizar el transformador (es decir: El seccionador en posición CERRADO o CLOSE, el conmutador anclado en la posición de trabajo, etc.), adoptando este enfoque, no se debe requerir ningún movimiento mecánico para energizar el transformador.
- No accione los componentes móviles (seccionador, conmutador, magnex, breaker, etc.) antes o poco después de su energización; en condiciones extremas de temperatura, el líquido aislante se torna más viscoso (comienza a espesarse y, con el tiempo, puede gelificarse), dificultando la maniobra

mecánica de los componentes y extinguir los arcos eléctricos más lentamente.

- Energice el transformador en vacío (sin carga), manténgalo así mínimo 18 horas.

**Nota:** Monitoree la temperatura del líquido aislante, hasta que esté por encima de la temperatura ambiente.

- Conecte gradualmente la carga.
- Una vez instalada toda la carga, observe el funcionamiento del transformador por un tiempo.
- Para cambiar algún componente dañado internamente (un fusible BAY-O-NET, por ejemplo), cuando la temperatura ambiente está por debajo de  $-30^{\circ}\text{C}$ , se debe calentar el transformador para hacer más líquido el aceite vegetal.
- En transformadores con sistema de ventilación forzada (ventiladores), durante el arranque en frío, el líquido aislante de los radiadores se calentará más lento que el líquido aislante del tanque principal. Por esta razón,

los ventiladores no deben encenderse inmediatamente, se deben encenderse cuando se requiere enfriamiento adicional.

Para mayor información, puede consultar las siguientes normas:

- C57.12.93,
- C.57.106
- C.57.12.00.

O, las guías de Cargill, proveedor de aceite vegetal (FR3):

- G2200S “Guía de reparación de transformadores”.
- G2300S “Guía de almacenamiento, instalación, puesta en servicio y mantenimiento de transformadores inmersos en fluido FR3”.
- R2120 “Cold Start Recommendations for Envirotemp FR3”.

#### 14.4.2 Energización transformadores con aceite mineral a temperaturas por debajo de $-20^{\circ}\text{C}$

La norma C57.12.00 considera que las temperaturas iniciales por debajo de  $-20^{\circ}\text{C}$  son un servicio inusual.

Para temperaturas de arranque por debajo de  $-20^{\circ}\text{C}$ , energice

el transformador y manténgalo sin carga mínimo 12 horas.

Los líquidos dieléctricos pueden exhibir una caída en la rigidez dieléctrica a temperaturas más bajas si se precipita la humedad. Si, a cualquier temperatura, la densidad del líquido aislante es mayor que la densidad del agua, podría existir hielo libre o agua libre en el sistema y causar discontinuidad dieléctrica y posible falla.

Se debe energizar cualquier transformador extremadamente frío sin carga y luego aumentar la carga gradualmente.

Temporalmente, las temperaturas localizadas pueden superar los valores normales.

Estas condiciones transitorias son fácilmente toleradas por un transformador diseñado adecuadamente.

A temperaturas ambiente muy bajas, pasará algún tiempo antes de que los radiadores externos sean efectivos, pero a estas bajas temperaturas, no debería ser necesaria la refrigeración adicional.

## 15. Transformadores con dos o más meses en almacenamiento

Si el transformador ha estado almacenado por un periodo igual o superior a dos meses, sin ser energizado o desde su última energización, se debe seguir el siguiente procedimiento:

- Realice las pruebas descritas en esta guía, desde el numeral 13.1 hasta el numeral 13.4.6.
- Si y solo si los resultados son satisfactorios, prosiga de la siguiente manera:
  - ✓ Energice el transformador sin carga, durante 12 horas como mínimo para transformadores en aceite mineral y 18 horas como mínimo para transformadores en aceite vegetal.
  - ✓ Una vez cumplido el tiempo mínimo de energización sin carga, conecte gradualmente la carga, de acuerdo a la siguiente tabla:
- Una vez instalada toda la carga, revise periódicamente el funcionamiento del transformador.
- Lleve un registro escrito de las condiciones finales de instalación.
- Limpie y ordene el área de trabajo.

