

Especificación de Transformadores: Soluciones flexibles y en cumplimiento con normatividad



Salomé Alfredo Garza Rdz.



Impulsando soluciones confiables

Agenda

- Normas aplicables
- Características básicas
 - Capacidad
 - Frecuencia de operación
 - Voltaje y conexión
 - Elevación de temperatura
 - Tipo de enfriamiento
- Desempeño
 - Materiales de los devanados
 - Pérdidas y eficiencia
- Selección de accesorios
 - Accesorios Estándar
 - Accesorios de control
 - Accesorios de control especiales
 - Accesorios de protección
- Aplicaciones especiales
 - Transformador para motor, generador y zona sísmica
 - Transformador con elevación de temperatura de 75°C
 - Protección contra arco eléctrico
 - Aplicación solar boquillas laterales
 - Aplicación solar con múltiples devanados

Normas aplicables

Normas relevantes para Transformadores en México

NMX-J-116-ANCE

TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN
TIPO POSTE Y SUBESTACIÓN

NMX-J-284-ANCE

TRANSFORMADORES Y
AUTOTRANSFORMADORES DE POTENCIA

NMX-J-285-ANCE

TRANSFORMADORES TIPO PEDESTAL
MONOFÁSICOS Y TRIFÁSICOS PARA
DISTRIBUCIÓN SUBTERRÁNEA

NORMA	NORMA MEXICANA ANCE	NMX-J-116-ANCE-2017
ANCE	TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN TIPO POSTE Y TIPO SUBESTACIÓN - ESPECIFICACIONES	
OVERHEAD TYPE AND SUBSTATION TYPE DISTRIBUTION TRANSFORMERS - SPECIFICATIONS		
La presente norma fue emitida por la Asociación de Normalización y Certificación, A.C. "ANCE" y aprobada por el Comité de Normalización de la ANCE, "CONANCE", y por el Presidente del Consejo Directivo de la ANCE.		
La entrada en vigor de esta norma será 180 días después de la publicación de su declaratoria de vigencia en el Diario Oficial de la Federación		
Esta norma es de aplicación nacional.		

NORMA	NORMA MEXICANA ANCE	NMX-J-284-ANCE-2012
ANCE	TRANSFORMADORES Y AUTOTRANSFORMADORES DE POTENCIA - ESPECIFICACIONES	
POWER TRANSFORMERS AND AUTOTRANSFORMERS - SPECIFICATIONS		
La presente norma fue emitida por la Asociación de Normalización y Certificación, A.C. "ANCE" y aprobada por el Comité de Normalización de la ANCE, "CONANCE", y por el Presidente del Consejo Directivo de la ANCE.		
La entrada en vigor de esta norma será 90 días naturales después de la publicación de su declaratoria de vigencia en el Diario Oficial de la Federación.		
Esta norma es de aplicación nacional.		

NORMA	NORMA MEXICANA ANCE	NMX-J-285-ANCE-2017
ANCE	TRANSFORMADORES TIPO PEDESTAL, MONOFÁSICOS Y TRIFÁSICOS PARA DISTRIBUCIÓN SUBTERRÁNEA - ESPECIFICACIONES	
SINGLE PHASE AND THREE PHASE PAD-MOUNTED TRANSFORMERS FOR UNDERGROUND DISTRIBUTION SYSTEMS - SPECIFICATIONS		
La presente norma fue emitida por la Asociación de Normalización y Certificación, A.C. "ANCE" y aprobada por el Comité de Normalización de la ANCE, "CONANCE", y por el Presidente del Consejo Directivo de la ANCE.		
La entrada en vigor de esta norma será 90 días después de la publicación de su declaratoria de vigencia en el Diario Oficial de la Federación		
Esta norma es de aplicación nacional.		

CONANCE	Publicación de la Declaratoria de Vigencia en el Diario Oficial de la Federación: 4 de abril de 2017	Cancela a la: NMX-J-285-ANCE-2015
SNIEC-001/2017/130162285		

El estándar dicta las características particulares requeridas

Impulsando soluciones confiables

Normas aplicables

Normas relevantes para Transformadores en Norteamérica y otros países

IEEE Std
C57.12.00™

IEEE Standard for General Requirements
for Liquid-Immersed Distribution, Power,
and Regulating Transformers

IEC 60076-1

Power Transformers- Part 1: General

IEEE STANDARDS ASSOCIATION IEEE

IEEE Standard for General
Requirements for Liquid-Immersed
Distribution, Power, and Regulating
Transformers

IEEE Power and Energy Society

Sponsored by the
Transformers Committee



IEC 60076-1

Edition 3.0 2011-04

INTERNATIONAL
STANDARD

NORME
INTERNATIONALE

IEEE
3 Park Avenue
New York, NY 10016-5997
USA

Power transformers –
Part 1: General
Transformateurs de puissance –
Partie 1: Généralités

El estándar dicta las características particulares requeridas

Impulsando soluciones confiables

Normas aplicables

Dependiendo de la aplicación, fases de la fuente, tipo de carga, etc. Existen opciones de transformadores monofásicos y trifásicos y una norma que especifica los parámetros a cumplir.

