

T
621.314
E77

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

"APLICACION Y SELECCION DE LOS TRANSFORMADORES
TIPO SECO"



D-8614

TESIS DE GRADO

PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD

ESPECIALIZACION : POTENCIA

PRESENTADA POR:

VICTOR MANUEL ESPINOZA SAN LUCAS

GUAYAQUIL - ECUADOR

1988

AGRADECIMIENTO

Al Ing. GUSTAVO BERMUDEZ FLORES,
Director de Tesis, por su ayuda
y guía durante el desarrollo de
esta Tesis.

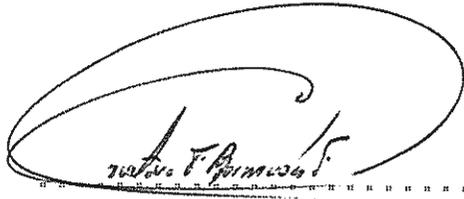
DEDICATORIA

Esta Tesis esta dedicada a mis
padres y hermanos por su ayuda y
apoyo en mis estudios a lo largo
de toda mi carrera estudiantil.



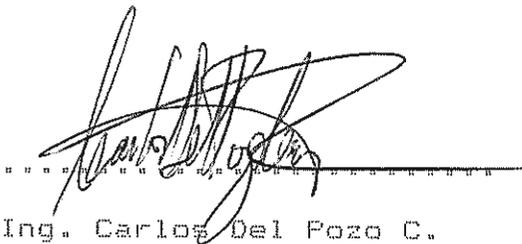
Ing. Carlos Villafuerte P.

SUBDECANO DE LA FACULTAD
DE INGENIERIA ELECTRICA



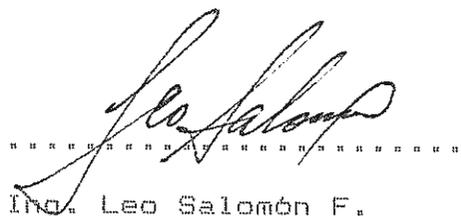
Ing. Gustavo Bermudez F.

DIRECTOR DE TESIS



Ing. Carlos Del Pozo C.

MIEMBRO PRINCIPAL
DEL TRIBUNAL



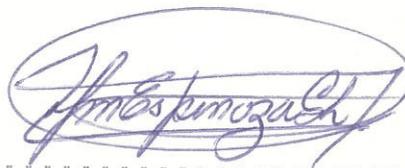
Ing. Leo Salomón F.

MIEMBRO PRINCIPAL
DEL TRIBUNAL

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL).



.....
VICTOR M. ESPINOZA SAN LUCAS

RESUMEN

La presente tesis comienza con ejemplos en donde se aplica el transformador tipo seco, mostrando situaciones especiales en las cuales se usa este tipo de transformador, estos ejemplos son de mucha ayuda para poder explicar mejor las características de este transformador, una vez comprendido los ejemplos de aplicación se puede con más criterio compararlos con otros tipos de transformadores. La comparación se establece desde puntos de vistas técnicos, estas comparaciones son de gran utilidad porque sirven para entender mejor las cualidades y usos del transformador tipo seco.

Una vez que se tiene la idea de para que y porque se usa este transformador, se entra de lleno a tratar las características de construcción y funcionamiento de este transformador, como son su tipo de aislamiento, el montaje de su núcleo y bobinas, las pérdidas que se presentan, su vida útil, entre otras.

Con todos los criterios expuestos anteriormente se puede explicar con mayor claridad como seleccionar los transformadores tipo seco, tomando en cuenta aspectos técnicos y económicos, se indica como instalar, operar y dar mantenimiento a este tipo de transformador.

INDICE GENERAL

	PAG.
RESUMEN.....	6
INDICE GENERAL.....	7
INDICE DE FIGURAS.....	10
INDICE DE TABLAS.....	13
INTRODUCCION.....	15
CAPITULO # 1	
APLICACION DEL TRANSFORMADOR TIPO SECO Y COMPARACION CON OTROS TIPOS DE TRANSFORMADORES.....	17
1.1.- Aplicación de los transformadores tipo seco.....	17
1.2.- Análisis comparativo entre el transformador tipo seco y otros tipos de transformadores...	35
1.2.1.- Análisis comparativo de la clase de aislamiento.....	44
1.2.2.- Análisis comparativo del material utilizado en los devanados.....	49
1.2.3.- Análisis comparativo del nivel de ruido.....	54
CAPITULO # 2	
CARACTERISTICA DE CONSTRUCCION DE LOS TRANSFORMADORES TIPO SECO.....	59

2.1.-	Técnicas de construcción de los transformadores tipo seco.....	59
2.1.1.-	Construcción del núcleo.....	60
2.1.2.-	Construcción de las bobinas.....	62
2.2.-	Características del aislamiento usado en los transformadores tipos seco.....	64
2.2.1.-	Característica de la resina colada..	65
2.2.2.-	Relación entre la temperatura y el aislamiento.....	67
2.3.-	Características de los equipos de protección del transformador tipo seco.....	71
2.4.-	Métodos de construcción para reducir el nivel de ruido.....	77

CAPITULO # 3

	CARACTERISTICA DE FUNCIONAMIENTO DE LOS TRANSFORMADORES TIPO SECO.....	80
3.1.-	Carga y sobrecarga de los transformadores tipo seco.....	80
3.2.-	Regulación de voltaje mediante el uso de transformadores tipo seco.....	97
3.3.-	Pérdidas que se producen en los transformadores tipo seco.....	99
3.4.-	Vida útil de los transformadores tipo seco...	104

CAPITULO # 4

SELECCION, INSTALACION, OPERACION Y MANTENIMIENTO DE LOS TRANSFORMADORES TIPO SECO.....	109
4.1.- Selección de los transformadores tipo seco.....	109
4.1.1.- Análisis técnico de la selección....	110
4.1.2.- Análisis económico de la selección..	118
4.2.- Instalación de los transformadores tipo seco.....	129
4.3.- Operación de los transformadores tipo seco.....	135
4.4.- Mantenimiento de los transformadores tipo seco.....	140
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	149
BIBLIOGRAFIA.....	152

INDICE DE FIGURAS

No.		PAG.
1.1	INSTALACION DE TRANSFORMADORES TIPO SECO EN AEREOPUERTO.....	19
1.2	INSTALACION DE TRANSFORMADORES TIPO SECO EN PLANTA DE FUNDICION DE ALUMINIO.....	20
1.3	INSTALACION DE TRANSFORMADORES TIPO SECO EN PLANTA DE LAMINACION EN FRIO.....	22
1.4	INSTALACION DE TRANSFORMADORES TIPO SECO EN MINAS SUBTERRANEAS.....	24
1.5	INSTALACION DE TRANSFORMADORES TIPO SECO EN BARCO PERFORADOR.....	25
1.6	INSTALACION DE TRANSFORMADORES TIPO SECO EN FOZO DE EXTRACCION DE CARBON DE PIEDRA.....	27
1.7	INSTALACION DE TRANSFORMADORES TIPO SECO EN TUNEL DE CARRETERA.....	29
1.8	INSTALACION DE TRANSFORMADORES TIPO SECO EN FABRICA DE ELECTRODOMESTICOS.....	31
1.9	INSTALACION DE TRANSFORMADORES TIPO SECO EN PLATAFORMA DE EXPLOTACION PETROLERA.....	33
1.10	INSTALACION DE TRANSFORMADORES TIPO SECO EN HOSPITAL.....	35
1.11	DEVANADOS DE ALAMBRE REDONDO.....	53

1.12	DEVANADOS DE CINTAS.....	53
2.1	CIRCULACION DE AIRE EN LAS BOBINAS DEL PRIMARIO Y DEL SECUNDARIO.....	64
2.2	GABINETE DE PROTECCION.....	73
2.3	TRANSFORMADOR CON SECCIONADOR DE PUESTA A TIERRA.....	74
2.4	ALIMENTACION DEL DISPOSITIVO DE DESCONECCION MEDIANTE UNA RED INDEPENDIENTE DEL TRANSFORMADOR.....	76
2.5	ALIMENTACION DEL DISPOSITIVO DE DESCONECCION MEDIANTE UNA RED ALIMENTADA POR EL TRANSFORMADOR A PROTEGER.....	76
2.6	ELEMENTO DE APOYO PARA EL MONTAJE AISLADO CONTRA LA TRANSMISION CORPOREA DE RUIDO DEL TRANSFORMADOR.....	78
2.7	DESACOPLAMIENTO ENTRE EL NUCLEO Y ARROLLAMIENTOS.....	79
3.1	CAPACIDAD DE SOBRECARGA.....	82
3.2	CURVAS TERMICAS DE LOS TRANSFORMADORES SUMERGIDOS EN ACEITE Y DE LOS TRANSFORMADORES TIPO SECO.....	87
3.3	EJEMPLO DE CICLO DE TRABAJO.....	89
3.4	RELACION ENTRE CICLO DE CARGA Y CURVAS DE TEMPERATURAS.....	91
3.5	FLUJO DE AIRE AL INTERIOR DEL TRANSFORMADOR.....	107
3.6	FUNCIONAMIENTO DE LA UNIDAD DE COMANDO.....	108

4.1	DIMENSIONES DE UN TRANSFORMADOR SUMERGIDO EN ACEITE.....	113
4.2	DIMENSIONES DE UN TRANSFORMADOR TIPO SECO.....	114
4.3	TIPO DE PROTECCION EN LA PARTE INFERIOR DE LOS TRANSFORMADORES TIPO SECO.....	131
4.4	AJUSTE DE LAS TOMAS EN TODAS LAS FASES.....	137
4.5	DATO DE PLACA DE CONECCIONES DEL TRANSFORMADOR.....	138

INDICE DE TABLAS

No.	PAG.
1.1 VOLTAJE PRIMARIO	38
1.2 POTENCIA ACTIVA.....	39
1.3 COMBUSTIBILIDAD.....	40
1.4 REQUERIMIENTOS ESPECIALES.....	44
1.5 VALORES DE TEMPERATURAS EN LOS AISLAMIENTOS.....	48
1.6 VALOR DE TEMPERATURA MAXIMA T_m	51
1.7 NIVELES DE SONIDO PARA TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION SUMERGIDOS EN ACEITE SEGUN NEMA TR1-1968.....	56
1.8 NIVELES DE SONIDO PARA TRANSFORMADORES TIPO SECO SEGUN NEMA TR27-1965.....	57
1.9 NIVELES DE SONIDO PARA TRANSFORMADORES TIPO SECO SEGUN NEMA TR1-1968.....	57
2.1 VIDA UTIL DEL AISLAMIENTO CLASE H.....	70
3.1 CAPACIDAD Y TIEMPO DE SOBRECARGA.....	81
3.2 TEMPERATURA MAS CALIENTE VS. VIDA ESPERADA.....	83
3.3 VIDA ESPERADA SEGUN RELACION ENTRE FIGURA # 3.3 Y TABLA # 3.2.....	92
3.4 FACTOR DE CORRECCION DEL BIL DEBIDO A LA ALTITUD.....	96
3.5 VALORES TIPICOS DE FERDIDAS EN LOS TRANSFORMADORES TIPO SECO.....	100
3.6 ANALISIS DE COSTOS DE TRANSFORMADORES TIPO	

SECO.....	102
3.7 COSTO DEBIDO A PERDIDAS EN EL CONDUCTOR DURANTE LA VIDA UTIL EN TRANSFORMADORES CLASE H-150 VS. H-80.....	105
4.1 TEMPERATURA PROMEDIO DEL AIRE DE ENFRIAMIENTO..	132

INTRODUCCION

El uso del transformador tipo seco en los países desarrollados ha sido cada vez más frecuente, debido a que en estos países la explotación de sus recursos naturales tienen gran desarrollo, pero en muchos casos la naturaleza presenta condiciones adversas, como son lugares de difícil acceso, en los que dar frecuente mantenimiento es muy difícil y costoso, o países en que se tiene climas con cambios de temperatura bien diferenciados, esto hizo posible el desarrollo de este tipo de transformador, que tiene como características entre otras, tener bajo factor de mantenimiento comparado con otros tipos de transformadores, en cuanto a cambios de temperaturas no se ve mayormente afectado debido al tipo de aislamiento que posee, a diferencia de los transformadores con aislamiento líquido que ante cambios de temperaturas muy grandes ve disminuida su capacidad aislante, y en algunos casos es necesario de aditivos para evitar que se congelen en climas que alcanzan temperaturas que están bajo cero grados centígrados.

Estando nuestro país en vías de desarrollo la utilización de este tipo de transformador va a ser más frecuente, por esta razón se da a conocer casos en los que el uso de este transformador se hace necesario para

obtener mejor rendimiento y menor costo en las instalaciones. Además en este tipo de países donde el desarrollo urbano es muy acelerado y desordenado se debe tener instalaciones que presenten el menor riesgo posible, el uso de este transformador ayuda a incrementar la seguridad de las instalaciones, ya que entre sus características esta la de ser prácticamente no inflamable.

Durante el desarrollo de esta tesis se amplia los conocimientos que se tiene acerca del transformador tipo seco, se explican criterios y normas que deben ser usados para la selección y uso correcto de este transformador.

CAPITULO # 1

APLICACION DEL TRANSFORMADOR TIPO SECO Y COMPARACION CON OTROS TIPOS DE TRANSFORMADORES.

1.1.- Aplicación de los transformadores tipo seco.

La aplicación de este tipo de transformador en muchos casos se debe a las características especiales que posee como son:

- a) La de evitar la contaminación atmosférica debido a que las bobinas primarias y secundarias están completamente impregnadas con su material aislante y correctamente encapsuladas.
- b) Prácticamente son no inflamables ya que la resina que usan para la fabricación de las bobinas no se inflaman ante la presencia de arcos eléctricos. Esta característica hace posible que puedan ser instalados en interiores sin la necesidad de equipos sofisticados para combatir los incendios.
- c) Este tipo de transformador puede ser instalado en lugares donde la temperatura

ambiente varía considerablemente según las estaciones climáticas.

- d) La gran resistencia a la alta tensión con BIL de 200 KV.
- e) El mantenimiento en este tipo de transformador es menor ya que no se necesita chequear niveles de aceite, ni reponer el líquido aislante que se consume.

A continuación se mencionan ejemplos de lugares donde se está usando este tipo de transformador:

- a) En el aeropuerto SCHIPHOL en Amsterdam-Holanda, fueron instalados juntos a múltiples equipos de suministro: como la central de aire acondicionado y la central de comando eléctrico. De esta manera fue posible economizar valiosos espacios dentro del edificio, los cuales eran necesarios para las salas de registro e información de las compañías de aviación, restaurantes, oficinas y todas las áreas necesarias para el desenvolvimiento de tráfico de pasajeros (ver figura # 1.1).

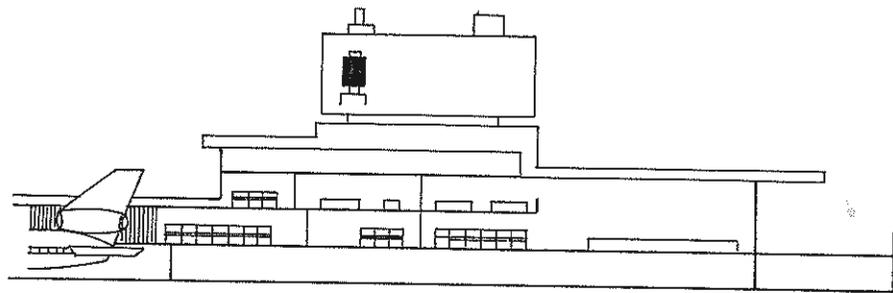
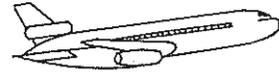


FIGURA # 1.1

INSTALACION DE TRANSFORMADORES TIPO SECO EN AEREOPUERTO

b) Uno de los mayores consumidores de energía eléctrica de la HAMBURGISCHEN-ELECTRICITATSWERKE, es la HAMBURGER ALUMINIUM-WERK (Aluminium-Hutte) y la REYNOLDS ALUMINIUM DEUTSCHLAND (Aluminium-Walzwerk). Los hornos eléctricos y laminadores necesitan, a plena carga de la planta aproximadamente 200 MW.

Dos reglas básicas de planificación económica de redes de distribución fueron considerados en forma especial en la construcción de la planta:

1) La estación de transformadores debe encontrarse en el centro de carga.

2) La longitud de los cables a nivel de distribución de baja tensión debe mantenerse lo más corto posible.

La estación de transformadores fue mantenida con transformadores tipo seco, economizandose de esta manera en la no utilización de ciertos equipos y dispositivos que se usan en los transformadores en aceite tales como las bandejas de protección contra fuga de aceite (ver figura # 1.2).