Nota: Si el (os) inconveniente (s) persiste (n), no intervenga el transformador y comuníquese con MAGNETRON S.A.S.

Conexión de la carga una vez cumplido el tiempo de energización (Horas)	% Carga
3	25
6	50
9	75
12	100

Si durante la ejecución de las pruebas descritas en esta guía, desde el numeral 13.1 hasta el numeral 13.4.6, se le presenta algún inconveniente, tenga en cuenta las recomendaciones de la tabla:

Inconveniente presentado	No da relación de transformación	No da resistencia de los devanados en MT	Resistencia de los aislamientos muy bajos	Corto en la resistencia de los aislamientos	Líquido aislante no cumple con los criterios
¿Qué revisar?					
Revisar estado del equipo de medición y los cables	X	X			
Revisar correcto enclavamiento del conmutador	X	X			
Revisar seccionador, cerrado adecuadamente	X	X			
Revisar conexión del TTR al transformador, de acuerdo al grupo de conexión,	X				
Revisar equipo de medición, que este en el rango correcto		X			
Limpieza de los terminales de MT y BT			X		
Temperatura de la prueba			X		
Corrección resultados por temperatura			X		
Revisar que el punto neutro este desconectado de tierra				X	
Si tiene pantalla electrostática, que no esté conectada a tierra.				X	
Revisar proceso de toma de muestras					X
Tomar una segunda muestra para validar resultados					X
Tomar muestra cuando se ha cumplido el tiempo de energización sin carga					X

## 16. Mantenimiento

**Precaución:** Si no se realiza y evidencia la ejecución del mantenimiento preventivo, ocasionará la pérdida de la garantía.

**Precaución:** Durante el periodo de garantía reporte todas las fallas o eventualidades a MAGNETRON S.A.S., por ningún motivo intervenga el transformador.

Para intervenir el transformador, desconecte las fuentes de tensión de MT y BT con el fin de dejarlo fuera de servicio.

Desconecte los terminales de MT, cortocircuitelos y conéctelos al sistema de puesta a tierra.

Desconecte los terminales de BT, cortocircuitelos y conéctelos al sistema de puesta a tierra.

Delimite y señalice la zona de trabajo.

El transformador es una máquina eléctrica diseñada y fabricada para funcionar 20 años o más en condiciones normales de uso.

El dueño del transformador es el responsable de inspeccionarlo, mantenerlo y conservarlo en buen estado.

El mantenimiento periódico y la inspección permanente, contribuirán

con la segura y confiable operación del transformador.

Para ayudarlo con este propósito, se deben seguir las siguientes instrucciones:

### 16.1 Mantenimiento preventivo

Las siguientes inspecciones pueden detectar problemas de operación potenciales antes de que sean críticos, se deben realizar una vez al año como mínimo:

- Inspección externa,
- Inspección general,
- Pruebas al líquido aislante,
- Pruebas eléctricas de rutina,
- Pruebas a los dispositivos de protección.

#### 16.1.1 Inspección externa

Revise y registre las condiciones externas del transformador.

La inspección deberá incluir los siguientes puntos:

- Fugas de líquido aislante.
- Condiciones del sistema de puesta a tierra.
- Estado de la pintura, verificando posibles puntos de oxidación.
- Inspección interna del tablero de control (si lo tiene).
- Verificación de las conexiones eléctricas externas.
- Verificación de la operación del cambiador de derivaciones.
- Estado de los accesorios de control o protección.
- Estado y limpieza del tanque.

- Estado y limpieza de los aisladores de MT y BT.
- Estado y limpieza de los pararrayos (DPS).
- Estado y limpieza de los empaques.
- Estado y limpieza de la válvula de sobrepresión.
- Estado de las cajas de conexiones, verificando que no presenten señales de oxidación, presencia de agua o terminales sueltos o desajustados.

Las eventualidades que se puedan presentar, deberán ser corregidas.

#### 16.1.2 Inspección general

La inspección incluye la verificación de la temperatura del líquido aislante y los devanados, el nivel del líquido aislante y la presión interna.