Transformadores
monofásicos



Tipo Poste

Tipo Pedestal

Transformadores
trifásicos



Tipo Pedestal



Tipo Industrial

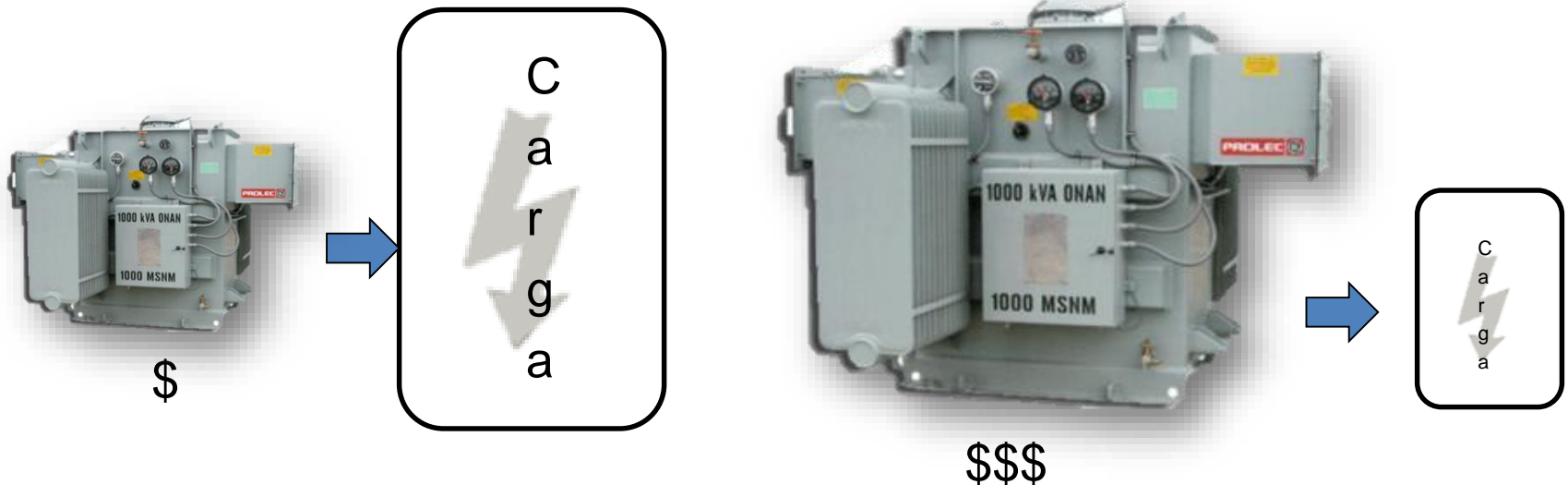


Tipo Potencia

Características Básicas

Capacidad en KVA

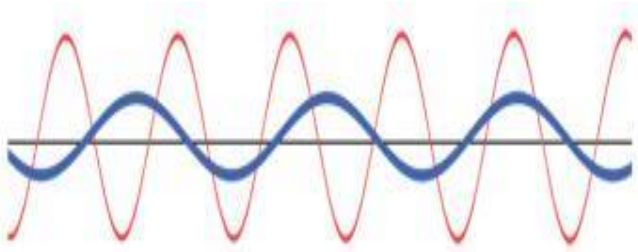
- Es importante calcular la carga a usar antes de determinar la capacidad del transformador
- Si la carga excede la capacidad del transformador, se acortará su vida útil.
- Si la carga es muy inferior a la capacidad del transformador, el costo de adquisición será mayor al óptimo



Características Básicas

Frecuencia de operación

- Frecuencias típicas: 50 Hz o 60 Hz
- No es posible usar un transformador diseñado a 60 Hz en un sistema con 50 Hz, porque su núcleo se saturaría
- Un transformador diseñado a 50 Hz sí se puede usar en un sistema para 60 Hz, pero su costo sería mayor al óptimo

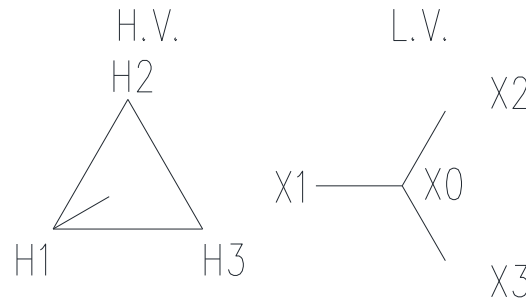


$$V = 4.44 f N B A$$

Características Básicas

Voltaje y conexión

- El voltaje es definido por la red donde se va a conectar (y el tipo de carga que se va a conectar (equipo comercial-208Y/120V o industrial-480Y/277V). Los voltajes son los que definen la relación de transformación
- En aparatos trifásicos la conexión puede ser Delta o Estrella. Esto es importante cuando se van a colocar en paralelo varios transformadores.



- Conocer el voltaje de operación de línea a línea y en su caso de línea a tierra esto ayuda a garantizar el correcto funcionamiento de los equipos eléctricos que vamos a conectar al transformador ya que una voltaje menor proporcionara una corriente mayor y si es un voltaje mayor tendremos una corriente menor, por lo tanto un daño en los equipos eléctricos
- Conocer el voltaje de la línea y su caída de tensión nos ayuda a diseñar el transformador con la tensión adecuada y con un cambiador de derivaciones adecuado para garantizar el voltaje de salida y así no dañar los equipos conectados en baja tensión

Características Básicas

Voltaje y conexión

- De acuerdo al nivel de voltaje solicitado es asignado una clase de aislamiento al cual se le definen los valores de las pruebas dieléctricas que deben soportar:
 - Impulso
 - Aplicado
 - Inducido

Nivel de aislamiento	Prueba de tensión aplicada (baja frecuencia 60 Hz)	Nivel de tensión de aguante al impulso (NBAI) onda plena	Onda cortada	
kV	kV	kV cresta	kV cresta	Tiempo mínimo de arco (μs)
1,2	10	30	36	1,0
2,5	15	45	54	1,5
5,0	19	60	69	1,5
8,7	26	75	88	1,6
15,0	34	95	110	1,8
18,0	40	125	145	2,25
25,0	50	150	175	3,0
34,5	70	200	230	3,0

Características Básicas

Impedancia

- Los valores de impedancia comunes son los siguientes (NMX-J-116-ANCE):

Nivel de aislamiento kV	Impedancia %		
	Monofásicos de 10 kVA hasta 167 kVA	Trifásicos	
		Transformador tipo poste 15 kVA a 150 kVA	Transformador tipo subestación 225 kVA a 500 kVA
1,2 a 15	1,50 a 3,00	2,00 a 3,00	2,00 a 5,00
25	1,50 a 3,25	2,00 a 3,25*)	2,75 a 5,50
34,5	1,50 a 3,50	2,00 a 3,50	3,00 a 5,75