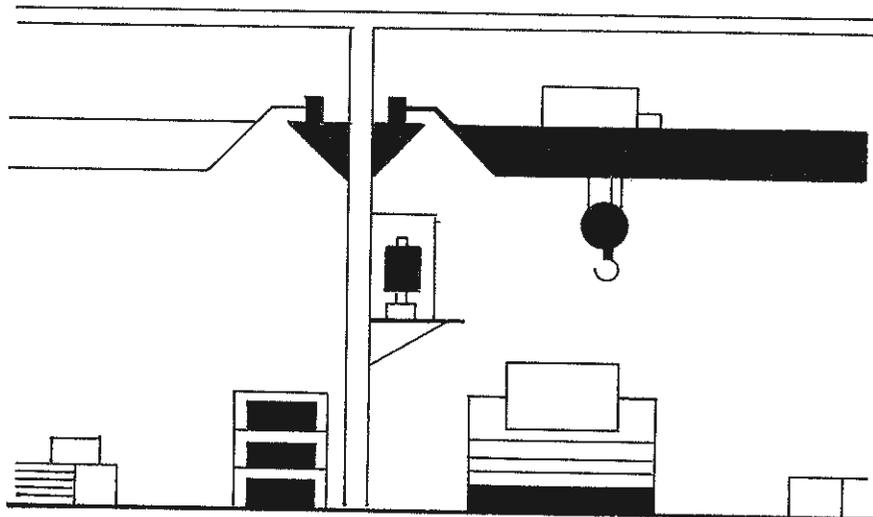


FIGURA # 1.2

INSTALACION DE TRANSFORMADORES TIPO SECO EN PLANTA DE
FUNDICION DE ALUMINIO

c) La empresa familiar, rica en tradiciones C.D. WALZHOLZ tiene en HAGEN-FLEY uno de los más potentes laminadores en frío de la República Federal de Alemania. El corazón de la fábrica es la nueva línea tandem de laminación a frío de cuatro cajas. Por la importancia central de esa línea para toda la planta de laminación, se le da una especial importancia a la confiabilidad de funcionamiento. La alta disponibilidad de todos los equipos que se encuentran en conexión inmediata con ella, ya fue considerado básico durante la etapa de proyecto. Las exigencias a los sistemas de accionamiento eran especialmente altas, ya que deben estar en condiciones de soportar todos los golpes de carga imaginables durante el servicio, sin que esto altere notoriamente el proceso. El sistema electrónico de poder y el transformador deben estar en condiciones de atender inclusive en forma continua estas exigencias.

El transformador tipo seco que fue instalado ofrece una ventaja decisiva en comparación con el transformador con refrigerante líquido: las repetidas sobrecargas de corta duración, producen un deterioro del líquido

aislante, por lo tanto requieren de períodos de mantenimiento más frecuentes (ver figura # 1.3).

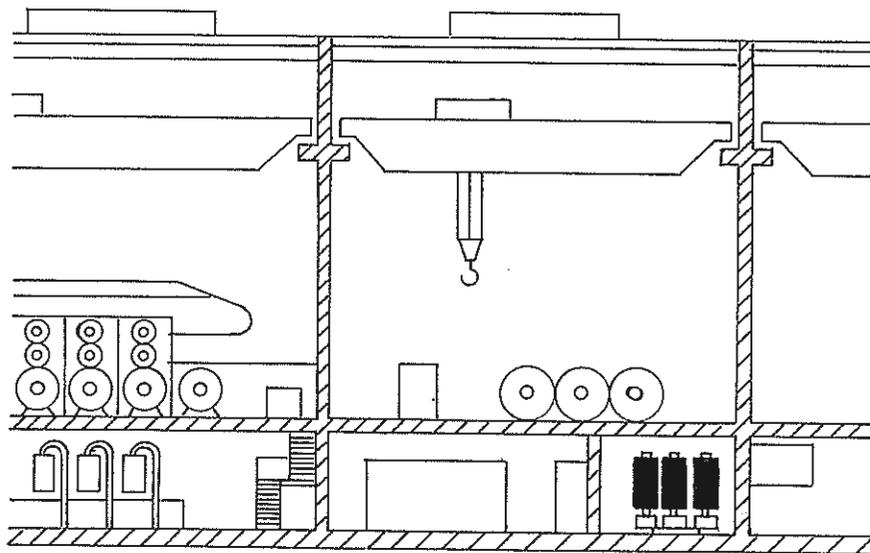


FIGURA #1.3

INSTALACION DE TRANSFORMADORES TIPO SECO EN PLANTA DE LAMINACION EN FRIO

d) La LKAB (Luossavaara Kurunavaara AB), es el mayor exportador de mineral de hierro de la República Federal de Alemania.

En la mayor explotación subterránea de mineral del mundo en Kurunavaara, una instalación eléctrica potente se encarga hoy del perfecto funcionamiento de los trabajos de explotación y transporte. La

modernización y ampliación de los sistemas de alimentación eléctricos existentes, fue terminado hace poco tiempo. Para los estudios previos del nuevo concepto, fueron de importancia decisiva las condiciones extremadamente duras del lugar. Una alimentación eléctrica próxima a los centros de consumo era deseable por motivos económicos.

Las necesarias estaciones subterráneas de transformación, descentralizadas, aparte de estar expuestas a extremas condiciones de ambiente, tienen que cumplir con las altas exigencias de seguridad, una de las condiciones más importantes era la ausencia de líquido aislante.

La humedad, los gases de escape de petróleo, diesel, y el polvo son elementos que pueden afectar el funcionamiento del transformador en aceite, el transformador tipo seco puede ser utilizado en estos casos. En caso de excesiva contaminación es posible lavar el transformador con agua caliente tomando las respectivas precauciones (ver figura # 1.4.).

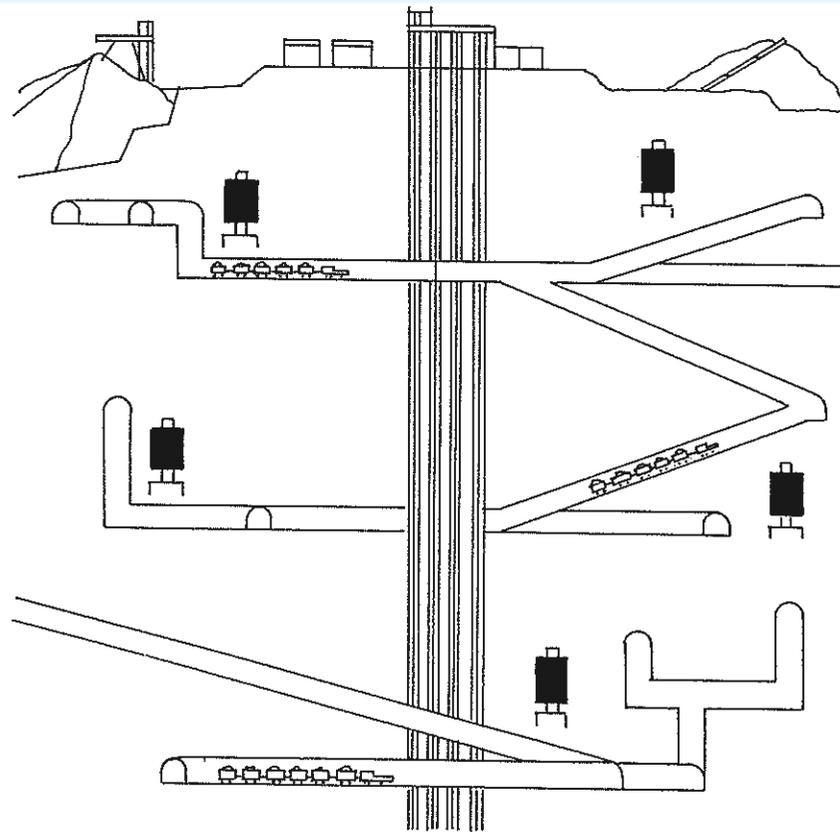


FIGURA # 1.4

INSTALACION DE TRANSFORMADORES TIPO SECO EN MINAS SUBTERRANEAS

e) El HAVDRILL pertenece a una serie de cuatro buques perforadores, que fueron construidos por el astillero holandés IHC GUSTO. Cinco generadores diesel en total alimentan en forma directa un sistema de barras colectoras dobles de 6 KV. A través de estas son alimentados directamente los propulsores de crucero y de posicionamiento. A la distribución de baja tensión (440 V.) están conectados, parte de la red general de bordo, los sistemas motrices controlados por tiristores de la placa de perforación, la grúa y la bomba de drenaje.

Tres transformadores tipo seco con una potencia de 3 MVA. conectan ambos sistemas. Ellos fueron colocados en vista de las distancias relativamente corta en la proximidad de la planta de diesel. Razones importantes para la utilización de estos transformadores es porque su funcionamiento no se ve afectado ante la presencia de aire humedo, su construcción antipoluyente, y su alta seguridad en caso de incendio. De esa manera fue posible evitar muchas instalaciones de seguridad, lo cual en condiciones de poco espacio a bordo representa una ventaja no despreciable (ver figura # 1.5).

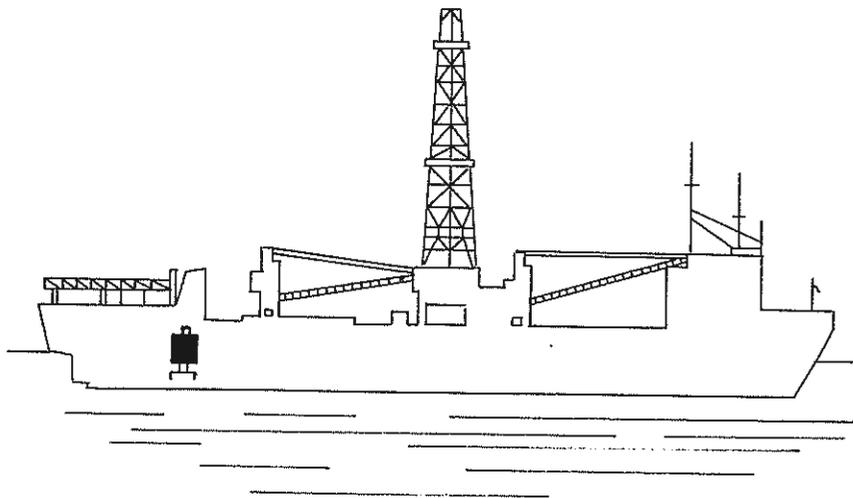


FIGURA # 1.5

INSTALACION DE TRANSFORMADORES TIPO SECO EN BARCO
PERFORADOR

f) La agremiación AUGUSTE-VICTORIA explota en la localidad de MARL el pozo de extracción principal # 7. La demanda de carbón de piedra, en aumento, requería la duplicación de la extracción diaria al valor de 1500 toneladas diarias. Con la maquinaria existente este aumento no era posible. Por ello fue tomada la decisión de modernizar la planta. La modificación debía realizarse en etapas durante el servicio de extracción, observándose tiempos de interrupción lo más corto posible.

Por lo tanto debía cumplirse lo siguiente:

- 1) Duplicación de la capacidad de elevación con el requerimiento del mismo espacio de antes.
- 2) Instalación de transformadores en la plataforma de tiristores a una altura de 35 metros sobre el nivel del mar.
- 3) Instalación provisional de transformadores sobre la plataforma de tiristores a fin de obtener un corto tiempo de restructuración. Transformadores equivalentes, llenos con líquido aislante, hubieran requerido considerables inversiones en la construcción y/o la ubicación de los transformadores lejos del centros de carga. Aparte de los momentos de arranque característicos del servicio y

del servicio de carga pesada requerida, las pérdidas adicionales representan exigencias especiales para este tipo de transformadores. La estructura y el dimensionamiento de los arrollamientos de los transformadores tipo seco son óptimos para este tipo de servicio (ver figura # 1.6).

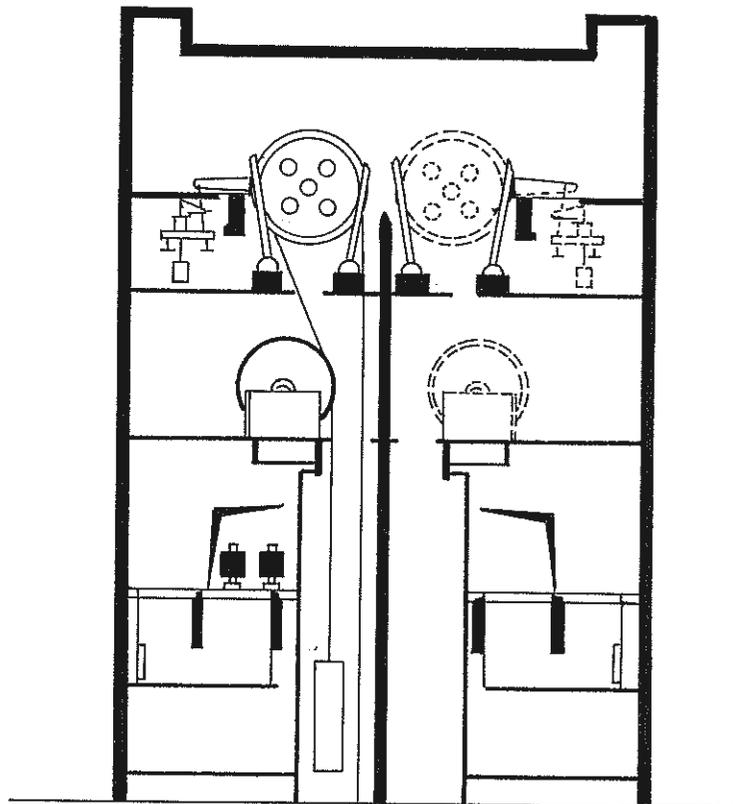


FIGURA # 1.6

INSTALACION DE TRANSFORMADORES TIPO SECO EN POZO DE
EXTRACCION DE CARBON DE PIEDRA

g) El túnel de la carretera de PFANDER, un circunvalación de la autopista a la ciudad de BREGENZ en Austria. La autopista atraviesa el monte Pfander en una longitud de 6,718 KM. a una altura de aproximadamente 430 mt. sobre el nivel del mar.

En ambas entradas del túnel se suministra energía eléctrica. Debido a la longitud del túnel y a la gran demanda de energía de 5000 KVA., se requiere en el túnel una tensión de red de 10 KV.

Para el suministro y la extracción de aire se construyeron 2 centrales de ventilación, con 4 ventiladores cada una. Estas 2 centrales consumen 3900 KVA., siendo los otros 1100 KVA. utilizados para los sistemas de iluminación, máquinas e instalaciones de seguridad.

Rigurosas normas de seguridad y el escaso espacio disponible en las cavernas requieren transformadores con características especiales para el suministro de energía. Se emplearon en total 8 transformadores tipo seco principalmente por su comportamiento sin peligro en caso de incendio, la construcción económica en espacio y seguridad en el servicio (ver figura # 1.7).

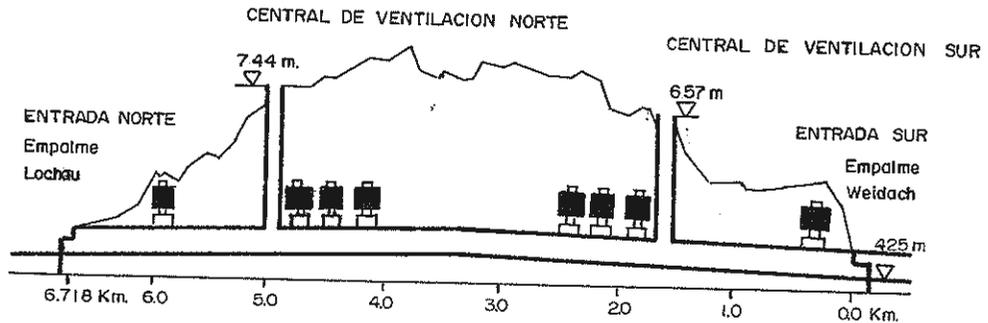


FIGURA #1.7

INSTALACION DE TRANSFORMADORES TIPO SECO EN TUNEL DE CARRETERA

h) Un concepto interesante para el abastecimiento de energía a sus naves de fabricación, tienen los ingenieros de la BOSCH-SIEMENS-HAUSGERATE. Consiste en dividir en dos tipos de carga a diferentes sistema de voltaje.

El sistema de iluminación y los sistemas de ventilación son por ejemplo conectados a la red general. Los equipos de producción de alto consumo, son conectados a la red de centros de carga. La distribución de baja

tensión del primer sistema parte por lo general de una sola estación de transformadores, la cual se encuentra en la periferia del complejo de fabricación.

Las estaciones de transformación de los puntos de mayor intensidad de carga, las cuales alimentan un sistema común de 380 V, forman una segunda red. Estas estaciones descentralizadas se componen básicamente de interruptores de fuerza, seccionadores bajo carga con fusible, batería de condensadores de compensación, gabinete de distribución de baja tensión y el transformador tipo seco.

Como muestra la figura # 1.8, el transformador se encuentra sobre los gabinetes de interruptores de distribución.