Es importante registrar las mediciones, estas sirven como referencia para las inspecciones futuras y ayudan a identificar fallas o anomalías potenciales.

#### 16.1.3 Pruebas al líquido aislante

Realizar pruebas al líquido aislante cada año, las pruebas que deben ser realizadas son:

- Rigidez Dieléctrica (ASTM 1816, ASTM D877).
- Factor de Potencia (ASTM D924).
- Gravedad Específica (ASTM D1298).
- Color

- (ASTM D1500)
- Tensión interfacial (ASTM D971).
- Número de Neutralización (ASTM D974).
- Contenido de Agua (ASTM D1533).
- Análisis de Gases Disueltos (ASTM D3612).

#### 16.1.4 Pruebas eléctricas de rutina

Las pruebas eléctricas se deben realizar con el transformador desenergizado. Se deben realizar cada año, cuando se tenga dudas con el buen funcionamiento o se presente algún evento externo.

Las pruebas a realizar son:

- Relación de transformación.
- Resistencia de los devanados.
- Resistencia de los aislamientos.

#### 16.1.5 Pruebas a los dispositivos de control o protección

Se debe revisar el buen funcionamiento de estos dispositivos cada año.

### 16.2 Mantenimiento correctivo

- Para intervenciones por fuera del periodo de garantía, contáctese con MAGNETRON S.A.S. o utilice un taller especializado en transformadores.



## 17. Reparación

- El dueño del transformador es el responsable de inspeccionarlo, mantenerlo y conservarlo en buenas condiciones.
- Durante el periodo de garantía reporte todas las fallas o eventualidades a MAGNETRON S.A.S., por ningún motivo intervenga el transformador.
- Todas las reparaciones bajo garantía debe hacerlas MAGNETRON S.A.S. o un taller de servicio autorizado.
- Para reparaciones por fuera del periodo de garantía, contáctese con MAGNETRON S.A.S. o utilice un taller especializado en transformadores

## 18. Problemas y posibles soluciones

Recuerde cumplir a cabalidad los numerales de “**Revisión antes de la instalación**”, “**Pruebas antes de la instalación**” e “**Instalación y puesta en servicio**” (numerales 12, 13 y 14).

Los ajustes de los accesorios se deben hacer con un torquímetro y aplicando el torque recomendado en el numeral 19 “Torque de ajuste”.

Los ajustes de accesorios se hacen solo externamente, para los ajustes internos, contáctese con MAGNETRON S.A.S. o con un taller autorizado.

Inconveniente presentado	Expulsa las cañuelas	Funde los fusibles	Diferencia de voltaje entre fases de BT	No da salida de voltaje en BT	Mancha de líquido aislante en la VSP	Mancha de líquido aislante en accesorios
¿Qué revisar?						
Conexión del transformador a la línea de MT	X			X		
Estado pararrayos	X					
Características del pararrayos	X					
Energizar sin carga	X	X				
Revisar estado de los fusibles		X				
Revisar que los fusibles sean los correctos (amperaje)		X				
Correcto aterrizaje del transformador (tanque)		X	X			
Correcto aterrizaje del Pn			X			
Revisar ajustes de las conexión del cableado			X	X		
Limpia y monitorear si persiste					X	X
Revisar torque de ajuste (externamente)					X	X
Revisar voltaje de entrada				X		
Revisar voltaje de entrada		X				
Correcto anclaje del conmutador				X		
Realizar pruebas al transformador	X			X		

Inconveniente presentado	No da relación de transformación	No da resistencia de los devanados en MT	Resistencia de los aislamientos muy bajos	Corto en la resistencia de los aislamientos	Líquido aislante no cumple con los criterios
¿Qué revisar?					
Revisar estado del equipo de medición y los cables	X	X			
Revisar correcto enclavamiento del conmutador	X	X			
Revisar seccionador, cerrado adecuadamente	X	X			
Revisar conexión del TTR al transformador, de acuerdo al grupo de conexión,	X				
Revisar equipo de medición, que este en el rango correcto		X			
Limpieza de los terminales de MT y BT			X		
Temperatura de la prueba			X		
Corrección resultados por temperatura			X		
Revisar que el punto neutro este desconectado de tierra				X	
Si tiene pantalla electrostática, que no esté conectada a tierra.				X	
Revisar proceso de toma de muestras					X
Tomar una segunda muestra para validar resultados					X
Tomar muestra cuando se ha cumplido el tiempo de energización sin carga					X