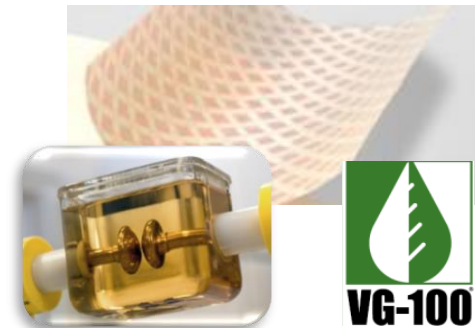
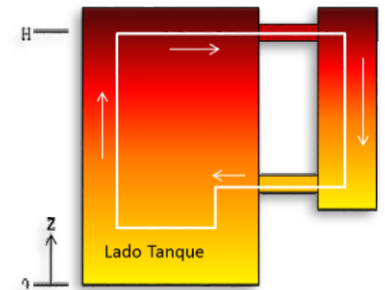
- Impedancias no estándar pueden ser solicitadas pero es probable que el diseño tenga un costo mayor.
- Altas impedancias ayudan a reducir las corrientes de falla
- Bajas impedancias ayudan a reducir caídas de voltaje en circuitos de alta corriente

Características Básicas

Elevación de temperatura + temperatura ambiente

- Es importante saber tanto la temperatura ambiente (promedio y máxima) además de la temperatura de sobre elevación debido a que la temperatura que soportan los aislamientos del transformador es 120°C

Concepto	Ejemplo 1	Ejemplo 2	Ejemplo 3
Elevación de temperatura	55°C	65°C	75°C
Temperatura ambiente promedio	40°C	30°C	30°C
Temperatura ambiente máxima	50°C	40°C	40°C
Temperatura del punto mas caliente	70°C	80°C	90°C
Temperatura de los aislamientos	110°C	110°C	120°C
Temperatura máxima de los aislamientos	120°C	120°C	130°C



Temperatura de los aislamientos
= Temperatura del punto mas caliente
+ Temperatura ambiente promedio

Temperatura máxima de los aislamientos
= Temperatura del punto mas caliente
+ Temperatura ambiente máxima

Características Básicas

Tipo de enfriamiento

- ONAN auto enfriado
- ONAN/ONAF auto enfriado con ventiladores este tipo de enfriamiento proporciona sobrecapacidad sin afectar la vida de los aislamientos
 - +15% hasta 2499 kVA
 - +25% de 2500 a 10,000 kVA
 - +33 % > 10,000 kVA
- ONAN/ONAF/ONAF auto enfriado con doble paso de ventiladores este tipo de enfriamiento proporciona sobrecapacidad sin perder la vida de los aislamientos
 - ++25% de 2500 a 10,000 kVA
 - ++33 % > 10,000 kVA



Auto-enfriado



Ventilación forzada

Impulsando soluciones confiables

Tipos de enfriamiento

O-K

N-F-D

A-W

N-F

Desempeño

Material de los devanados

- Puede ser de aluminio o cobre.

Aluminio

- Ventajas
 - Menor costo
 - Menor peso
 - Eficiencia igual a la de cobre
 - Mismo aguante al corto circuito
 - Mismo tiempo de vida útil
- Desventajas
 - Mayor volumen (área de instalación)

resistividad eléctrica:

Aluminio: $2.75 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$

Cobre: $1.72 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$



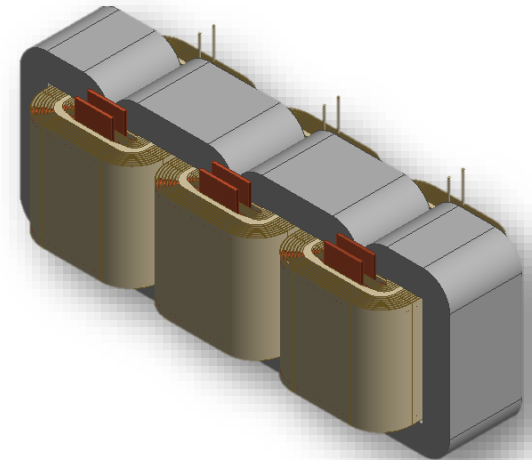
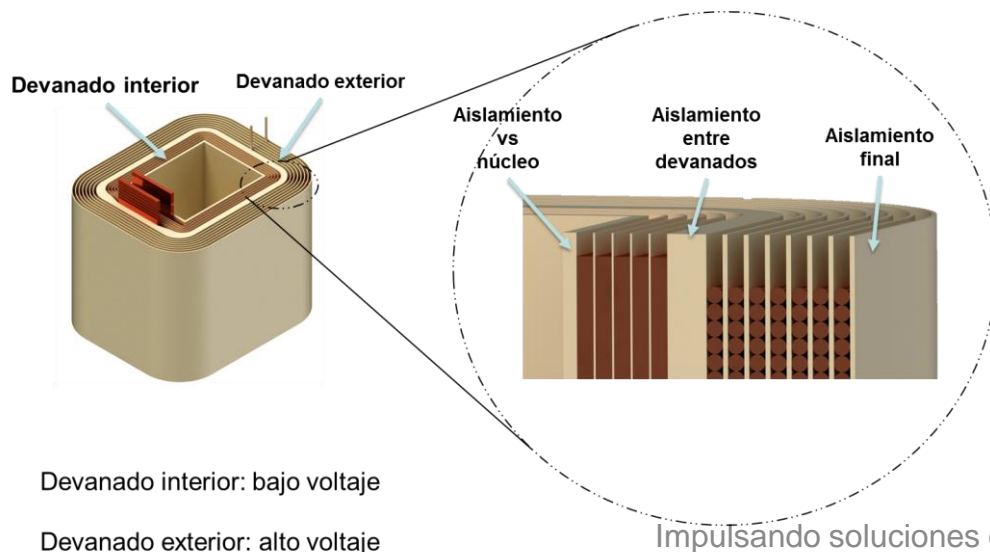
Desempeño

Pérdidas sin carga (NLL) & con carga (LL)

- Se debe informar al fabricante del transformador si las pérdidas son máximas por norma, garantizadas máximas o evaluadas para poder entregar el diseño más óptimo de acuerdo a sus necesidades.