Al lado de las conocidas ventajas de la alimentación próxima a los centros de consumo, los ingenieros de BOSCH ven ventajas adicionales en la gran flexibilidad de este concepto. La estación puede colocarse fácilmente en otro lugar, por causa de su construcción uniforme y compacta, en caso de modificación de la producción. Siendo necesaria una mayor potencia puede conseguirse ésta, con la instalación de ventiladores de flujo transversal (ver Figura # 1.8).

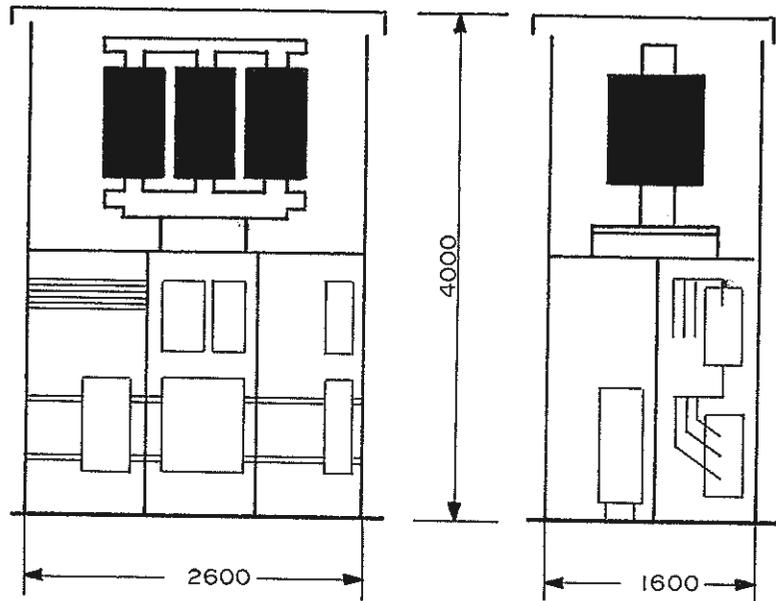


FIGURA # 1.8
INSTALACION DE TRANSFORMADORES TIPO SECO EN FABRICA DE
ELECTRODOMESTICOS

- i) La planta OFFSHORE GAROUPA a 83 KM. de la costa norte de Brasil, a una profundidad de 120 mt., con una reserva de petróleo estimada en casi 100 millones de metros cúbicos.
Proyectos de este tipo deben ser independientes de su suministro de energía eléctrica. Requerimientos de seguridad excepcionales deben observarse. Tres generadores accionados por turbinas de gas alimentan directamente una barra de 13.8 KV. A esta barra se acoplan dos transformadores tipo seco de 10 MVA. para la alimentación de los motores de alta tensión y cuatro transformadores de 2,5 MVA. para la alimentación de la iluminación, ventilación y la planta de desalinación de agua.
Los transformadores tipo seco son propicios para condiciones extremas debido a sus excepcionales características de servicio, como son resistencia a cortocircuito, seguridad contra humedad, y comportamiento no crítico en caso de incendio (ver figura # 1.9).

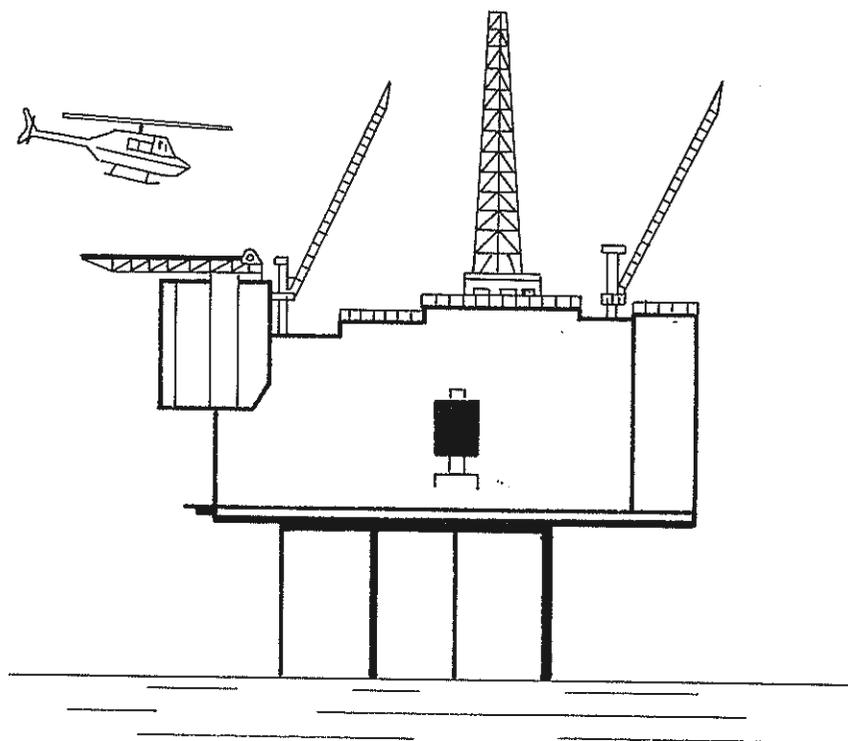


FIGURA # 1.9

INSTALACION DE TRANSFORMADORES TIPO SECO EN PLATAFORMA
DE EXPLOTACION PETROLERA

- j) La significación y tamaño de una instalación, como lo es el hospital universitario de EPPENDORF en Hamburgo, exige entre otros una instalación de energía eléctrica moderna que funcione sin interrupción. La clínica cuenta

hoy en día, después del saneamiento de todo el sistema con cinco anillos de cable de 10 KV.

Se estaba consciente de los problemas que se producirían con la modificación: Las estaciones de transformadores existentes en muchos casos eran demasiado pequeñas para recibir el equipo mayor, por lo tanto era necesario muchas veces, utilizar espacios previamente usados para otras finalidades como salas para transformadores e interruptores.

Para mantener en límites aceptables los costos de construcción, fue decidido instalar únicamente transformadores tipo seco.

Instalaciones especiales como por ejemplo: fosas para fugas de líquidos aislantes, o medidas especiales para protección de incendios eran prescindibles. Otra ventaja se mostro durante los trabajos: los tiempos para la modificación se mantenían comparablemente cortos, la siempre problemática alimentación interna podía ser reemplazada rápidamente por la nueva estación (ver figura # 1.10).

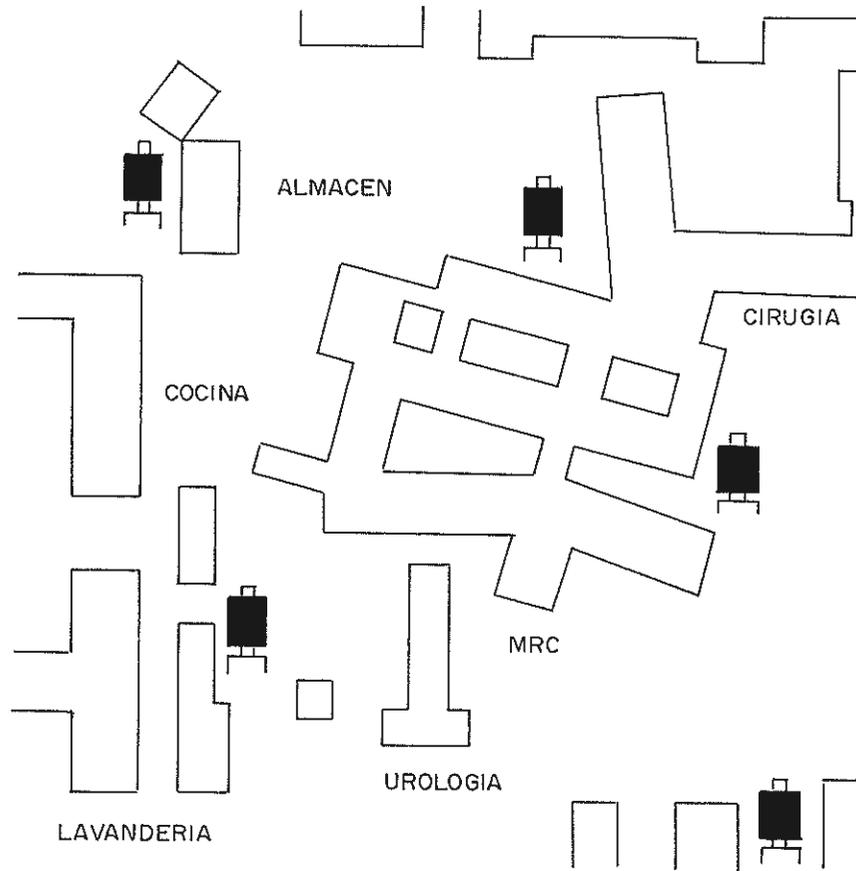


FIGURA # 1.10

INSTALACION DE TRANSFORMADORES TIPO SECO EN HOSPITAL

1.2.- Análisis comparativo entre el transformador tipo seco y otros tipos de transformadores.

Las razones por las cuales el transformador tipo seco han incrementado su aceptación son entre otras las siguientes:

- a) Porque pueden ser instalados cerca de los centros de carga en las plantas industriales, o en cualquier lugar de los edificios ocupando espacios reducidos, esto ayuda a

- mejorar la regulación de voltaje, disminuir los costos de cable.
- b) Los sistemas contra incendios en las plantas industriales son reducidas en comparación cuando se usa transformadores que usan líquido como aislante.
 - c) El mantenimiento que se les da a los transformadores tipo seco es menor porque al no tener por ejemplo aceite como líquido aislante no hay que estar chequeando el nivel del líquido y además el aislante se deteriora menos que en los transformadores sumergidos en aceite.
 - d) Tienen la particularidad de usar al aire como medio de enfriamiento, con lo cual se evita la presencia de posible gases tóxicos.
 - e) El transformador tipo seco ayuda a resolver los problemas de instalación ya que por las características que posee se los puede instalar en cualquier lugar del edificio o de la planta industrial, esto proporciona un ahorro ya que evita construir cuartos especiales de transformadores.
 - f) Estos tipos de transformadores tienen igual o

mayor eficiencia y capacidad de sobre carga que los otros tipos de transformadores.

A continuación se da una comparación general de los distintos tipos de transformadores.

Entre la gran variedad de transformadores que están disponibles tenemos entre otros:

- a) Transformador sumergido en aceite
- b) Transformador con aislante líquido (RTEmp)
- c) Transformador con aislamiento de silicón
- d) Transformador tipo seco convencional
- e) Transformador tipo seco con bajas pérdidas
- f) Transformador tipo seco no ventilados y completamente encerrados
- g) Transformador con resina colada

Estos transformadores no son los mejores para todas los casos. Todo dependerá de su aplicación.

Para facilitar la comparación se va a analizar el comportamiento de los transformadores, tomando en cuenta 4 áreas diferentes que son:

- a) Voltaje del primario.- Algunos tipos de transformadores no están disponible para ciertos niveles de voltaje (ver tabla # 1.1).

TABLA # 1.1
VOLTAJE PRIMARIO

	600 o MENOS	5 KV**	15 KV*	25 KV	34.5 KV
SUMERGIDOS EN ACEITE		X	X	+	+
SILICON		X	X	+	+
RTEmp		X	X	+	+
TIPO SECO CONVENCIONAL	X	X	X		
TIPO SECO BAJA PERDIDA	X				
TIPO SECO NO VENTILADO Y TOTALMENTE ENCERRADO	X	X	X		
RESINA COLADA		X	X	X	X

** 2500, 4160, 4800 V.
* 7200, 8320, 12470, 13200, 13800, 14400 V.
+ Depende del Fabricante

b) Potencia Activa (KVA).- Al igual que ocurre con el nivel de voltaje no todos los transformadores estan disponible para los KVA. que se requieren (ver tabla # 1.2).

TABLA # 1.2
POTENCIA ACTIVA

	MONOFASICO			TRIFASICO			
	15- 100	167	250- 333	45- 112.5	500- 1500	2000- 2500	3750- 5000
SUMERGIDO EN ACEITE	a	a	a		X	X	+
SILICON	a	a	a		X	X	
RTEmp	a	a	a		X	X	
TIPO SECO CONVENC.	X	X	X	X	X	X	X
TIPO SECO BAJA PERD.	X	X	X	X	X		
TIPO SECO NO VENT. TOT-ENCER.	X	X	X	X	X	X	
RESINA COLADA					X	X	X

a Sólo disponible en modelo tipo exterior para montaje en piso.

+ Depende del Fabricante

c) Combustibilidad.- Muchas aplicaciones requieren de unidades que no presenten riesgo

de inflamarse. Los transformadores inflamables son permitidos por algunos códigos sólo en lugares exteriores y lejos de los edificios. Su instalación debe cumplir con seguridades adicionales (ver tabla #1.3).

TABLA # 1.3
COMBUSTIBILIDAD

	INFLAMABLE	DISCUTIBLE	NO-INFLAMABLE
SUMERGIDOS EN ACEITE	X		
SILICON		X	
RTEmp		X	
TIPO SECO CONVENCIONAL			X
TIPO SECO BAJA PERDIDA			X
TIPO SECO NO VENTILADO Y TOTALMENTE ENCERRADO			X
RESINA COLADA			X

d) Requerimientos Especiales: Muchas de las aplicaciones requieren que los transformadores posean cualidades especiales (ver tabla # 1.4).

En este punto se hará referencia a lo siguiente:

d1) Factor de Mantenimiento.- Todas las aplicaciones donde es difícil y/o costoso una constante rutina de mantenimiento por ejemplo en lugares donde la continuidad de servicio es necesaria. Instalación donde las condiciones requieren un frecuente mantenimiento, teniendo así un factor de mantenimiento alto.

d2) Resistencia a los Cortos Circuitos.- Muchos de los nuevos sistemas interconectados, donde la contribución al corto circuito de muchos transformadores hacen que la corriente de falla aumente.

Aplicaciones donde equipos en el secundario están expuestos a corto circuitos bajo condiciones normales de

operación, como es el caso de los rectificadores DC.

Aplicaciones donde el transformador en si mismo puede bajar la impedancia normal y por lo tanto no se autolimita con respecto a la corriente de falla.

d3) Pérdidas en los Transformadores (WATT).-

Donde el costo de la electricidad es alto, cuando la forma de cargar el transformador es elevada y constante, para disminuir los costos es necesario tener bajas pérdidas.

d4) Nivel de Vida Esperado en los Transformadores.- Donde remover y reemplazar el transformador sería extremadamente caro. Donde la continuidad del servicio es de gran importancia.

d5) Capacidad de Soportar Condiciones Adversas.- Donde se ve expuesto a una gran humedad, aire salino, contaminación industrial como es la producida por las fábricas de acero, de papel, de pinturas, refinerías, plantas químicas, etc.

d6) Arranque en Frío.- Donde la posibilidad de arrancar en frío después de prolongada inactividad, sin tomar precauciones especiales. Donde el servicio es intermitente, como es el caso de los sistemas auxiliares de propulsión de algunos barcos, o donde el suministro de energía puede ocurrir en climas fríos. Donde el transformador es almacenado para usarlo con posterioridad.

d7) Nivel Básico de Impulso (BIL).- Conectado directamente en líneas aéreas, en lugares donde la incidencia de descargas atmosféricas es alta, donde el sobrevoltaje golpea en los sistemas aéreos reflejándose este a su vez a los transformadores. Cuando debido a la aplicación se requiere de frecuentes maniobras de apertura y cerrada de equipos de protección, produciéndose un sobrevoltaje el mismo que se transmite a los transformadores.

TABLA # 1.4

REQUERIMIENTOS ESPECIALES

BAJO CORTO PERDIDA LARGA SOPORTAR ARRANQUE BIL
MANT.CIRCT. BAJAS VIDA CONDICION FRIO
ADVERSA

SUMERGIDO EN ACEITE	M	M	M	B	B	M	MB
SILICON	M	M	M	B	B	M	MB
RTemp	M	M	M	B	B	M	MB
TIPO SECO CONVENC.	B	MB	M	MB	M	M	B
TIPO SECO NO VENTIL. TOT-ENCER.	MB	MB	MB	MB	MB	B	MB
TIPO SECO BAJA PERD.	B	MB	MB	E	M	M	B
RESINA COLADA	E	E	MB	E	E	E	E

M: MALO
B: BUENO
MB: MUJ BUENO
E: EXCELENTE

1.2.1.- Análisis comparativo de la clase de aislamiento.

Los materiales aislantes son conocidos como material clase A, B, F, H. Cada una de estas clases de aislamiento tienen una temperatura a la que puede

ser expuesta sin que disminuya su vida útil normal.

La temperatura máxima en la que puede operar un conductor sin causar una disminución en la vida útil del conductor se la conoce como temperatura pico y la temperatura máxima que alcanza o puede alcanzar un punto del conductor sin causar disminución en la vida útil se la conoce como temperatura punto caliente.

A continuación se hará una descripción y un análisis comparativo entre los materiales aislantes.