## 19. Torques de ajuste

**Precaución:** Los torques listados corresponden a la tornillería descrita en cada accesorio, consulte a MAGNETRON S.A.S. cada vez que se requiera realizar algún ajuste.

No todos los accesorios que hacen parte de los transformadores están listados.

Los diferentes ajustes que se hacen en los accesorios externos del transformador, se deben hacer siguiendo las recomendaciones de los proveedores en cuanto a torques y secuencia de ajuste. A continuación, se listan los más relevantes:

### 19.1 Tornillería en general

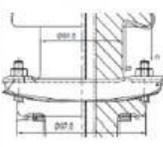
Torque (lbf * ft)						
Diámetro	Hierro			Acero inoxidable		
	Grado 2	Grado 5	Grado 8	Diámetro	A304	A316
1/4	5,5	8	12	1/4	6	7
5/16	11	17	25	5/16	11	12
3/8	20	31	44	3/8	20	21
7/16	32	49	70	7/16	31	33
1/2	49	75	107	1/2	43	45
9/16	70	109	154	9/16	56	59
5/8	97	150	212	5/8	92	96
3/4	173	266	376	3/4	127	131
7/8	166	429	606	7/8	194	202
1	250	644	909	1	286	299
1-1/8	354	794	1287	1-1/8	413	432
1-1/4	500	1120	1875	1-1/4	523	546
1-3/8	655	1469	2382	1-1/2	888	930
1-1/2	870	1950	3161			

**Nota:** Los torques de ajuste de la tabla, corresponden solo a la tornillería, cuando se utiliza para sujetar accesorios (porcelana, polímeros, etc.) el torque de ajuste lo define el material).

### 19.2 Ajuste tornillería Tapa-Tanque

Tornillería		
Torque (lbf * ft)		
Diámetro	80%	100%
5/16"	14	18
7/16"	32	40

### 19.3 Terminales de MT y BT

Producto	Lb-pie	Imagen
Tuerca araña Alta Tension	70	
Tuerca araña Baja Tension	29	
Tuerca aluminio Baja Tension	35	
Ajuste de esparrago a conector de alta tension	18	
Ajuste de ancla (ojo) 7mm a 11.9mm	13	
Ajuste de ancla (ojo) 12mm-16mm	15	
Ajuste de ancla (ojo) 19mm-32mm	19	
Ajuste de pernos para bridas de sujecion externa	12	

### 19.4 Conmutador de derivaciones

Accesorio	lbf . ft	Imagen
Tuerca conmutador circular	8 a 9	
Tuerca conmutador lineal	11	 

DETALLE	DESCRIPCIÓN	TORQUE (lb-ft)
A	Ajuste rosca INOX 3/16"	4,6



## 19.5 Válvulas de sobrepresión

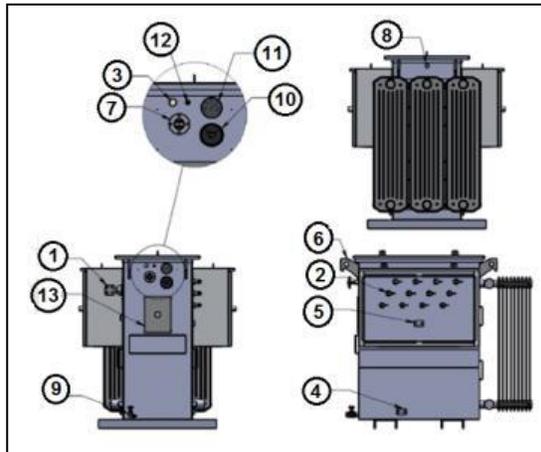
Válvula de sobrepresión	Torque de ajuste (lbf.ft)	Imagen
<b>1/4"</b>	<b>20 a 25</b>	
<b>1/2"</b>	<b>54</b>	
<b>3/4"</b>	<b>83</b>	
<b>1-1/4"</b>	<b>121</b>	