Eficiencia

- Se debe informar al fabricante del transformador si se requiere una eficiencia particular, o si es mínima por norma, para poder optimizar la mejor opción económica



NOM-002-SEDE/ENER-2014

Eficiencias minimas permitidas a un factor del 80% para los transformadores de distribucion (%)				
Tipo de alimentacion	Capacidad en kVA	Nivel basico de aislamiento		
		Clase 15kV	Clase 25kV	Clase 34.5kV
Monofasico	10	98.61	98.49	98.28
	15	98.75	98.63	98.43
	25	98.9	98.79	98.63
	37.5	98.99	98.9	98.75
	50	99.08	98.99	98.86
	75	99.21	99.12	99
	100	99.26	99.16	99.06
	167	99.3	99.21	99.13
Trifasico	15	98.32	98.18	98.03
	30	98.62	98.5	98.35
	45	98.72	98.6	98.48
	75	98.86	98.75	98.64
	112.5	98.95	98.85	98.76
	150	99.03	98.94	98.86
	225	99.06	98.96	98.87
	300	99.11	99.02	98.92
	500	99.2	99.11	99.03

NOM-002 Eficiencia al 80% de la capacidad

DOE - Eficiencia al 50% de la capacidad

Selección de accesorios

Accesorios Estándar:

- Boquillas

Boquillas AT frente vivo



Boquillas frente muerto



Boquillas BT tipo clema



Boquillas BT tipo perno



Boquillas BT tipo espada

- Cambiadores



150 A

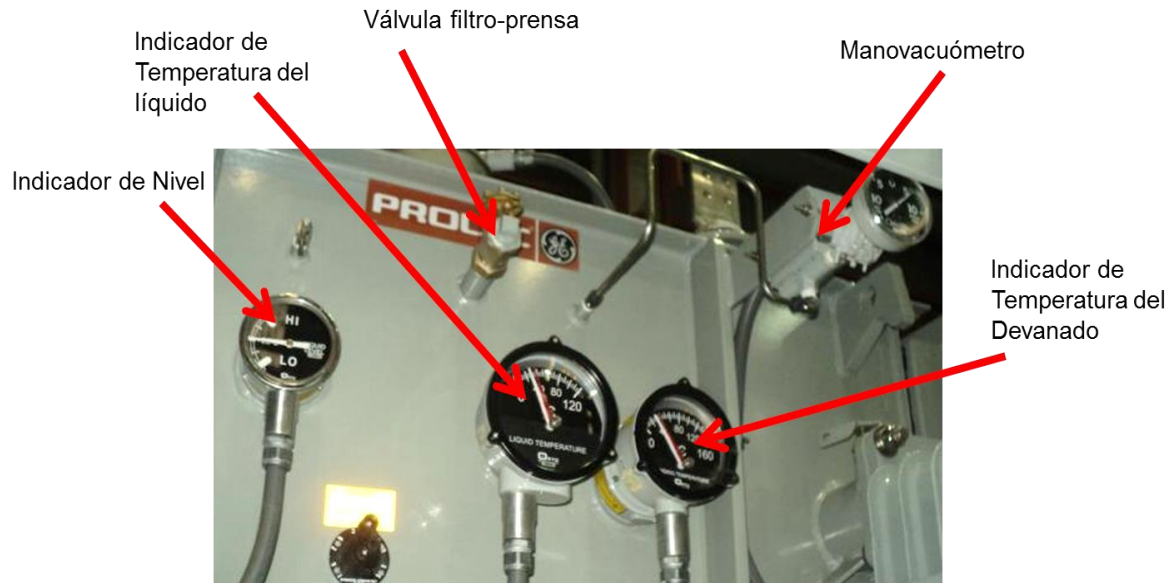


1500 A

Selección de accesorios

Accesorios de Control opción Estándar:

- Indicador de Nivel con 1 o 2 contactos
- Indicador de Temperatura del líquido 2 o 3 contactos
- Indicador de Temperatura del devanado 2 o 3 contactos
- Relevador mecánico de sobrepresión (RMS) con 1 contacto (puede llevar 2, operando ambos a la misma presión).
- Manovacuómetro con 2 contactos (uno de vacío y uno de presión)
- Relevador de presión súbita (RPS) con 1 contacto de alarma
- Opción de RPS con Seal in

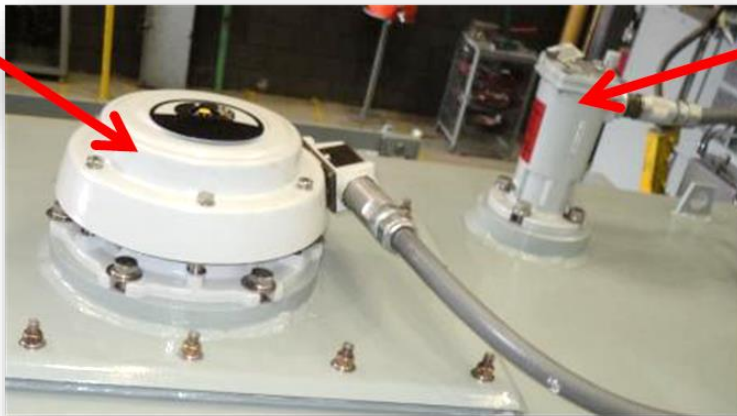


Impulsando soluciones confiables

Selección de accesorios

Accesorios de Control opción Estándar:

Relevador
mecánico de
sobrepresión



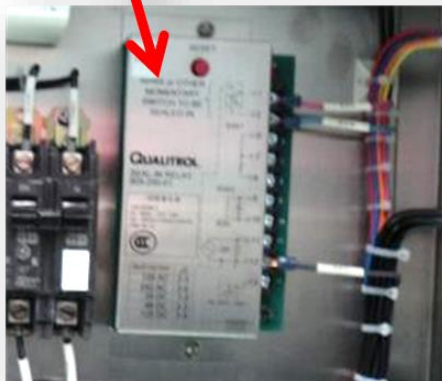
Relevador de
presión súbita



Transformador para Hazardous Locations
(clase 1 división 2 grupos C & D



Seal In



Caja tipo NEMA 7

Selección de accesorios

Caja de conexiones

- Si se seleccionaron accesorios con contactos de alarma estos deben de ir conectados a una caja de control esta puede ser (Clasificación NEMA)
- 3R Caja a prueba de goteo
- 4 Caja a prueba de chorro
- 4X Caja a prueba de chorro de material o pintura resistente a la corrosión
- 7 Caja a prueba de explosión

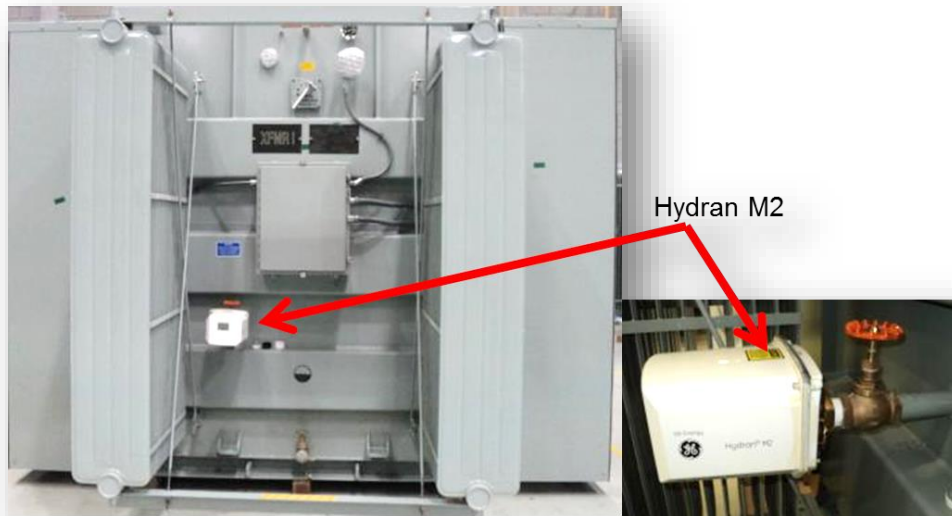
Equipo de nitrógeno

- Este dispositivo se utiliza cuando se requiere tener una presión positiva en el tanque para evitar la entrada de humedad al transformador

Selección de accesorios

Accesorios de Control Especiales:

- Indicador de Nivel con 1 o 2 contactos y salida tipo SCADA
- Indicador de Temperatura del líquido con 2 o 3 contactos y salida tipo SCADA
- Indicador de Temperatura del devanado con 2 o 3 contactos y salida tipo SCADA
- Detector de Gases disueltos en el aceite marca GE modelo HYDRAN M2
- Monitor de temperatura, marca Qualitrol serie 509

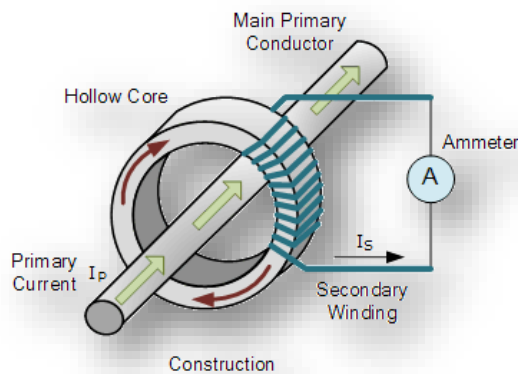


Selección de accesorios

Accesorios de Protección:

- RMS y RPS
- Transformadores de corriente
- Apartarrayos
- Resistencias de puesta a tierra (Neutral grounding resistors, “NGR”)
- Seccionador
- Fusibles

RMS y RPS se consideran tanto accesorios de control como de protección, ya que cuentan con alarmas y también tienen una liberación física de la presión interna del transformador, cumpliendo con las descripciones de ambos tipos de Accesorios. La excepción sería cuando el RMS no tenga contactos de alarma, por lo que no se le podría considerar accesorio de control, solo de protección.



TC's



Apartarrayos de polímero

Impulsando soluciones confiables



Apartarrayos de porcelana

Selección de accesorios

Accesorios de Protección:

Resistencias de puesta a tierra (NGR)

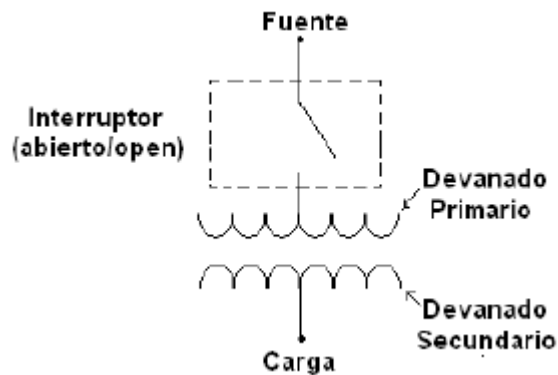
- Cuando hay una falla en un sistema con conexión estrella, cierta parte de la corriente generada por la falla circula a través del Neutro (X_0 , H_0). La magnitud de esta corriente pudiera ser tal que dañe el transformador.
- La función del NGR es “frenar” esta corriente por un tiempo determinado, pensando en que la falla termine o bien se active alguna protección que desconecte el transformador.
- Son configurables, al punto de tener su propia Spec y cotizarse uno diferente para cada caso.