Material Clase A.- Consiste en algodón, seda, papel u otros materiales orgánicos, los cuales no pueden ser expuestos a una temperatura promedio en el conductor que exceda los 95°C . Esto es a menudo expresado como 55°C de elevación sobre los 40°C de la temperatura ambiente.

Una restricción adicional de la vida normal esperada establece que la temperatura en el lugar o punto más caliente no debe exceder los 105°C .

Este tipo de aislamiento es el más comunmente usado en transformadores sumergidos en aceite. En los transformadores tipo seco fue usado años atrás y ahora sólo es usado en unos pocos circuitos de control de transformadores de 1.5 KVA.

Material Clase B.- Son usados en aparatos en que las condiciones de plena carga no causan un aumento de temperatura en el conductor mayor a los 80°C sobre la temperatura ambiente (40°C). El punto más caliente en el conductor no puede tener una temperatura mayor a 150°C . El material clase B incluye una combinación de mica, fibra de vidrio y asbesto, unidos con sustancias adecuadas. Esto no prohíbe que se use materiales orgánicos si la experiencia muestra que pueden ser capaces de operar continuamente a una temperatura de 80°C sobre la temperatura ambiente.

Material Clase F.- Este material permite una temperatura pico de 115°C sobre la temperatura ambiente, y la temperatura punto caliente no debe ser

superior a los 145°C sobre los 40°C ambiente.

Esta clase también incluye mica, fibra de vidrio y asbesto.

Material Clase H.- Este material permite una temperatura pico superior de 150°C sobre los 40°C ambiente y el punto más caliente puede alcanzar los 180°C sobre los 40°C ambiente, es decir, que el punto más caliente no debe exceder los 220°C . Silicón, mica, fibra de vidrio o asbesto son usados con una apropiada resina de silicón. Esta clase de material es la más comúnmente usada en los transformadores tipo seco.

Una ventaja sobresaliente de los materiales clase H es su tamaño reducido lo que permite usar una cantidad mínima de conductor y núcleo.

Esta economía que se logra sirve para compensar el incremento por el costo del aislamiento.

La práctica indica que el promedio de las instalaciones usan un aislamiento clase H que alcanza una temperatura pico de 115°C sobre la temperatura ambiente, lo cual asegura la vida esperada.

La siguiente tabla nos da los valores de temperatura máxima que pueden soportar las distintas clases de aislamientos.

TABLA # 1.5
VALORES DE TEMPERATURAS EN LOS AISLAMIENTOS

Clase de aislamiento	Temperat. ambiente (°C)	Temperat. pico del conductor (°C)	Gradiente de temp. en el punto más caliente (°C)	Temperat. total permitida (°C)
A	40	55	10	105
B	40	80	30	150
F	40	115	30	185
H	40	150	30	220

La única diferencia que existe entre el material clase F y el H son los materiales que se usan para la unión y la impregnación. El material clase F eventualmente cae en desuso para los transformadores tipo seco, debido a la aparición del material clase H el mismo que usa materiales inorgánicos para unir los compuestos primarios, como son compuestos de silicón o resina.

1.2.2.- Análisis comparativo del material utilizado en los devanados.

Los materiales que se usan en los devanados son básicamente el aluminio y el cobre. El uso del aluminio para la construcción de los devanados se ha incrementado considerablemente, las razones de esto se analizan a continuación.

Una de las causas que ha hecho posible que el cobre a pesar de su gran conductividad este siendo reemplazado por el aluminio, es la de que el cobre no tiene un costo estable, es de ahí que surge la idea de encontrar un material que cumpla las características que necesita tener un conductor eléctrico.

El aluminio posee una conductancia eléctrica del 63% comparada con la del cobre, pero su peso específico es de solo el 30% comparada con el del cobre, de ahí que el aluminio es fácilmente procesado como conductor eléctrico.

Si los devanados de cobre son

reemplazados por los devanados de aluminio, esto obviamente trae como consecuencia un aumento en la sección del alambre el mismo que mantiene una relación inversa con la conductancias y con el mantenimiento del número de vueltas en el núcleo. Este requerimiento extra de espacio es aproximadamente de un 60%, por lo tanto, se verá incrementada la distancia radial entre los centros de las líneas. Si se asume que el el espesor del alambre del cobre es H_{cu} . y se toma en cuenta el incremento del núcleo no debe ser grande porque se incrementaría las pérdidas por el aumento de corrientes eddy. Se tiene entonces que el incremento en el espesor del alambre del aluminio H_{al} . viene dado por la siguiente ecuación:

$$H_{al} = H_{cu} * (Z_{cu} / Z_{al})$$

donde:

Z_{cu} = Conductancia específica del cobre

Z_{al} = Conductancia específica del
aluminio

Otro punto de vista para comparar los devanados de cobre y de aluminio es la

temperatura final de corto circuito, ya que los materiales aislantes que se usan en los devanados poseen una temperatura máxima a la cual pueden trabajar sin sufrir deterioro.

A continuación en la tabla # 1.6 se indica la temperatura máxima permitida en los devanados (T_m), estos valores están tomados de la IEC 76.26:

TABLA 1.6
VALOR DE TEMPERATURA MAXIMA T_m

CLASE DE AISLAMIENTO	DEVANADO DE CU.	DEVANADO DE AL
TRANSFORMADOR TIPO SECO		
A	180	180
E	250	200
B	350	200
F y H	350	-
TRANSFORMADOR SUMERGIDO EN ACEITE		
A	250	200

En este análisis no se ha tomado en cuenta los problemas que tienen el cobre

y el aluminio debido a la unión con otros metales no ferrosos porque se los considera de fácil solución.

En la actualidad se prefiere usar en los transformadores tipo seco los devanados contruidos con aluminio ya que los coeficientes de expansión del aluminio y de la resina colada se encuentran tan cercanos que sólo se presentan reducidas tensiones en los materiales. No sólo que se usa el aluminio en los devanados sino tambien que los devanados se los hace de forma de cintas, y la razón es porque este tipo de devanados combina una técnica de embobinado simple con alta seguridad eléctrica. Su aislación es eléctricamente menor que la exigida en otros tipos de devanados. Mientras que en el devanado tradicional de alambre redondo la tensión por espira se suma hasta el doble de de la tensión por capa (ver figura # 1.11), se presenta en el devanado de cintas nada más que la simple tensión por espira, porque en este tipo de devanado una capa esta formada por una espira.

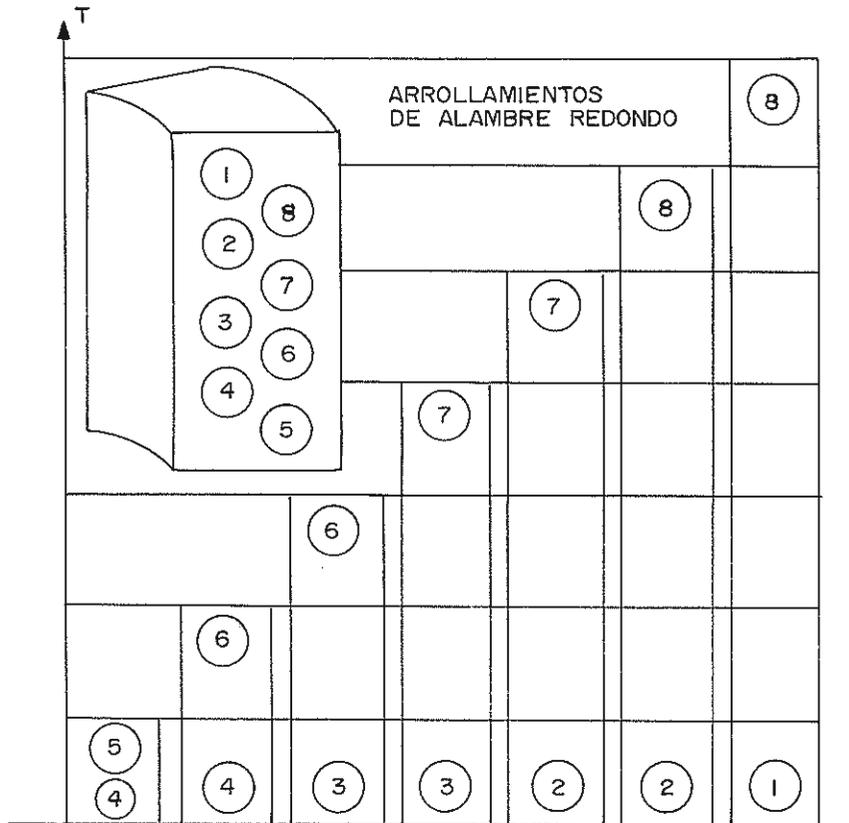


FIGURA # 1.11

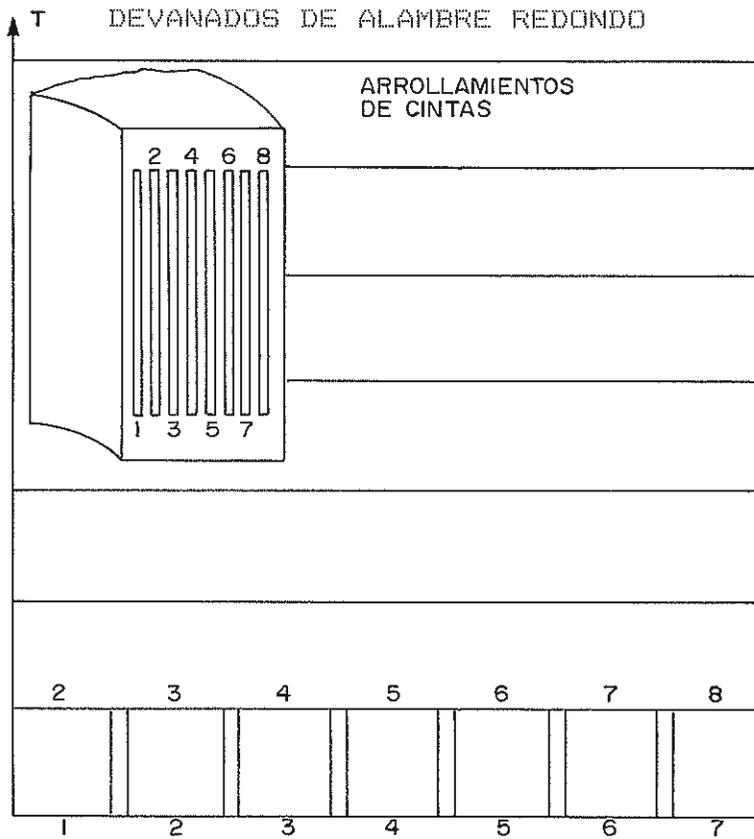


FIGURA # 1.12

DEVANADOS DE CINTAS

1.2.3.- Análisis comparativo del nivel de ruido.

En la actualidad los transformadores tipo seco y los transformadores sumergidos en aceite producen unidades silenciosas que cumplen con las normas NEMA.

A continuación se analiza los factores que influyen en los niveles de ruidos y como son controlados.

Si el núcleo de acero no esta trabajando magnéticamente este no emite sonidos, pero cuando la corriente alterna es aplicadas a las bobinas produciendose entonces un fenomeno magnético en el núcleo de acero emitiendose entonces sonidos que se incrementan a medida que la densidad de flujo va aumentando.

Si por ejemplo el núcleo de acero se lo distribuye en forma de "grano orientado" a lo largo de una milla y a esto se lo excita uniformemente esto causaria un cambio de 1/20 Decibelios por pulgadas en el nivel de ruido. Este análisis es causa para que en el diseño se trate de

minimizar la emisión de sonido.

Muchos de los transformadores con campo líquido usan núcleo enrollado, lo cual debido a su construcción de estar encintados tiene la propiedad de tener una emisión de ruido mínima. Tal como las unidades antiguas, las bandas tienen una tensión baja, pero el núcleo estaba menos estrechamente unido, por lo tanto los niveles de ruido se incrementaban. Los núcleos de los transformadores tipo seco están sujetos seguramente por pernos, manteniéndose así un íntimo contacto entre los elementos del núcleo, con este tipo de construcción el núcleo emite sonidos bajísimos niveles. En unidades con aislante líquido tanto el núcleo como las bobinas están ensambladas y empernadas apropiadamente, estando fijas dentro del tanque. Fue la misma técnica empleada en los transformadores tipo seco, los sonidos entonces se transmiten a los soportes de las estructuras metálicas con las probabilidades de producir resonancia dentro del panel. Para evitar esto el núcleo y las bobinas

se encontraban literalmente "flotando" y los sonidos eran absorbidos con lo cual se amortigua la transmisión de sonido.

En las tablas # 1.7, 1.8, 1.9, que se dan a continuación sirven para poder hacer una comparación más realista entre los niveles de ruido de los transformadores sumergidos en aceite y los transformadores tipo seco.

TABLA # 1.7

NIVELES DE SONIDO PARA TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION
SUMERGIDOS EN ACEITE SEGUN NEMA TR1-1968.

Equivalente Dos Devanados KVA	Promedio Nivel de Sonido DECIBELIOS
0 - 50	48
51 - 100	51
101 - 300	55
301 - 500	56

TABLA # 1.8

NIVELES DE SONIDO PARA TRANSFORMADORES TIPO SECO SEGUN
NEMA TR27-1965

Equivalente Dos Devanados KVA	Promedio del Nivel De Sonido DECIBELIOS	
	Autoenfriado Ventilado	Autoenfriado Sellado
0 - 9	45	45
10 - 50	50	50
51 - 150	55	55
151 - 300	58	57

TABLA # 1.9

NIVELES DE SONIDO PARA TRANSFORMADORES TIPO SECO SEGUN
NEMA TR1-1968

Equivalente Dos Devanados KVA	Promedio del Nivel de Sonido DECIBELIOS	
	Autoenfriado Ventilado	Autoenfriado Sellado
0 - 300	58	57
301 - 500	60	59

De las tablas se muestra que para 0 - 9 KVA los transformadores tipo seco tienen valores de 3 dB. menos que los transformadores sumergidos en aceite, para valores entre 10 - 50 los tipo seco alcanzan 2 dB. más que los sumergidos en aceite, para valores entre 150 - 300 tienen ambos el mismo valor en dB., y para valores mayores de 300 y hasta 500 KVA los tipo seco estan 2 dB. arriba. Asi se ve entonces que la diferencia entre los dos tipos de transformadores es de 1 a 3 dB. Esta es una comparación muy general porque en la actualidad las nuevas técnicas de diseño hace bajar aun más los niveles de sonido.

CAPITULO # 2

CARACTERISTICA DE CONSTRUCCION DE LOS TRANSFORMADORES TIPO SECO

2.1.- Técnicas de construcción de los transformadores tipo seco.

Un transformador tipo seco como es el transformador de resina colada son construidos con un dieléctrico sólido completamente impregnado y encapsulado tanto las bobinas del primario así como las del secundario. Los devanados son permanentemente empotrados entre capas de fibra de vidrio e impregnados por un proceso de moldeo en vacío con temperaturas altas sin relleno de resina. Este proceso de manufacturación es diferente a los procesos de inmersión u otros procesos de moldeo en vacío que usan relleno de resina.

Las técnicas usadas en la construcción de los transformadores de resina colada consiste en producir un vacío libre, el mismo que produce la impregnación del epoxy en el aislamiento entre las capas y de vuelta a vuelta. Otras técnicas producen solamente una encapsulación de los

devanados, sin obtener algun grado de significancia de impregnación profunda en las capas de las bobinas. El resultado que tiene la técnica de construcción de los transformadores con resina colada son excelentes y son entre otras las siguientes:

- Excelente capacidad de soportar sobrecargas en tiempos cortos.
- Gran resistencia a la humedad y a contaminantes atmosféricos.
- Excelente comportamiento frente a esfuerzos producidos por cortocircuitos.
- Poseen un factor de mantenimiento bajo.

2.1.1.- Construcción del núcleo.

Los núcleos de los transformadores tipo seco son contruidos con láminas de acero recubiertas de silicón sin protuberancias con gran permeabilidad magnética y pequeñas pérdidas debido a corrientes parásitas como son corrientes de Eddy, o pérdidas por histeresis. Las laminaciones del núcleo son mantenidas juntas con angulos de estructuras de acero, lograndose un circuito magnético

de gran eficiencia y además un transformador con un nivel de ruido bajo. La densidad de flujo magnético es mantenida por debajo del punto de saturación.

Otra técnica en la construcción del núcleo es usar un núcleo con pocos pernos compuestos por chapas de grano orientado aisladas en ambos lados y por lo tanto con pocas pérdidas. Las chapas de las columnas del núcleo están cortadas inclinadamente, están dispuestas en un plano y unidas entre sí mediante yugos. Las secciones transversales de las columnas y del yugo son iguales y de forma aproximadamente circular por escalonamientos sucesivos. Un prensado uniforme de las columnas se asegura mediante una correspondiente cantidad de zunchos de núcleo. Repetidas capas de pintura protegen contra la corrosión. Esta última técnica es usada en los transformadores con resina colada.

2.1.2.- Construcción de las bobinas.