## 19.6 Termómetro de aceite de dos (2) contactos

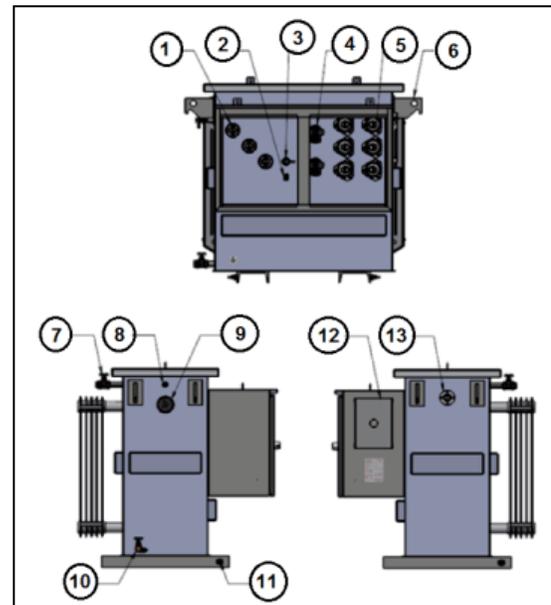
## 20. Partes del transformador

## 20.2 SUT

### 20.1 Autotransformador



Ítem	Descripción
1	Terminal conexión primaria
2	Terminal conexión secundaria
3	Válvula de sobrepresión
4	Puesta a tierra del tanque
5	Aterrizaje Pn
6	Dispositivos de izaje transformador
7	Nivel de líquido aislante
8	Válvula o niple de llenado
9	Válvula de drenaje
10	Termómetro de líquido aislante
11	Manovacúometro
12	Llenado de nitrógeno
13	Placa de características



Ítem	Descripción
1	Terminal conexión primaria
2	Aterrizaje pantalla electrostática
3	Aislador pantalla electrostática
4	Conmutador
5	Terminal conexión secundaria
6	Dispositivos de izaje transformador
7	Válvula o niple de llenado
8	Válvula de sobrepresión
9	Termómetro de líquido aislante
10	Válvula de drenaje
11	Aterrizaje tanque
12	Placa de características
13	Nivel de líquido aislante

## 21. Medio ambiente

MAGNETRON S.A.S. es una empresa comprometida con el medio ambiente, por tal motivo, nuestros transformadores cumplen con todos los requisitos relacionados con el tema.

MAGNETRON S.A.S. ha identificado los riesgos potenciales que pueden producir efectos medioambientales perjudiciales para el medio ambiente.

A sí mismo, MAGNETRON S.A.S. aporta a sus clientes una serie de consejos medioambientales, con el fin de prevenir y minimizar la contaminación a lo largo del ciclo de vida del transformador.

Los consejos medioambientales están consignados en el plan de manejo ambiental, constituido por 5 programas de gestión ambiental.

Si quiere conocer más sobre los programas ambientales, contáctese con MAGNETRON S.A.S.

El receptor final del transformador debe atender la legislación vigente y que le aplique.

En caso de presentarse fugas del líquido aislante, debe recogerse en un recipiente, evite que caiga sobre el suelo.

- Si se ha derramado líquido aislante sobre el suelo, límpielo con un material absorbente (ejemplo: aserrín).

- El líquido aislante que se ha recogido y los medios empleados en la limpieza deben tratarse como residuos tóxicos y peligrosos.
- No se deben mezclar los residuos.