Selección de accesorios

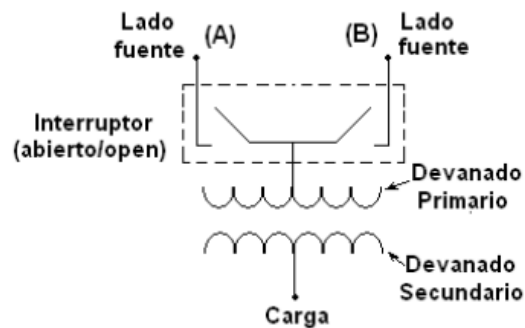
Accesorios de Protección:

Seccionador Radial

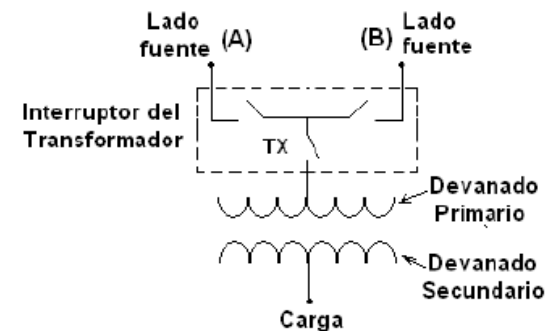


Seccionador en anillo

Arreglo con 2 seccionadores



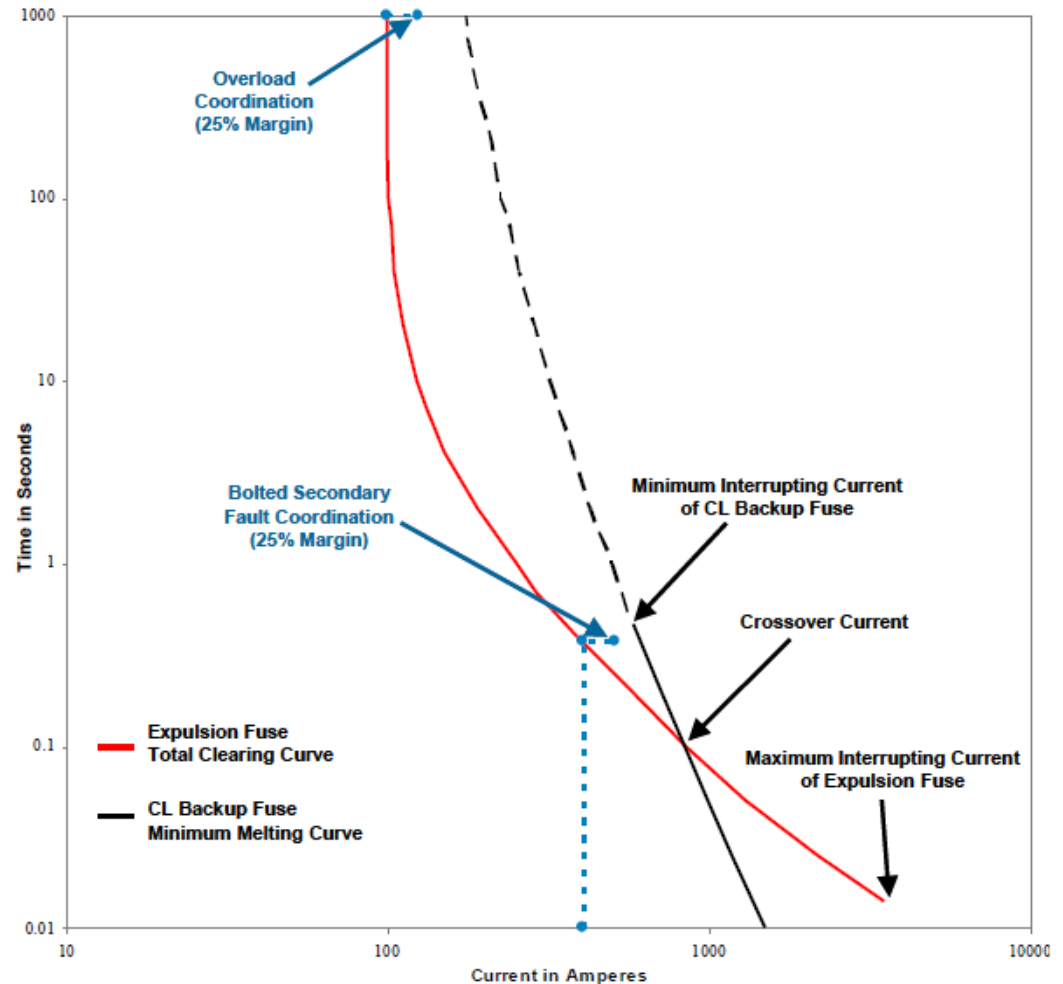
Arreglo con 3 seccionadores



Selección de accesorios

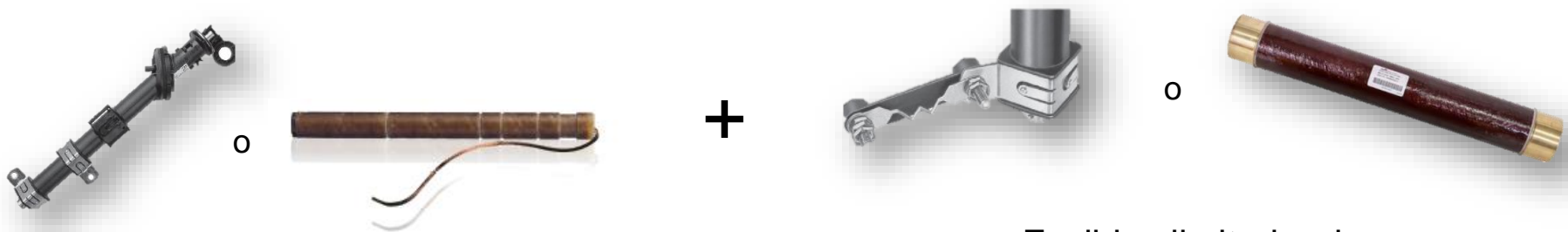
Accesorios de Protección:

- Fusibles de expulsión
- Fusibles de aislamiento
- Fusibles limitadores de corriente de rango parcial
- Fusibles limitadores de corriente de rango completo



Selección de accesorios

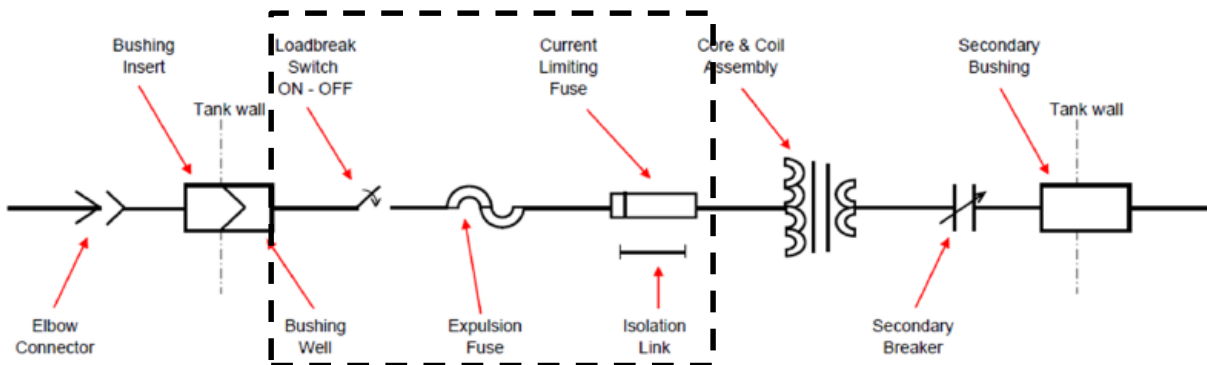
Accesorios de Protección:



Fusibles de expulsión

Fusibles limitador de corriente de rango parcial

CONNECTING DIAGRAM FOR A PADMOUNTED TRANSFORMER IN A RADIAL CIRCUIT

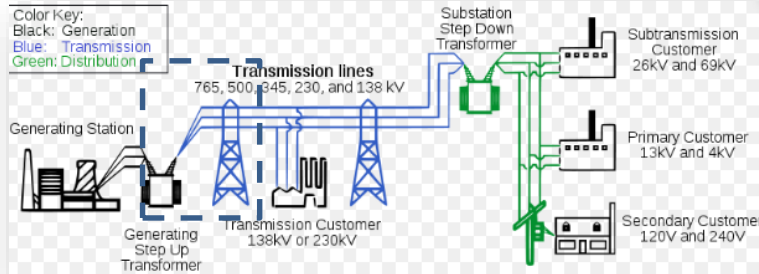


Fusibles limitador de rango completo

Aplicaciones especiales

Transformadores para motores y generadores

- Cuando la carga principal del transformador son motores, se debe seleccionar adecuadamente la capacidad del mismo, en base al factor de potencia, la curva de arranque del motor.
- Un transformador elevador debe ser diseñado para soportar las variaciones de frecuencia y voltaje de la fuente generadora.



Transformador para Zona Sísmica

- Conocer el lugar de instalación nos permite reforzar el tanque, base, sujeción parte viva y radiadores evitando una fractura en el tanque que el transformador salga de operación y que existan fugas que pueden dañar el medio ambiente



Impulsando soluciones confiables

Aplicaciones especiales

Transformador con elevación de temperatura de 75°C

Características

- Al combinar un papel térmicamente mejorado (TUK) a base de celulosa con un aceite vegetal (VG-100) la clase térmica del sistema de aislamientos se incrementa de 120°C a 130°C.
- Con una clase térmica mas alta, el transformador puede alcanzar mayores temperaturas.
 - Reducción de área de enfriamiento en tanque y/o en parte viva
 - Reducción de peso de un 4% y en footprint 5% aproximadamente
- Capacidad de soportar una sobrecarga del 12% si se tiene un transformador diseñado con elevación de temperatura de 65°C.



Impulsando soluciones confiables

Aplicaciones especiales

Protección contra arco eléctrico (renovables – eólico y solar)



Para minimizar el riesgo de una descarga eléctrica se busca minimizar la frecuencia de apertura del gabinete.

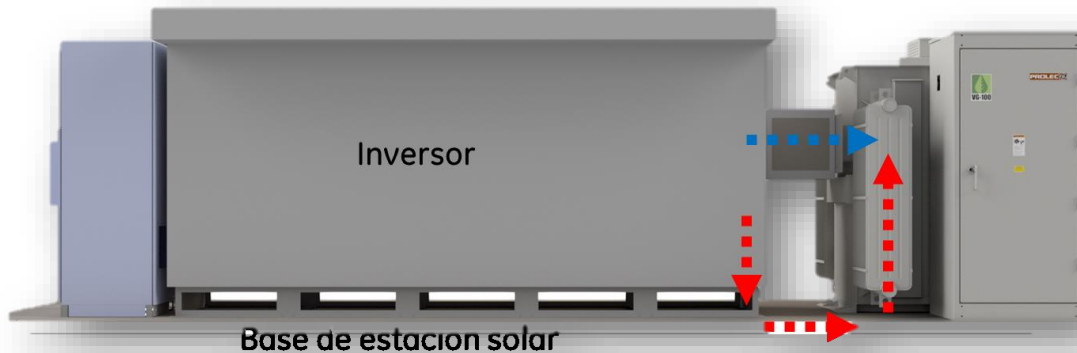
- Se colocan seccionadores, válvulas de muestreo, indicadores de nivel, presión y temperatura en compartimentos separados
- Uso de mirillas infrarrojas para uso de cámaras termografías

Se logra monitorear y muestrear el transformador sin necesidad de desenergizar y acceder al gabinete principal.