La construcción de las bobinas están analizadas tanto para las bobinas de alta así como para las bobinas de baja. Las bobinas de alta se componen de cinta de aluminio arrollada conjuntamente con una capa aislante de alta calidad y se rellena bajo vacío hasta las conexiones. La aislación exterior está formada por una mezcla de resina epóxica con harina de cuarzo. Este material antipoluyente hace que el arrollamiento sea exento de mantenimiento, seguro contra humedad y apto para trópicos. Estudios realizados han demostrado que aun con deposiciones de agua en este tipo de arrollamiento que son usados en los transformadores de resina colada, quedan plenamente utilizables. En ensayo de incendio que simulaba un arco voltaico se demostró que el transformador de resina colada puede considerarse como autoextinguente, después de retirar la fuente de energía. En consecuencia no es inflamable hasta en los casos en que se quema directamente con arco voltaico producido

por un corto circuito.

En las bobinas de baja el material del conductor es en forma de cinta arrollada de aluminio. El ancho de la cinta de aluminio es igual que el alto de la bobina, con ello se obtiene una considerable reducción de los esfuerzos axiales de cortocircuito. Por tratamiento térmico se combinan el conductor y el material aislante y forma una unidad compacta que esta sellada contra humedad y que domina también los esfuerzos radiales con seguridad.

Para asegurar una mayor vida esperada de los transformadores las bobinas poseen una adecuada ventilación para prevenir un sobrecalentamiento entre las mismas, esta ventilación consiste en pasajes de aire a través de la bobina. Donde se requiere estos pasajes de aire son mantenidos por el uso de ductos de aires, los cuales se los realiza durante la construcción de las bobinas.

En la figura # 2.1 se muestra el espacio entre la bobina del primario y la del secundario que es el que sirve para que el aire circule y se disipe el calor.

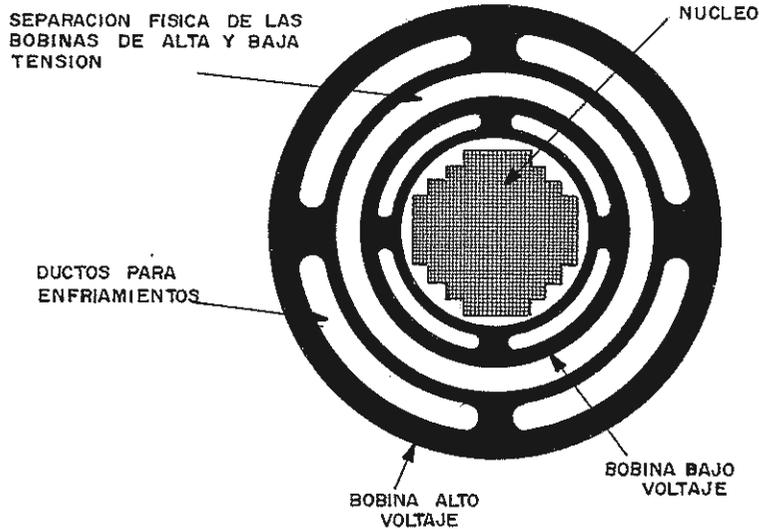


FIGURA # 2.1

CIRCULACION DE AIRE EN LAS BOBINAS DEL PRIMARIO Y DEL SECUNDARIO

2.2.- Características del aislamiento usado en los transformadores tipo seco.

Los varios tipos de aislamientos que se usan en los transformadores se los identifican según las normas ANSI y NEMA con las letras A, B, F, H, tal como se muestra en la tabla # 1.5. Como se ve la ascendencia alfabética, tiene una relación con la capacidad y la tolerancia de trabajar con temperaturas elevadas.

El material aislante clase H es el más usado en los transformadores tipo seco, esta clase de aislante usa materiales inorgánicos tales como

silicón, mica, fibra de vidrio, asbestos, harina de cuarzo, que se mezclan con resina epóxica o resina de silicón, mediante una técnica de vacío que permite una completa impregnación, debido a las características de sus componentes, este tipo de aislante tiene la propiedad de ser resistentes a la humedad, prácticamente es no inflamable, se autoextingue ante la presencia de fuego (resistencia térmica elevada), posee un factor de mantenimiento bajo, con este tipo de aislamiento se obtiene un sistema dieléctrico sólido.

Todas estas características ayudan a mejorar la vida útil del transformador, ya que si bien es cierto la temperatura es el factor de mayor influencia, siempre se presenta problemas térmicos, mecánicos, los mismos que ayudan a deteriorar el aislamiento. Por tanto la calidad de este tipo de aislamiento hace posible disminuir la influencia que tienen estos factores sobre el aislamiento.

2.2.1.- Característica de la Resina Colada.

La resina colada es el resultado de mezclar en vacío la resina epóxica con materiales inorgánicos produciéndose una gran impregnación. La resina colada es

extremadamente atractiva debido a las propiedades dieléctricas favorables que posee, a la flexibilidad que tiene para su fabricación, su costo relativamente bajo, su grado de degradación bajo y posee además un bajo riesgo a la contaminación.

Debido al elevado grado de aislamiento que se produce al mezclar en vacío la resina epóxica con materiales inorgánicos permite poner en funcionamiento a los transformadores después de períodos largos de interrupción.

Los transformadores que usan este tipo de resina como material aislante poseen un alto grado de resistencia ante la presencia de impulsos de voltaje.

La resina colada permite una mayor protección contra cortocircuito que la que puede dar los transformadores sumergidos en aceite.

La fibra de vidrio reforzada con esta resina permite fluctuaciones grandes de temperatura, sin que esto disminuya la

vida útil del aislamiento.

La resina colada prácticamente no se inflama, se autoextingue debido a que es un material no higroscópico, es decir, que no posee la propiedad de absorber y exhalar la humedad.

Esta resina a diferencia del aislante líquido no presenta goteo, que en algunos casos este problema de goteo aumenta considerablemente los costos de mantenimiento y de seguridad.

La resina colada permite una distribución uniforme de los dieléctricos.

La resina colada no produce gases tóxicos en caso de incendio.

2.2.2.- Relación entre la Temperatura y el Aislamiento.

La relación que existe entre la temperatura y el aislamiento es estrecha, así vemos por ejemplo en la tabla # 2.1 que el aislamiento clase H que usan los fabricantes en los

transformadores tipo seco pueden trabajar con una máxima temperatura permisible de 220°C , esta temperatura es el resultado de la suma entre la temperatura ambiente (40°C) con la temperatura pico que puede soportar el conductor en forma continua (150°C) y más el gradiente de temperatura en el punto más caliente (30°C). Este tipo de aislamiento en particular tiene el problema de tener una vida útil de apenas 2.3 años, por lo que es necesario diseñar aislante clase H con una mayor vida útil.

Los fabricantes de transformadores para mejorar la vida útil del aislamiento se valen de una vieja regla práctica que dice: "Por disminución en 10°C en la temperatura total permisible del aislamiento la vida útil del aislamiento aumenta en el doble y así mismo por un aumento en 10°C en la temperatura del aislamiento la vida útil del mismo disminuye en la mitad". Así tenemos por ejemplo que el aislante clase H que a 220°C tiene una vida útil de 2.3 años, al lograr bajar la temperatura a 210°C

la vida útil será entonces de 4.6 años, con este razonamiento cuando se logra bajar esta temperatura a 185°C la vida útil que se obtendrá sera de 25 años. Esta disminución de temperatura se logra disminuyendo la temperatura pico en el conductor.

Esta disminución de temperatura y aumento de la vida útil trae consigo otras ventajas como son: un aumento en la capacidad de sobrecarga, una disminución de pérdidas ya que para poder obtener menores temperaturas aumentamos la longitud del conductor, disminuyendo así las pérdidas. Este último punto hay que tomarlo en cuenta, puesto que, al aumentar la longitud del conductor aumentan los costos, por tanto, existirá un punto de equilibrio hasta donde se podrá disminuir la temperatura, ya que no sólo que aumentan los costos por aumento del conductor sino que tambien aumenta el tamaño de la unidad.

En la tabla # 2.1 se da las distintas clases de aislamientos clase H con su respectiva vida útil.

TABLA # 2.1
VIDA UTIL DEL AISLAMIENTO CLASE H

Temperatura pico en el Conductor (°C)	Temperatura en el Punto más caliente (°C)	Vida Útil Mínima (Teórica) (años)
150	220	2.3
140	210	4.6
130	200	9.2
120	190	18.4
110	180	36.8
100	170	73.6
90	160	147.2
80	150	294.4

El transformador con aislamiento clase H de 80°C de temperatura pico tiene un costo de un 15% más que el transformador clase H que tiene 150°C de temperatura pico (dato tomado de reporte técnico, para unidades de la misma marca).

De la tabla # 2.1 se concluye que los transformadores con aislamiento clase 80°C tienen una vida útil 128 veces más que un transformador con aislamiento clase 150°C.

$$2.3 * 128 = 294.4 \text{ años}$$

En algunos casos no se toma en cuenta o no se presta atención en este detalle de la vida útil, mas bien se analiza el costo inicial, es decir, que transformador cuesta menos.

2.3.- Características de los equipos de protección del transformador tipo seco.

La protección inicial de los transformadores tipo seco esta en los gabinetes de protección que tienen su diseño de acuerdo al tipo de aplicación, es decir, si se los va a usar en interiores o exteriores.

Estos gabinetes tienen una protección contra polvo, basura, nieve, lluvia, etc.

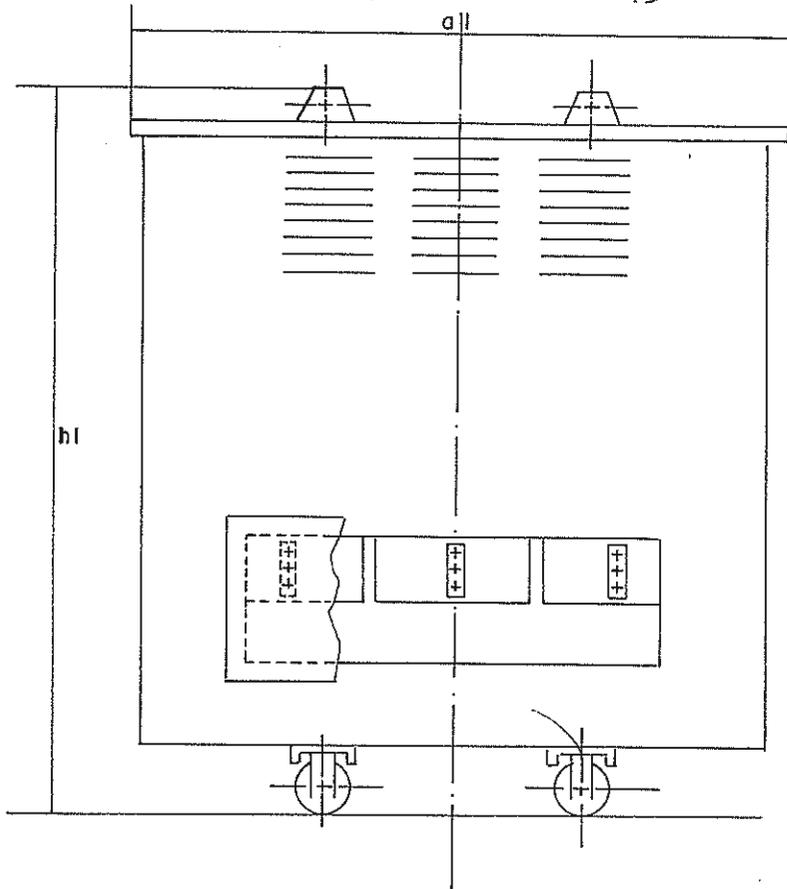
El gabinete de uso interior tiene paredes laterales de chapa lisa. La tapa y el fondo se realiza de chapa perforada. La conexión del transformador se realiza mediante cable que se introduce por recortes en la chapa perforada del fondo. Aberturas de mano en las paredes longitudinales permiten realizar la conexión de los cables y la reconexión de las derivaciones, posee una protección contra contactos

involuntarios de cuerpos extraños mayores a 12mm. de diametro.

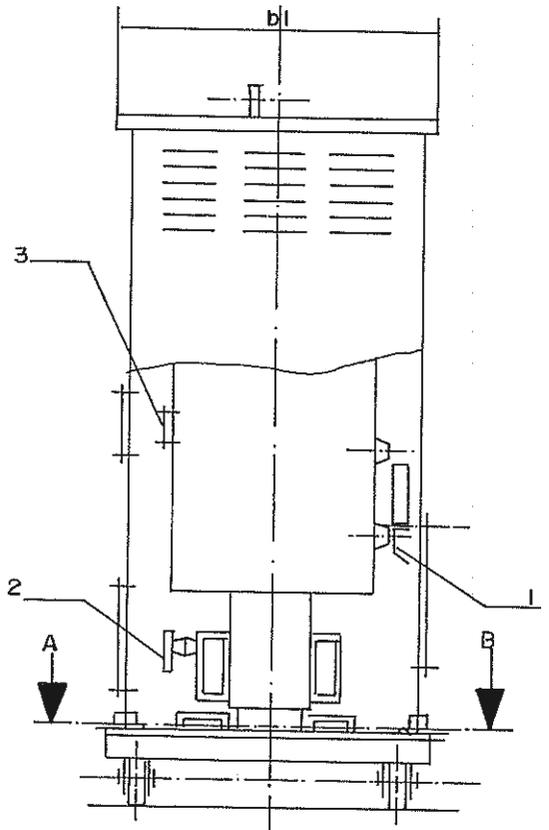
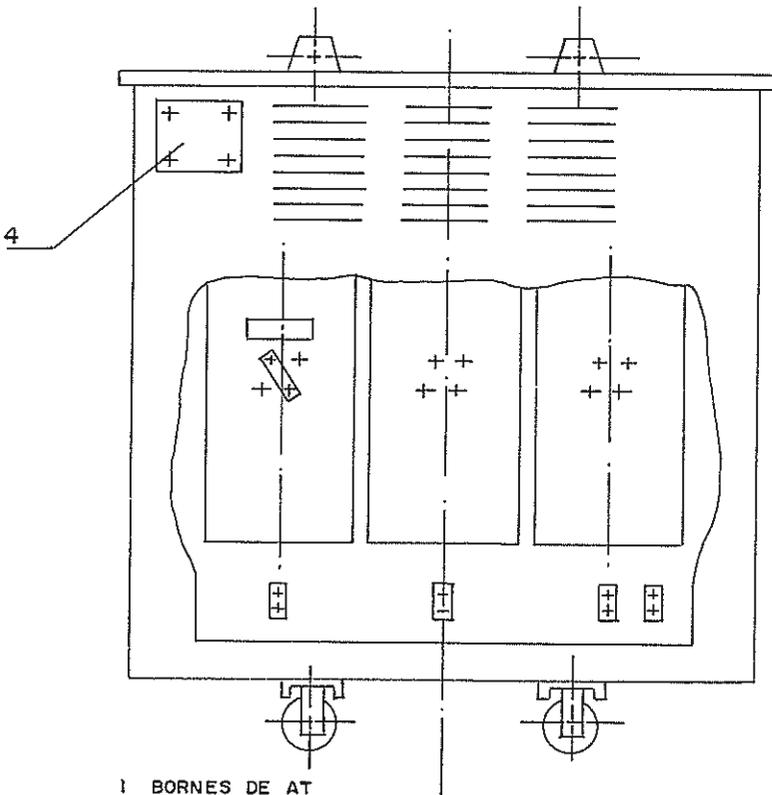
El gabinete para interperie, posee una tapa de chapa cerrada y ranuras para aire de refrigeración blindadas en el tercio superior del gabinete. La acumulación de calor que se origina por este tipo de protección requiere un 10% de reducción de la potencia (la tensión de corto circuito es correspondientemente menor), con una potencia un 11% mayor, que entonces se opera con una potencia correspondiente menor. Este gabinete evita la mojadura por lluvia y la irradiación solar directa.

Gabinetes de protección según las características expuestas anteriormente alcanzan sus límites, de la rigidez mecánica y económicos, con una potencia tipo de 1600 KVA. Para potencias nominales mayores son recomendables gabinetes separados del transformador que se arman en el lugar de emplazamiento.

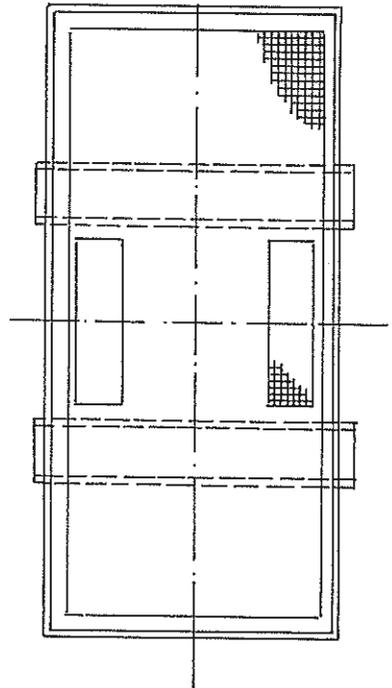
En la siguiente figura # 2.2 se muestra un diseño de estos gabinetes.