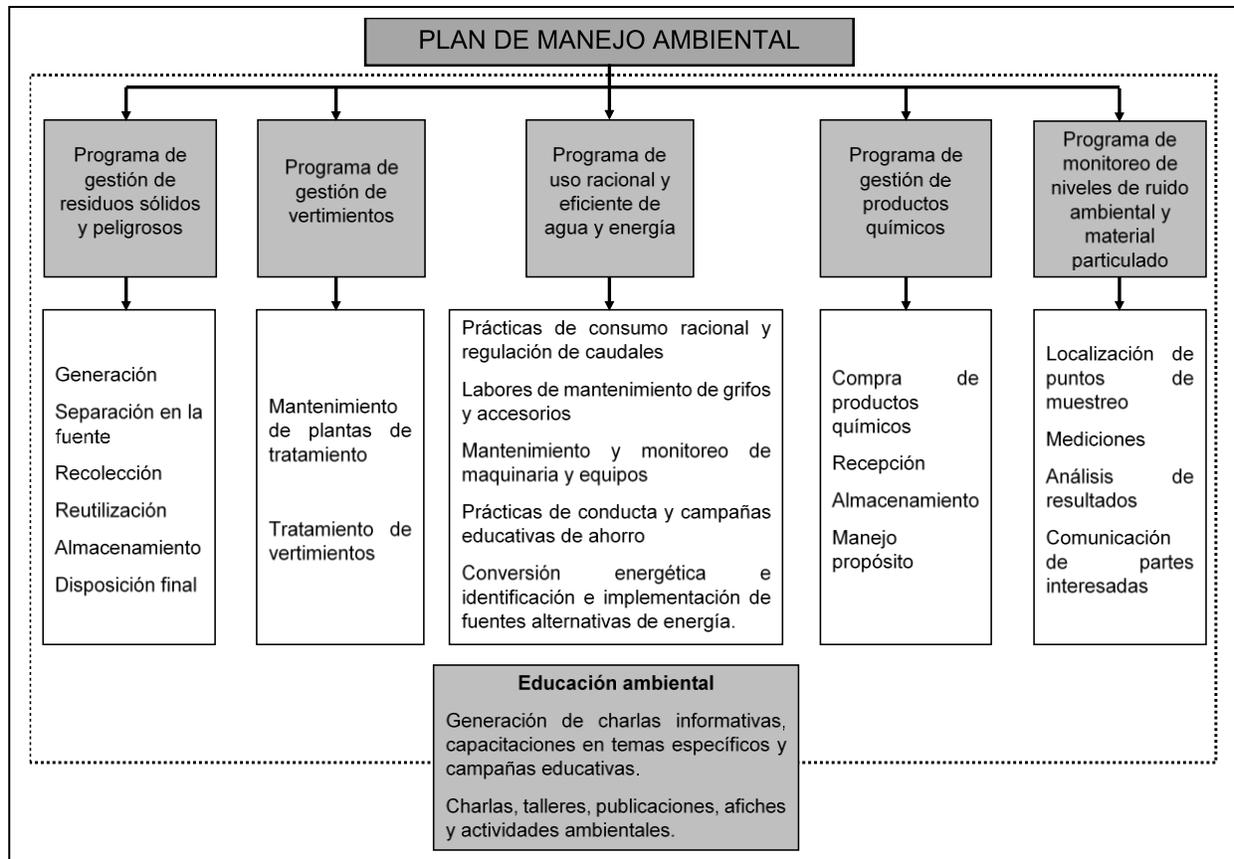
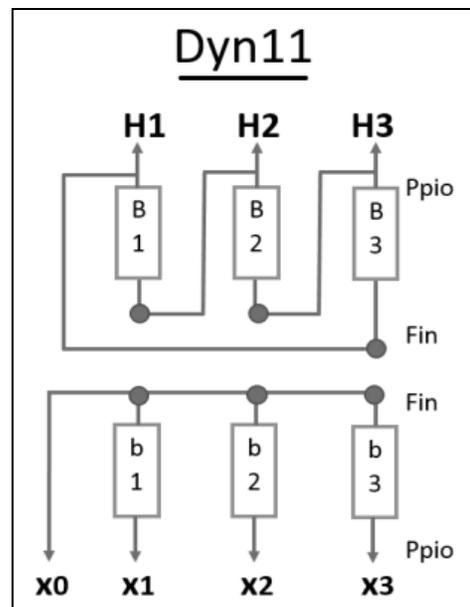
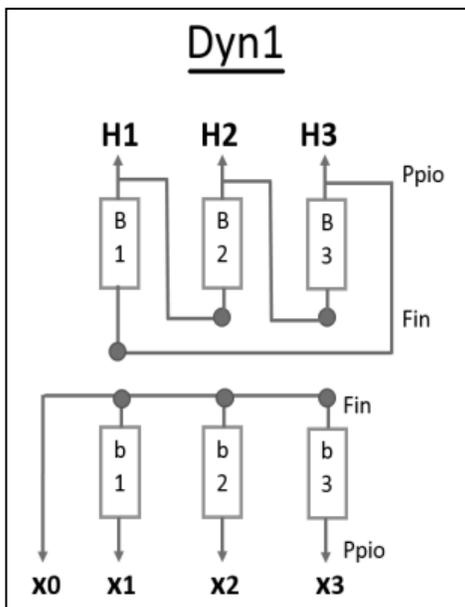
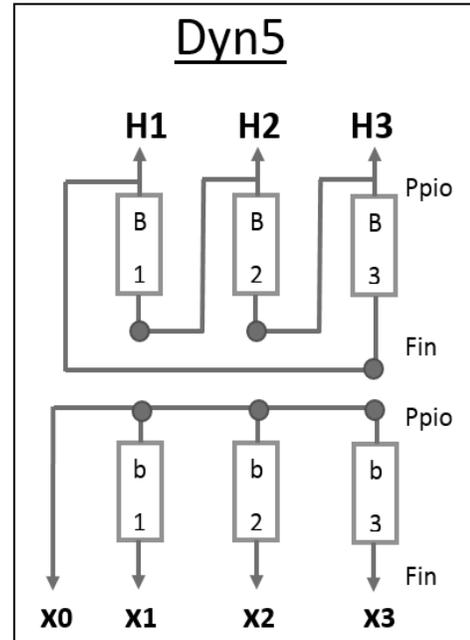
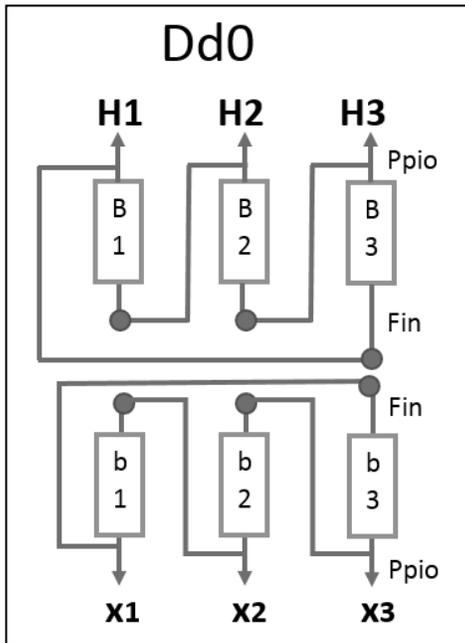


Figura 65: Plan de manejo ambiental MAGNETRON S.A.S.

## **22. Términos y condiciones de garantía**

Remítase al certificado de garantía que se entrega con cada producto; al respaldo de la misma, se encuentran las instrucciones que se deben seguir para hacer efectiva la garantía y las condiciones que la invalidan.

## 23. Anexo A “Conexión bobinas con marcaciones ANSI”



## 24. Contáctenos

Para mayor información o para brindarle soporte técnico, contáctenos a través de los siguientes medios:

	<a href="mailto:servicioexterno.magnetron.com.co">servicioexterno.magnetron.com.co</a>
	<a href="mailto:servicioalcliente.magnetron.com.co">servicioalcliente.magnetron.com.co</a>
	(57) 3187117456 (57) 3157100 extensión 101



TRANSFORMAMOS  
**LA ENERGÍA**  
EN DESARROLLO  
**SOSTENIBLE**

**GENERANDO  
RIQUEZA CON  
SENTIDO SOCIAL**