Aplicaciones especiales

Aplicación Solar con ubicación de boquillas laterales

Se realiza una adecuación en el acomodo de las boquillas del primario (Baja Tensión), para la interconexión con el inversor con el objetivo de reducir la longitud de los cables o flexibles y así reducir la cantidad de pérdidas por efecto joule



Corrientes mayores a 4000A

Perdidas en los conductores = $I^2 R$

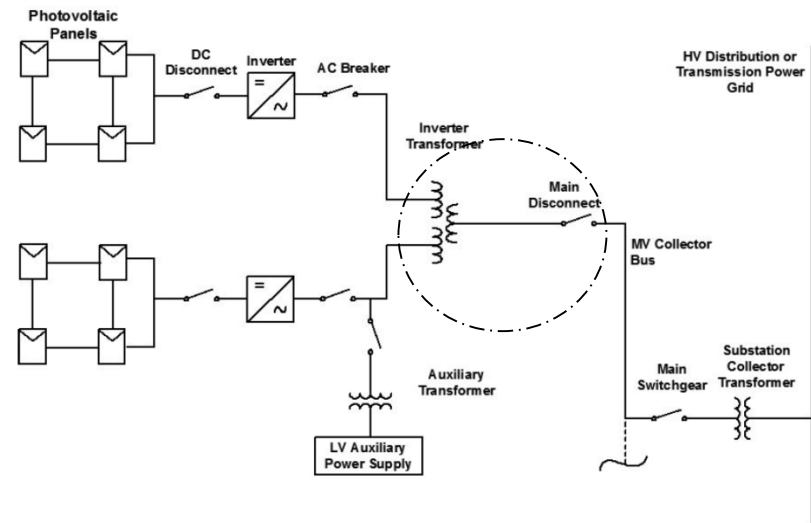
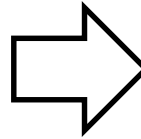
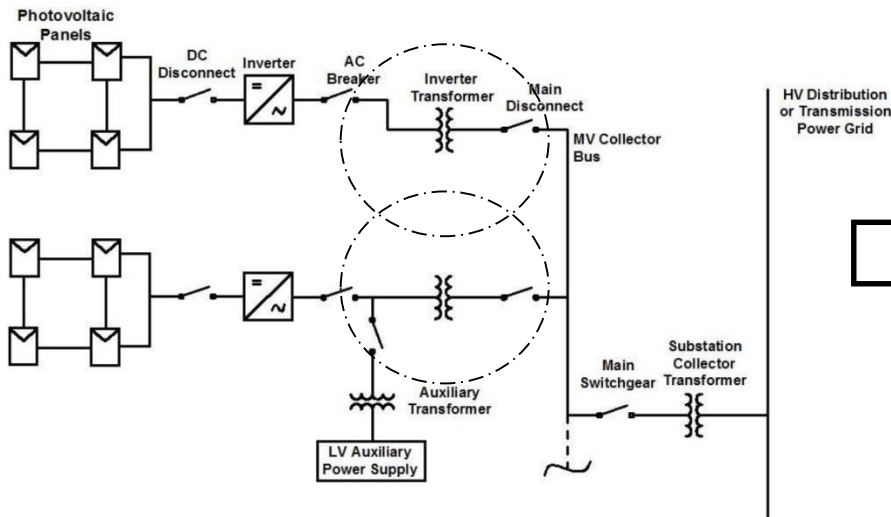
Conexión entre el inversor
y un transformador
pedestal convencional



Aplicaciones especiales

Aplicación Solar con múltiples devanados

Con el fin de optimizar espacio en la estación solar se desarrolló una solución donde se tiene 1 transformador con 2 devanados primarios (Baja Tensión), en vez de tener 2 transformadores



Ventajas:

- Menor espacio
- Reducción en infraestructura, eliminación de interruptores y protecciones
- Costo de instalación menor (entre 10 y 20%)

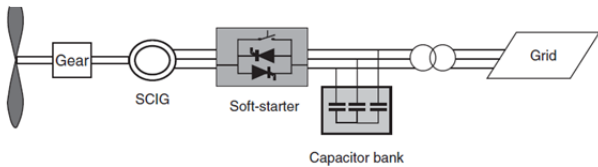
Desventajas:

- Reducción en eficiencia
- Factible hasta 11.5 MVA

Aplicaciones especiales

Aplicación eólica con múltiples devanados

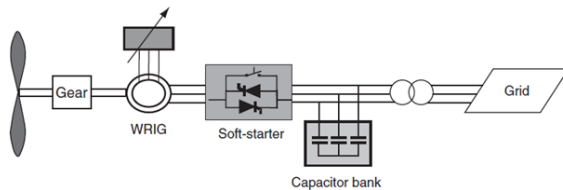
Velocidad constante



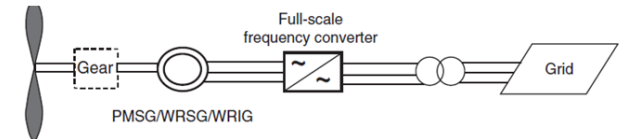
Velocidad variable con convertidor de frecuencia de rango parcial



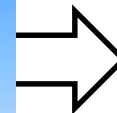
Velocidad variable limitada



Velocidad variable con convertidor de frecuencia de rango completo



≈700 kW



≈4000 kW

Conclusiones

Cada norma establece los requisitos que se deben de cumplir para asegurar un funcionamiento adecuado para cada aplicación y lugar de instalación

Lo establecido en las normas es para tener un transformador estándar, sin embargo, hay aplicaciones especiales donde el diseño puede variar para tener beneficios en espacio y económicos.

Con la información a detalle se pueden ofrecer soluciones de diseño de transformadores para optimizar la instalación final

Muchas Gracias

M.C. Salomé Alfredo Garza R.

Salome.garzarodriguez@ge.com



Impulsando soluciones confiables



Impulsando soluciones
confiables