LADO DE BAJA TENSION



CORTE A-B



- 1 BORNES DE AT
- 2 BORNES DE BT
- 3 DERIVACIONES DE AT
- 4 ORIFICIOS DE MANO
- 5 TAPA DESATORNILLABLE

FIGURA # 2.2

GABINETE DE PROTECCION

Otro tipo de protección consiste en instalar un seccionador de puesta a tierra, el mismo que tiene la función de asegurar que el sistema quede sin tensión y de esta manera se puede realizar maniobras de mantenimiento o de reparación. La posición del seccionador se puede reconocer en el accionamiento desde afuera de la puerta. En este accionamiento se acopla un conmutador auxiliar con contactos precursores, el que desconecta el interruptor de alta tensión principal antes de que el seccionador de puesta a tierra sea introducido. El accionamiento puede bloquearse desde afuera de la puerta con ayuda de un cilindro de cierre con llave, para evitar un accionamiento indebido.

La figura # 2.3 que esta a continuación muestra el principio de funcionamiento del transformador con seccionador de puesta a tierra.

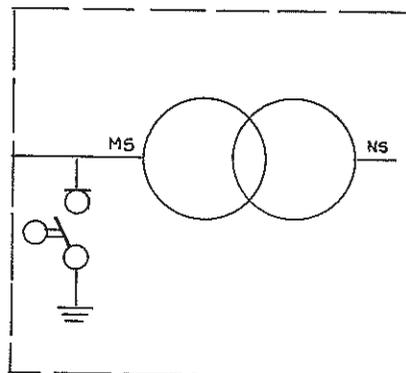


FIGURA # 2.3

TRANSFORMADOR CON SECCIONADOR DE PUESTA A TIERRA

Otro tipo de protección muy común es el sistema de control de temperatura que protege al transformador contra un calentamiento inadmisibles generando esto una temperatura elevada, este control permite el aprovechamiento de la potencia del transformador, aún cuando exista períodos de sobrecarga de corta duración, sin afectar la vida útil del transformador.

En la actualidad los transformadores tipo seco pueden equiparse con un sistema de control de temperatura, el mismo que posee tres sensores de temperatura y el dispositivo para desconectar.

Debe preverse para el control de temperatura entre el sensor y el dispositivo de desconexión un transformador el mismo que sirve para separar estos dos dispositivos.

Habiendo dos sistemas se conecta el uno para alarma y el otro para desconexión.

El dispositivo para desconectar requerido para el control se ubica convenientemente en los armarios de maniobra para media o baja tensión. Su adosamiento al transformador no está permitido ya que la temperatura ambiente está limitada a 55°C.

En las figuras # 2.4 y 2.5 que estan a continuacion se muestra como se puede alimentar el dispositivo de desconexion.

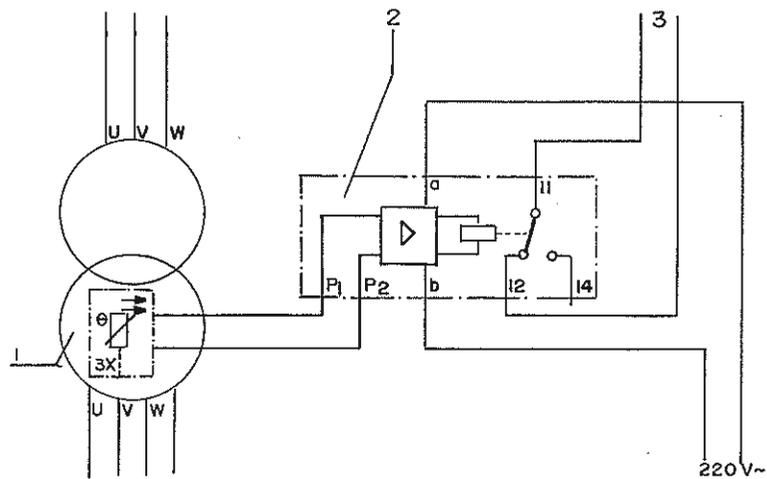
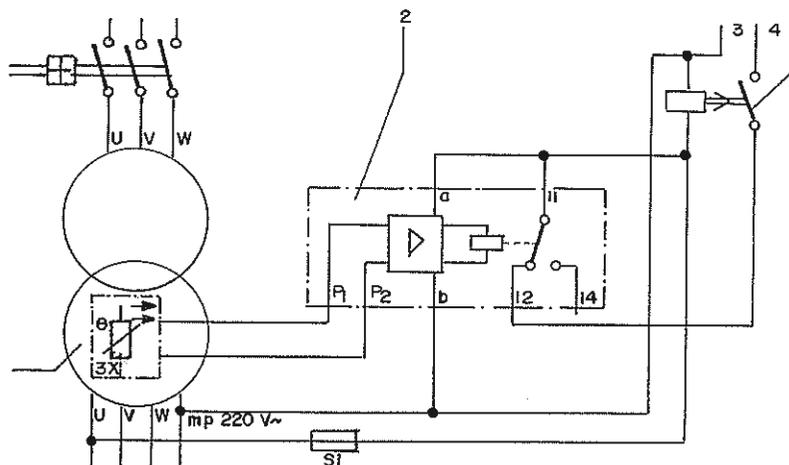


FIGURA # 2.4

ALIMENTACION DEL DISPOSITIVO DE DESCONEXION MEDIANTE UNA RED INDEPENDIENTE DEL TRANSFORMADOR



- (1) Sensor de temperatura del conductor de coeficiente de temperatura negativo
- (2) Dispositivo para desconectar
- (3) Alarma o desconexión
- (4) Relevo de tiempo retardado $t > 1 \text{seg.}$

FIGURA # 2.5

ALIMENTACION DEL DISPOSITIVO PARA DESCONECTAR MEDIANTE UNA RED ALIMENTADA POR EL TRANSFORMADOR A PROTEGER

Otro tipo de protección adicional que usan ciertos transformadores tipo seco son los conocidos pararrayos que sirven para proteger contra sobrevoltajes que tienen diversos orígenes, como por ejemplo sobrevoltajes causados por descargas atmosféricas. Este tipo de sobrevoltajes pueden causar daños, de ahí que se justifica su utilización.

2.4.- Métodos de construcción para reducir el nivel de ruido.

Unos de los problemas más comunes y que producen un aumento en el nivel de ruido es el problema de la resonancia, resonancia que existe entre el gabinete y las paredes del edificio o de las industrias, etc., y la resonancia que se produce entre el gabinete y el transformador.

Para evitar esta resonancia los fabricantes recomiendan un montaje aislado contra transmisión acústica corpórea. Para ello puede emplearse el elemento de apoyo representado en la figura # 2.6. Es un elemento de metal y goma, que permite al mismo tiempo, por su forma constructiva, una fijación segura del transformador en el lugar del emplazamiento. Los elementos de apoyo se

suministran a pedido en combinación con un determinado transformador en un tamaño adecuado.

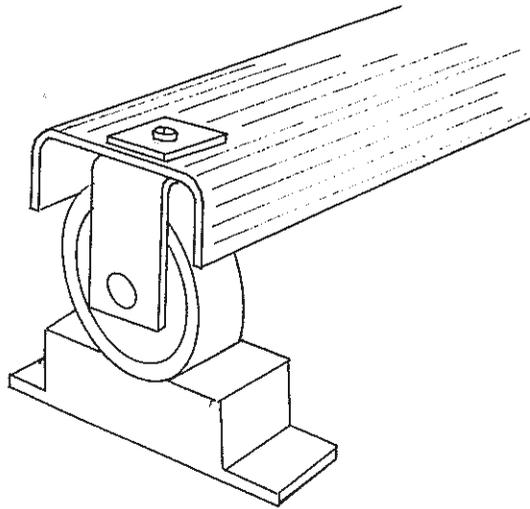


FIGURA # 2.6

ELEMENTO DE APOYO PARA EL MONTAJE AISLADO CONTRA LA TRANSMISION CORPOREA DE RUIDO DEL TRANSFORMADOR

Debido a la fijación rígida del gabinete con el transformador se transmite ruido al gabinete y se origina un aumento del ruido del transformador de aproximadamente 8 dB. Mediante una sustentación separada del gabinete (construcción especial que se ofrece a pedido) puede evitarse este aumento en caso de que se soliciten valores de nivel de ruido extremadamente bajos.

La técnica usada en los transformadores de resina colada con arrollamientos prensados entre distanciadores elásticos y con ello se encuentran desacoplados con respecto a oscilaciones mecánicas entre si y hacia el núcleo de hierro tal como se observa en la figura # 2.7.

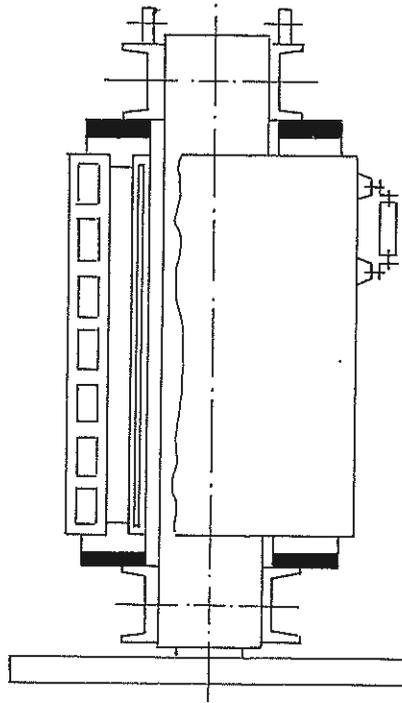


FIGURA # 2.7

DESACOPLAMIENTO ENTRE EL NUCLEO Y ARROLLAMIENTOS

Los arrollamientos actúan así como barreras absorbentes. Los valores de ruido están a nivel comparable al de los transformadores llenados con líquido aislante, o por debajo de aquellos.

CAPITULO # 3

CARACTERISTICA DE FUNCIONAMIENTO DE LOS TRANSFORMADORES TIPO SECO

3.1.- Carga y sobrecarga de los transformadores tipo seco.

La capacidad de carga y sobrecarga de los transformadores tipo seco guardan una relación estrecha con el material aislante usado y por lo tanto con su constante de temperatura, en otras palabras un transformador puede ser sobrecargado limitadamente sin sobrepasar las temperaturas máximas permitidas en las bobinas.

La capacidad de sobrecarga debe ser analizada con la vida esperada del transformador ya que en un período prolongado de sobrecarga trae como consecuencia un deterioro en el material aislante y por tanto una reducción en la vida esperada. Los transformadores tipo seco son diseñados para soportar períodos de sobrecarga dependiendo de la carga previa tal como se muestra en la siguiente tabla:

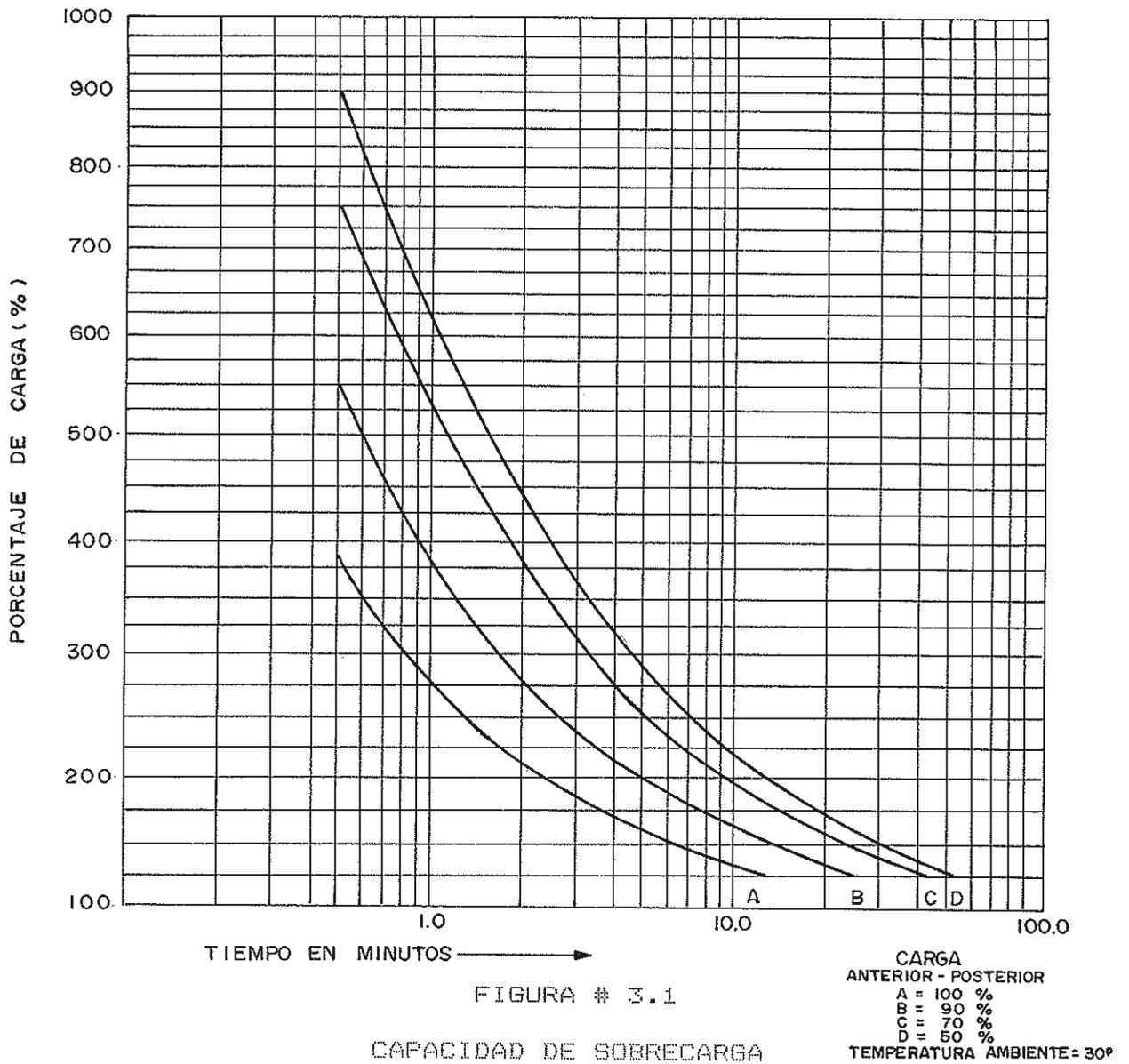
TABLA # 3.1
CAPACIDAD Y TIEMPO DE SOBRECARGA

TIEMPO DE SOBRECARGA	CAPACIDAD DE SOBRECARGA PARA LAS SIGUIENTES CONDICIONES DE PRECARGA		
	90 %	70 %	50 %
1/2 HORA	1.50	1.60	1.68
1 HORA	1.30	1.35	1.37
2 HORAS	1.20	1.20	1.22
4 HORAS	1.15	1.15	1.15
8 HORAS	1.12	1.12	1.12

Si luego de ocurrido la sobrecarga la unidad vuelve a su condición de estabilidad térmica y a las condiciones de carga previas, puede entonces ocurrir otra sobrecarga sin que esto cause deterioro en la vida útil del transformador.

Esto se conoce como capacidad de sobrecargas y puede venir expresado en forma de curvas tal como se muestra en la figura # 3.1.

Las curvas que se muestran en la figura # 3.1 indican la capacidad de sobrecarga, y son el resultado de relacionar porcentaje de carga vs. el tiempo, sin exceder la estabilidad térmica.



Por esta razón en el siguiente análisis de carga se usan características tales como: temperatura máxima permitida, vida esperada, entre otras:

La tabla # 3.2 que se da a continuación muestra el efecto de la temperatura sobre la vida esperada expresada en porcentaje (esta tabla está desarrollada según reporte técnico de transformadores tipo seco con aislante clase H).

TABLA # 3.2

TEMPERATURA MAS CALIENTE VS. VIDA ESPERADA

Tp.c. Temperatura punto más caliente (°C)	P Porcentaje (%)	Tp.c. Temperatura punto más caliente (°C)	P Porcentaje (%)
195	1.00	154	117
194	1.17	153	133
193	1.30	152	150
192	1.43	151	167
191	1.56	150	183
190	1.82	149	200
189	2.08	148	233
188	2.34	147	267
187	2.60	146	300
186	2.86	145	333
185	3.13	144	367
184	3.65	143	400
183	4.17	142	467
182	4.69	141	533
181	5.21	140	600
180	5.73	139	667
179	6.25	138	733
178	7.29	137	800
177	8.33	136	933
176	9.38	135	1067
175	10.42	134	1200
174	11.46	133	1333
173	12.50	132	1467
172	14.58	131	1600
171	16.67	130	1867
170	18.75	129	2133
169	20.83	128	2400
168	22.92	127	2667
167	25.00	126	2933
166	29.17	125	3200
165	33.33	124	3733
164	37.50	123	4267
163	41.67	122	4800
162	45.83	121	5333
161	50.00	120	5867
160	58.33	119	6400
159	66.67	118	7467
158	75.00	117	8533
157	83.33	116	9600
156	91.67	115	10000
155	100.00		

Carga Continua.- El primer análisis que se hace es tomar en cuenta un transformador que trabaja con carga continua, y los efectos que produce un período de sobrecarga, los mismos que no afectan la vida útil del transformador, no se toma en cuenta en este caso la vida esperada ya que por ser carga continua se considera el problema térmico como estable. La temperatura más elevada que se usa es la suma de la temperatura ambiente, la temperatura pico en el devanado y el gradiente en el punto más caliente. De estas temperaturas, la temperatura ambiente no depende de la carga, pero la temperatura pico en el devanado y el gradiente en el punto más caliente si pueden ser calculados en función de la carga de la siguiente manera:

$$T_p = (L_1 / L_2)^{1.6} * T_{po} \quad (3-1)$$

donde:

T_p = Temperatura pico actual en el devanado ($^{\circ}C$)

L_1 = Carga actual (KVA)

L_0 = Dato de placa (KVA)

T_{po} = Dato de placa de la temperatura pico en el devanado ($^{\circ}C$)

T_{po} por lo general $80^{\circ}C$ para los transformadores tipo seco.

Ejemplo #1: Considere un transformador tipo seco de 1000 KVA y con 80°C de temperatura pico en los devanados como datos de placa. Calcular la temperatura pico de los devanados con un 8% de sobrecarga.

$$T_p = (1080 / 1000)^{1.6} * 80$$

$$T_p = 90.48^{\circ}\text{C}$$

El gradiente en el punto más caliente puede ser calculado de la siguiente manera:

$$GT_{p.c.} = (L1 / L2) * GT_{p.c.o} \quad (3-2)$$

donde:

$GT_{p.c.}$ = Gradiente actual en el punto más caliente ($^{\circ}\text{C}$)

$GT_{p.c.o}$ = Gradiente más caliente según diseño ($^{\circ}\text{C}$)

$GT_{p.c.o}$ = Para transformadores tipo seco es de 30°C

$$GT_{p.c.} = (1080 / 1000) * 30$$

$$GT_{p.c.} = 34^{\circ}\text{C}$$

La temperatura más elevada se la calcula de la siguiente manera:

$$T_{p.c.} = T_a + T_p + GT_{p.c.} \quad (3-3)$$

donde:

$T_{p.c.}$ = Temperatura más elevada ($^{\circ}\text{C}$)

T_a = Temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$)

T_p = Temperatura pico en el devanado ($^{\circ}\text{C}$)

$\theta_{Tp.c.}$ = Gradiente en el punto más caliente ($^{\circ}\text{C}$)

Asumiendo T_a como 30°C tenemos:

$$T_{p.c.} = 30 + 90.48 + 34 = 154.48^{\circ}\text{C}$$

Con Referencia a la tabla # 3.2 para $T_{p.c.} = 154.48$ da un porcentaje de vida esperada entre 117 y 133% para una sobrecarga del 8%.

Combinando las ecuaciones 3-1, 3-2, 3-3, tenemos:

$$T_{p.c.1} = (L1 / L2)^{1.6} * (T_{po} + \theta_{Tp.c.o}) + T_a \quad (3-4)$$

donde:

$T_{p.c.1}$ = Temperatura más elevada la cual corresponde a la estabilidad termal para la carga $L1$.

Carga Variable.- Este segundo análisis se hace para cuando se tiene carga variable, para esto es necesario usar la constante de tiempo de los devanados del transformador, para así poder determinar la curva térmica con respecto al tiempo.

La constante de tiempo por definición es el tiempo requerido por los devanados para alcanzar el 63% de su temperatura pico, comenzando desde carga cero.

La figura # 3.2 que está a continuación muestra una comparación entre las curvas térmica típicas de los transformadores sumergidos en aceite y la

de los transformadores tipo seco.

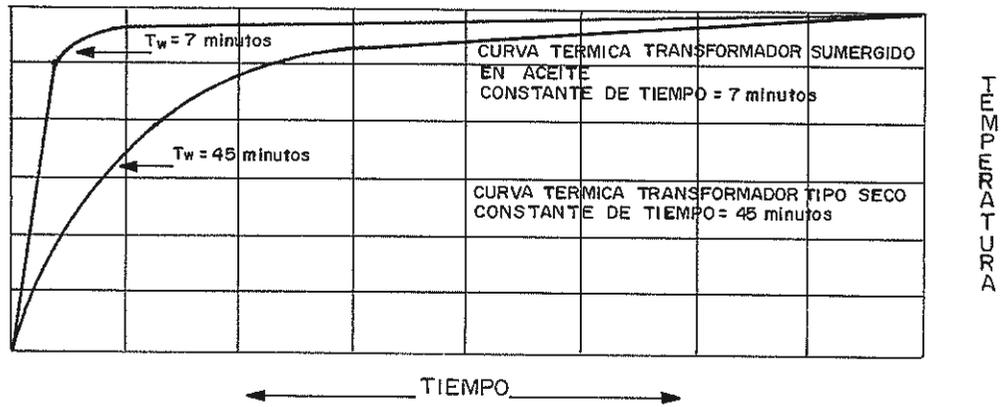


FIGURA # 3.2

CURVAS TERMICAS DE LOS TRANSFORMADORES SUMERGIDOS EN ACEITE Y DE LOS TRANSFORMADORES TIPO SECO

La constante de tiempo de los devanados puede ser calculada usando la siguiente ecuación:

$$T_w = \frac{T_{po} \cdot C_{xy}}{60 \cdot S^2} \quad (3-5)$$

donde:

T_w = Constante de tiempo del devanado (minutos)

C_{xy} = Constante de los materiales basado en propiedades térmicas y eléctricas.

C_{xy} para devanados de cobre = 195

C_{xy} para devanados de aluminio = 87.5

S = Densidad de corriente (A / mm^2)

La densidad de corriente para transformadores tipo seco es de 2 a 3 A / mm^2 .

La constante de tiempo para los transformadores tipo seco por lo general es de 47 minutos para conductor de cobre y de 21 minutos para conductor de aluminio.

Trabajar con cargas variables es complicado y difícil de evaluar, debido a la serie de factores que intervienen por ejemplo en el cálculo de la constante de tiempo del devanado como son temperatura de arranque y nivel de carga.

A continuación se da un ejemplo que muestra el error de trabajar con una carga continua equivalente.

Ejemplo #2: Considere un transformador de 1000 KVA con el siguiente ciclo de trabajo.

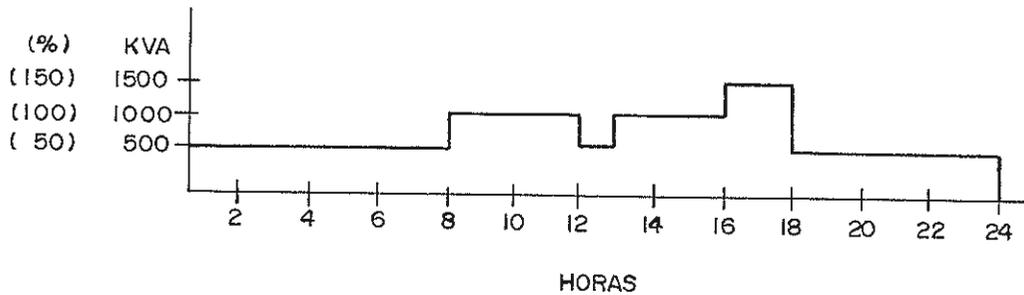


FIGURA # 3.3

EJEMPLO DE CICLO DE TRABAJO

Primer Método:

Calculando una carga continua equivalente.

$$L_{rms} = \sqrt{\frac{L_1^2 T_1 + L_2^2 T_2 + \dots + L_n^2 T_n}{T_1 + T_2 + \dots + T_n}} * 1000 \quad (3-6)$$

L_{rms} = Carga equivalente (KVA)

L_1 = Carga #1 (factor 1.0 = 100%)

T_1 = Tiempo de duración de la carga #1

$$L_{rms} = \sqrt{\frac{(0.5)^2 8 + (1)^2 4 + (0.5)^2 1 + (1)^2 3 + (1.5)^2 2 + (0.5)^2 6}{8 + 4 + 1 + 3 + 2 + 6}} * 1000$$

$$L_{rms} = \sqrt{0.635} * 1000$$

$$L_{rms} = 797 \text{ KVA}$$

La carga equivalente es de 797 KVA.

Usando la ecuación # 3-4 para encontrar la temperatura más elevada tenemos:

$$T_{p.c.1} = (L1/L2)^{1.6} * (T_{po} + 6T_{p.c.o}) + T_a$$

$$T_{p.c.1} = (797/1000)^{1.6} * (80 + 30) + 30$$

$$T_{p.c.1} = 0.696 * 110 + 30$$

$$T_{p.c.1} = 106.5\text{-C}$$

De la tabla # 3.2 tenemos que para $T_{p.c.} = 106.5$ tenemos un porcentaje de vida esperada de 10000.

Segundo Método:

Considerando todos los factores que son posible considerar.

La Figura # 3.4 que está a continuación muestra la gráfica del ciclo de carga y la curva de la temperatura más elevada, mostrando la relación que existe entre estos dos factores:

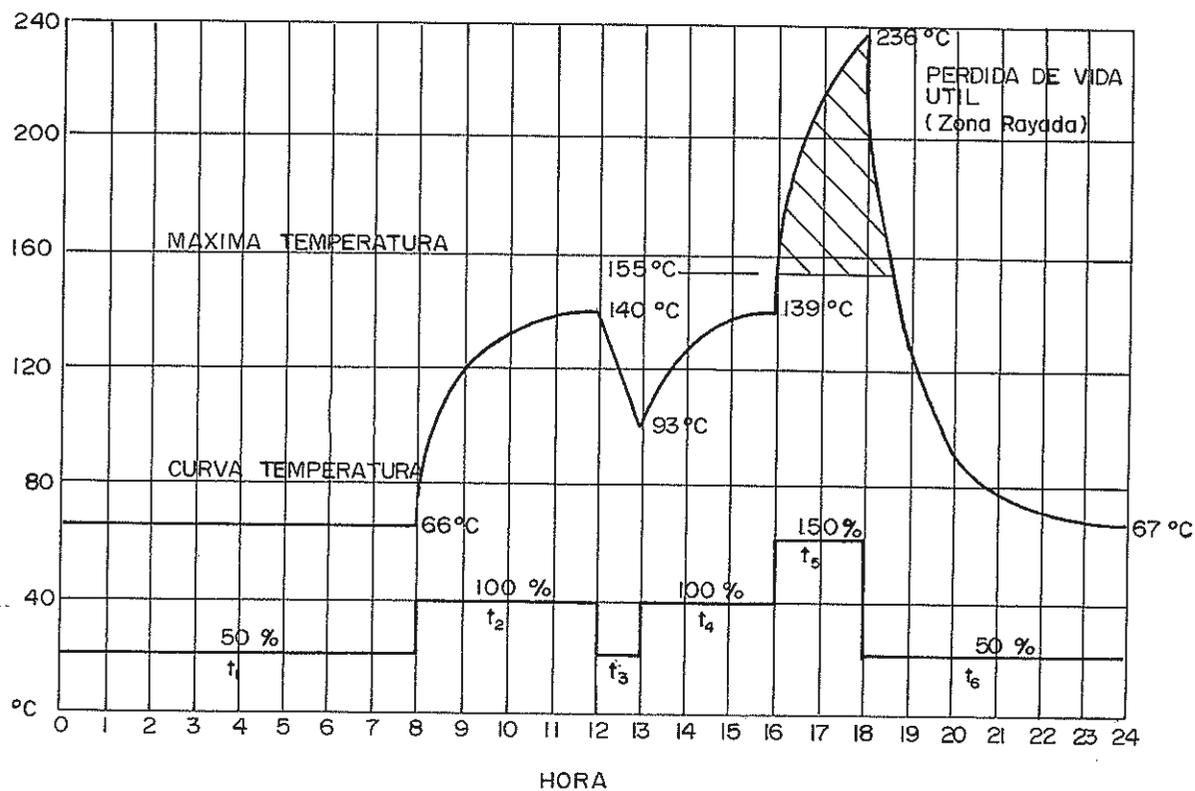


FIGURA # 3.4

RELACION ENTRE CICLO DE CARGA Y CURVAS DE TEMPERATURA

La ecuación que fue desarrollada para encontrar las curvas de la temperatura más elevada es:

$$T_{p.c.} = \frac{(T_{p.o.} + G T_{p.c.o.}) (L_1/L_2)^{1.6} \{ \ln [T_1/T_w(L_1/L_0)]^{-1} \}^{-0.4} + T_s}{\ln [T_1/T_w(L_1/L_0)]^{-1} \{ \ln [T_1/T_w(L_1/L_0)]^{-0.4} \} + T_a} \quad (3-7)$$

donde:

$T_{p.c.}$ = Temperatura más elevada (-C)

$T_{p.o.}$ = Dato de placa de la temperatura pico en el devanado (-C)

$G T_{p.c.o.}$ = Gradiente en el punto más caliente según diseño (-C)

- L1 = Carga actual (KVA)
Lo = Dato de placa ($^{\circ}$ C)
T1 = Duración de la primera carga (L1) en minutos
Tw = Constante de tiempo de los devanados
Para transformador tipo seco entre 45 y 47
Ts = Temperatura pico de arranque
($T_p + GT_p.c.$) ($^{\circ}$ C)
Ta = Temperatura ambiente ($^{\circ}$ C)

De la figura # 3.3 y de la tabla # 3.2 se puede obtener la siguiente tabla:

TABLA #3.3

VIDA ESPERADA SEGUN RELACION ENTRE FIGURA # 3.3 Y TABLA # 3.2

Ciclo	Promedio de Temperatura ($^{\circ}$ C)	Correspondiente % de vida esperada	Tiempo de duración (horas)
L1/T1	66	10000	8
L2/T2	103	10000	4
L3/T3	117	10000	1
L4/T4	116	10000	3
L5/T5	188	2.34	2
L6/T6	152	150	6

Para obtener la vida esperada resultante tenemos la siguiente ecuación:

$$Pr = \frac{T1 + T2 + T3 + T4 + T5}{\frac{T1}{P1} + \frac{T2}{P2} + \frac{T3}{P3} + \frac{T4}{P4} + \frac{T5}{P5}} \quad (3-8)$$

donde:

Pr = Vida esperada resultante

T1 = Tiempo de duración de la carga # 1 (L1) en horas

P1 = Vida esperada para Tp.c.1 (el promedio de temperatura más elevado para la carga # 1) %

$$Pr = \frac{8 + 4 + 1 + 3 + 2 + 6}{\frac{8}{10000} + \frac{4}{10000} + \frac{1}{10000} + \frac{3}{10000} + \frac{2}{2.34} + \frac{6}{150}}$$

$$Pr = \frac{24}{0.8963}$$

Pr = 26.78 % VIDA ESPERADA

La diferencia entre los dos métodos para calcular la vida esperada es notable, mientras con el primero se obtuvo 10000% con el segundo se obtuvo 26.78%.

Cortos períodos de sobrecarga son permitidos y estos períodos dependen de los períodos de baja carga que ha tenido el transformador.

Otros factores que ayudan a la carga es la temperatura ambiente, la misma que ayuda al enfriamiento del transformador, lograndose cargar con mayor o menor facilidad al transformador.

La siguiente ecuación nos ayuda a encontrar la carga correcta de acuerdo a la temperatura ambiente actual.

$$L1 = [T_{po} + G T_{p.c.o} - (T_{a1} - T_{ao}) / T_{po} + G T_{p.c.o}]^{1/1.6} * L_o \quad (3-9)$$

donde:

L1 = Correcta carga (KVA) basada en la temperatura ambiente actual

Ta1 = Temperatura ambiente actual (°C)

Tao = Temperatura ambiente en condiciones normales (30°C)

Lo = Dato de placa (KVA)

Ejemplo #3: Considere un transformador de 1000 KVA operando en el dia con una temperatura ambiente de 50°C. Calcular la carga correcta.

Usando la ecuación # 3-9 se obtiene:

$$L1 = [80 + 30 - (50 - 30) / 80 + 30]^{1/1.6} * 1000$$

$$L1 = (90 / 110)^{1/1.6} * 1000$$

$$L1 = 882 \text{ KVA}$$

La carga se reduce a una temperatura de 50°C.

Ejemplo #4: El mismo caso anterior pero considere una temperatura ambiente de 20°C.

$$L1 = [80 + 30 - (20 - 30)]^{1/1.6} * 1000$$

$$L1 = (120 / 110)^{1/1.6} * 1000$$

$$L1 = 1056 \text{ KVA}$$

La carga aumenta a 1056 KVA con una temperatura ambiente de 20°C.

Otro aspecto a tomar en cuenta en la carga y sobrecarga es la altitud, ya que los transformadores están diseñados para trabajar sin problemas hasta 3300 pies sobre el nivel del mar. Por cada 330 pies que se eleve sobre los 3300 pies, los KVA se reducen de la siguiente manera:

- 1) Los transformadores tipo seco autoenfriado se reduce un 0.3% la capacidad (KVA).
- 2) Los transformadores tipo seco enfriado por aire forzado se reduce en un 0.6% la capacidad (KVA).

Ejemplo #5: Considere un transformador tipo seco de 1000 KVA autoenfriado que trabaja a 6000 pies

sobre el nivel del mar. Calcular en cuanto se ha reducido los KVA.

$$6000 - 3300 = 2700 \text{ pies}$$

$$2700 / 330 = 8.18$$

$$8.18 * 0.3 = 2.45\% \text{ Reducción en KVA}$$

$$1.0 - 0.0245 = 0.975 \text{ Factor de corrección}$$

$$0.975 * 1000 \text{ KVA} = 975 \text{ KVA}$$

La altitud tambien afecta el nivel básico de impulso (BIL) de la siguiente manera:

TABLA # 3.4

FACTOR DE CORRECCION DEL BIL DEBIDO A LA ALTITUD

Altitud (pies)	Factor de Corrección
3300	1.0
4000	0.98
5000	0.95
6000	0.92
7000	0.89
8000	0.86
9000	0.83
10000	0.80
12000	0.75
14000	0.70
15000	0.67

3.2.- Regulación de voltaje mediante el uso de transformadores tipo seco.

Muchas de los países comerciales poseen gran cantidad de edificios de apartamentos con locales comerciales y oficinas en los niveles inferiores, centros comerciales o edificios con distintas secciones y niveles constituyen prácticamente ciudades dentro de la ciudad, debido al consumo de carga que estas tienen.

Debido a que estas construcciones constituyen centros de carga muy grandes, es aconsejable para poder tener una buena regulación de voltaje poseer cuartos o subestaciones cada tres pisos. No es raro usar en este tipo de construcciones un primer alimentador en el sótano por ejemplo para los elevadores. Con una adecuada maniobra de los sistemas de control en cada subestación es ideal para protección de este tipo de equipo. Este tipo de subestaciones sirven para desconectar y restaurar el servicio en caso de una falla en cualquiera de los conductores. Además con este tipo de subestaciones se logra balancear mejor la carga, porque se logra distribuir mejor la carga a todos los niveles y secciones.

En este tipo de construcciones no es nada raro encontrar cargas con alto voltaje, para lo cual

es necesario disponer de subestaciones de transformadores al interior de las edificaciones, esto es posible lograrlo mediante el uso de transformadores tipo seco, porque debido a sus características pueden ser usados en el interior sin que esto signifique aumentar las medidas de seguridad y mantenimiento, a diferencia de otro tipo de transformador como son los sumergidos en aceite que por su alto grado a la combustión hace que sea imposible usarlo en subestaciones de edificios de apartamentos de elevados números de pisos en los que tener este tipo de subestaciones es una necesidad.

Otra de las ventajas que presenta el poseer este tipo de subestaciones es la flexibilidad en cuanto al diseño, puesto que se tiene una mejor distribución de la carga y una protección más rápida puesto que la distancia que existe entre la carga y los circuitos de protección son pequeñas.

El uso de los transformadores tipo seco completamente sellado los mismos que permiten tener los cables de alta tensión al interior del gabinete, esto permite que en las subestaciones se posea un seccionador para interrumpir determinada carga sin necesidad de desconectar la alimentación primaria o de alta tensión lo que producirá una interrupción en toda la carga.

Por estas razones la existencia de subestaciones en este tipo de construcciones es necesaria para lograr una regulación de voltaje más eficiente, siendo esto posible gracias al uso de transformadores tipo seco.

3.3.- Pérdidas que se producen en los transformadores tipo seco.

El análisis de las pérdidas hoy en día cobra una singular importancia debido al elevado costo que tienen las tarifas de consumo eléctrico.

Para el estudio de las pérdidas que se producen en los transformadores tipo seco, tenemos que empezar analizando la relación temperatura-pérdidas. Así tenemos que para poder bajar la temperatura pico que soportan los devanados del transformador debemos aumentar el tamaño del conductor, de esta manera se está aumentando el área de disipación de calor, entonces para un mismo valor de corriente un aislamiento clase H-80°C sufre un calentamiento menor que un aislamiento clase H-115°C, debido a que el tamaño del conductor que usa el aislamiento clase H-80°C es mayor, teniendo el conductor mayor tamaño logramos una disminución en la corriente de tal

forma que las pérdidas en el cobre ($P=I^2 * R$) se ven disminuidas, esta disminución en la corriente se debe a que la resistencia del conductor se ha incrementado, por lo tanto, se concluye que ha menor temperatura las pérdidas son menores.

Adicionalmente es posible seguir disminuyendo la temperatura sin aumentar el tamaño del conductor mediante el uso de sistemas de enfriamiento.

La tabla #3.5 que está a continuación muestra los valores típicos de pérdidas en los transformadores tipo seco en un rango de 30 a 1000 KVA.

TABLA # 3.5

VALORES TÍPICOS DE PERDIDAS EN LOS TRANSFORMADORES TIPO SECO

Rango KVA	% Pérdidas aproximadas en el núcleo			% Pérdidas aproximadas en el conductor			% Total pérdidas aproximadas		
	150	115	80	150	115	80	150	115	80
30-225	0.50	0.75	0.80	3.0	1.9	1.7	3.50	2.60	2.40
300-500	0.40	0.50	0.50	2.2	1.8	1.4	2.65	2.30	2.12
700-1000	0.30	0.32	0.34	2.1	1.8	1.4	2.50	1.90	1.74

Estos valores son para unidades trifásicas, 60 Hz., 600 Volt., asumiendo operación a plena carga.

Las pérdidas en el núcleo que se mencionan es considerando que el transformador está energizado las 24 horas del día. Este tipo de pérdidas no depende de las variaciones de carga, sino que dependen del voltaje aplicado.

Se nota que las pérdidas en el núcleo en el transformador que tiene como temperatura pico 150°C es un poco menor a las pérdidas que tienen las unidades de 80 y 115°C como temperatura pico y esto se explica porque el tamaño del conductor es menor, por tanto el núcleo requerido es menor en comparación a los otros dos tipos de transformadores.

Para comparar las pérdidas de los distintos tipos de transformadores es esencial que la pérdida en el conductor sea calculada usando como referencia 20°C sobre la temperatura de operación a plena carga, este valor es el que indica las normas ANSI.

Las pérdidas del conductor varían al cuadrado de la corriente de carga. Así por ejemplo al 75% de carga las pérdidas del conductor son el $9/16$ de las pérdidas a plena carga.

En la siguiente tabla se muestra un análisis de los costos iniciales y los costos por pérdidas de algunas unidades.

Esta tabla está elaborada asumiendo que las unidades trabajan las 24 horas del día a plena carga.

La tabla # 3.6 está desarrollada para un tiempo de 10 años y como el precio de las unidades están en dolares usamos una tarifa de 5 centavos por kilovatio-hora, (las unidades que se comparan son fabricadas por la misma empresa y sus precios son sacados de reportes técnicos).

TABLA # 3.6

ANALISIS DE COSTO DE TRANSFORMADORES TIPO SECO

KVA	COSTO INIC. 150°C US \$	COSTO INIC. 115°C US \$	INCREMENT. SOBRE LA UNIDAD 150°C US \$	AHORRO POR COSTO PERDIDA US \$	COSTO INIC. 80°C US \$	INCREMENT. SOBRE LA UNIDAD 150°C US \$	AHORRO POR COSTO PERDIDA US \$
30	702	968	266	1116.80	1027	325	1314
45	922	1290	368	1673.10	1380	458	1971
75	1273	2017	744	2790.00	2081	808	3285
112.5	1711	2546	835	4170.00	2677	966	4927
150	2106	3026	920	5584.50	3248	1142	6570
225	3045	3825	780	8374.50	4035	990	9855
300	3598	4766	1168	3942.00	4988	1390	9198
500	6011	7882	1871	6570.00	8250	2239	15330
750	10770	11847	1077	19710.00	12924	2154	21681
1000	14513	15964	1451	26280.00	17415	2902	28908

Así tenemos que para 10 años el ahorro que se tiene por concepto de pérdidas en una unidad de 30 KVA-115°C es de US \$ 1116.80 comparado con la

unidad de 30 KVA-150°C y el ahorro es de US \$ 1314 si la comparamos con la unidad de 30 KVA-80°C.

En este caso vemos que para 10 años y las condiciones de trabajo mencionadas, se justificada la compra de las unidades de 115°C y 80°C por el ahorro por pérdidas que se logra, en este caso en particular es mayor el ahorro que el costo de la unidad.

Si las unidades no trabajan las 24 horas a plena carga, sino que trabajan 10 horas a plena carga y 14 horas a media carga, la forma de calcular las pérdidas sería la siguiente:

Tomando como ejemplo la unidad de 30 KVA. y usando los valores de la tabla # 3.5 tenemos:

Si las pérdidas en el núcleo no depende de la carga, entonces tendremos:

$$150^{\circ}\text{C}: 30 * \frac{0.5}{100} = 0.15 \text{ Kw.}$$

$$115^{\circ}\text{C}: 30 * \frac{0.75}{100} = 0.225 \text{ Kw.}$$

$$80^{\circ}\text{C}: 30 * \frac{0.80}{100} = 0.24 \text{ Kw.}$$

Las pérdidas en el conductor serán:

$$150^{\circ}\text{C}: 30 * \frac{3.0}{100} * (1)^2 = 0.9 \text{ Kw. Durante 10 H.}$$

$$30 * \frac{3.0}{100} * (1/2)^2 = 0.225 \text{ Kw. Durante 14 H.}$$

$$115^{\circ}\text{C}: 30 * \frac{1.9}{100} * (1)^2 = 0.57 \text{ Kw. Durante 10 H.}$$

$$30 * \frac{1.9}{100} * (1/2)^2 = 0.1425 \text{ Kw. Durante 14 H.}$$

$$80^{\circ}\text{C}: 30 * \frac{1.7}{100} * (1)^2 = 0.51 \text{ Kw. Durante 10 H.}$$
$$30 * \frac{1.7}{100} * (1/2)^2 = 0.1275 \text{ Kw. Durante 14 H.}$$

Los kilovatios-horas seran:

$$150^{\circ}\text{C}: 0.15(24) + 0.9(10) + 0.225(14) = 15.75 \text{ KWH}$$

$$115^{\circ}\text{C}: 0.225(24) + 0.57(10) + 0.1425(14) = 13.095 \text{ KWH}$$

$$80^{\circ}\text{C}: 0.24(24) + 0.51(10) + 0.1275(14) = 12.645 \text{ KWH}$$

3.4.- Vida útil de los transformadores tipo seco.

La vida útil de un transformador debe ser analizada desde 2 puntos de vista: el aspecto técnico y el aspecto económico.

Esto debe ser analizado así, ya que por diseño se ha visto que se puede obtener unidades que tengan vida útil de 2.3 años hasta 294.4 años (ver tabla # 2.2), si bien es cierto mientras más años dure una unidad su valor inicial es más elevado (ver tabla # 3.6), sin embargo, se puede establecer que este costo se justifica sólo si vemos que el ahorro por pérdidas como se detalla en la tabla # 3.7 justifica su costo.

TABLA # 3.7

COSTO DEBIDO A PERDIDAS EN EL CONDUCTOR DURANTE LA VIDA
UTIL EN TRANSFORMADORES CLASE H-150 VS. H-80

CLASE	% CARGA	HORAS	* PERDIDAS CONDUCTOR KW.	* RELACION PERDIDA	*COSTO=	COSTO DE PERDIDAS DURANTE VIDA UTIL
H-150	100	25000	12	1	0.015	4500.00
	75	212800	12	9/16	0.015	21546.00
	50	25000	12	1/4	0.015	1125.00
		262800 (30 años)				27171.00
H-80	100	25000	9.3	1	0.015	3487.36
	75	212800	9.3	9/16	0.015	16697.48
	50	25000	9.3	1/4	0.015	871.84
		262800 (30 años)				21056.68

En este análisis no se toma en cuenta los costos de instalación porque no son significativos en relación al costo de la unidad, además esta tabla está desarrollado con tarifas fijas y sin tomar en cuenta tasas de interes y es porque lo que se persigue es justificar el costo inicial, el mismo que se ve plenamente justificado por el ahorro que se obtiene, otro costo que no se ha tomado en cuenta en este análisis son los costos de mantenimiento, porque este por lo general son cantidades fijas o dependen de la política de

mantenimiento.

En esta tabla se comparan dos tipos de unidades con aislamiento clase H, una con 80°C de temperatura pico y la otra unidad con aislamiento clase H y 150°C de temperatura pico, ambas con un funcionamiento de 30 años, con dato de placa de 750 KVA - 4160 VOLT.

Las diferencias que se ven en esta tabla son en primer lugar las pérdidas en el conductor y esto es debido a la diferencia de tamaño del mismo.

La operación para estas unidades es la siguiente:

25000 Horas a plena carga

212800 Horas a 3/4 de carga

25000 Horas a 1/2 de carga

la relación de pérdida varía con el cuadrado de la corriente de carga.

Entonces si el costo inicial para la unidad clase H-150°C es de US \$6069 y para la unidad clase H-80°C es de US \$6979, esto indica que inicialmente se tiene un ahorro de 910 dolares con una unidad clase H-150°C, pero los resultados de la tabla # 3.7 indican que el ahorro por pérdidas en 30 años con una tarifa fija es de US \$6114.32 que equivalen a un ahorro de US \$203.81 por año. Con tarifas variables y tomando en cuenta intereses la unidad clase H-80°C es prácticamente recuperable en 6 años.

La vida útil de los transformadores puede ser mejorada con sistemas de enfriamiento, los mismos que permiten un aumento de potencia de alrededor de un 40%, si bien es cierto se incrementa el costo de la unidad, esto se ve justificado por el aumento en la vida útil y en la capacidad de sobrecarga.

Según la potencia nominal del transformador deben preverse dos o tres ventiladores de flujo transversal en cada lado del transformador.

La figura # 3.5 que esta a continuación muestra el flujo de aire al interior del transformador.

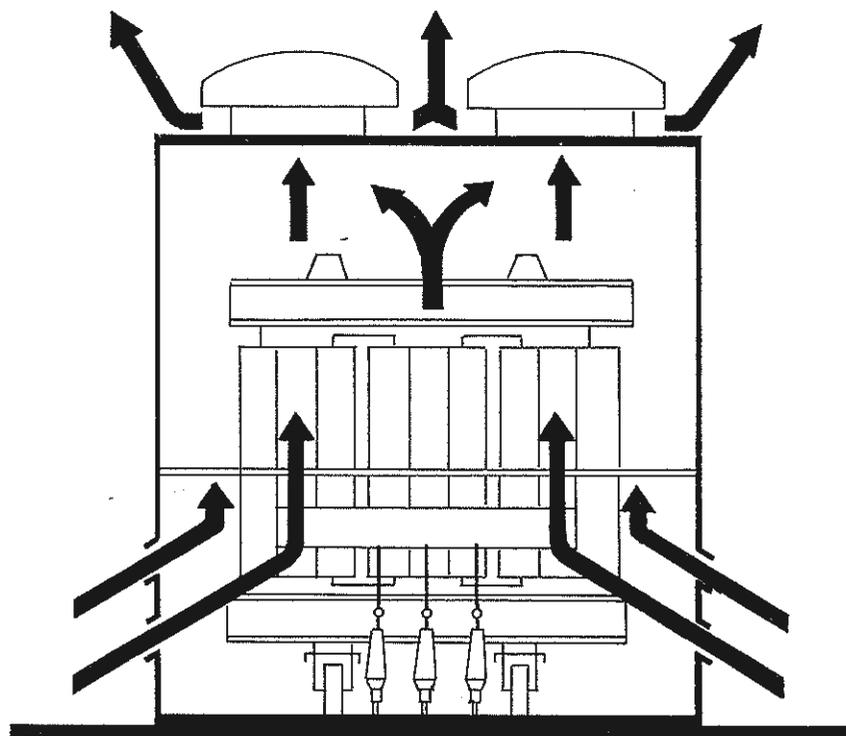


FIGURA # 3.5

FLUJO DE AIRE AL INTERIOR DEL TRANSFORMADOR

Este tipo de transformador se usan para subestaciones de centro de carga en edificios. Mediante el empleo de ventiladores se puede absorber picos de carga o ponerse a disposición reservas de potencia.

Estos ventiladores reciben una señal de un equipo que sensa el aumento de temperatura y envia la señal para que actúen los ventiladores.

Los sensores de temperatura se encuentran incorporados en los arrollamientos de baja tensión del transformador.

La figura # 3.6 indica un esquema del funcionamiento de la unidad de comando.

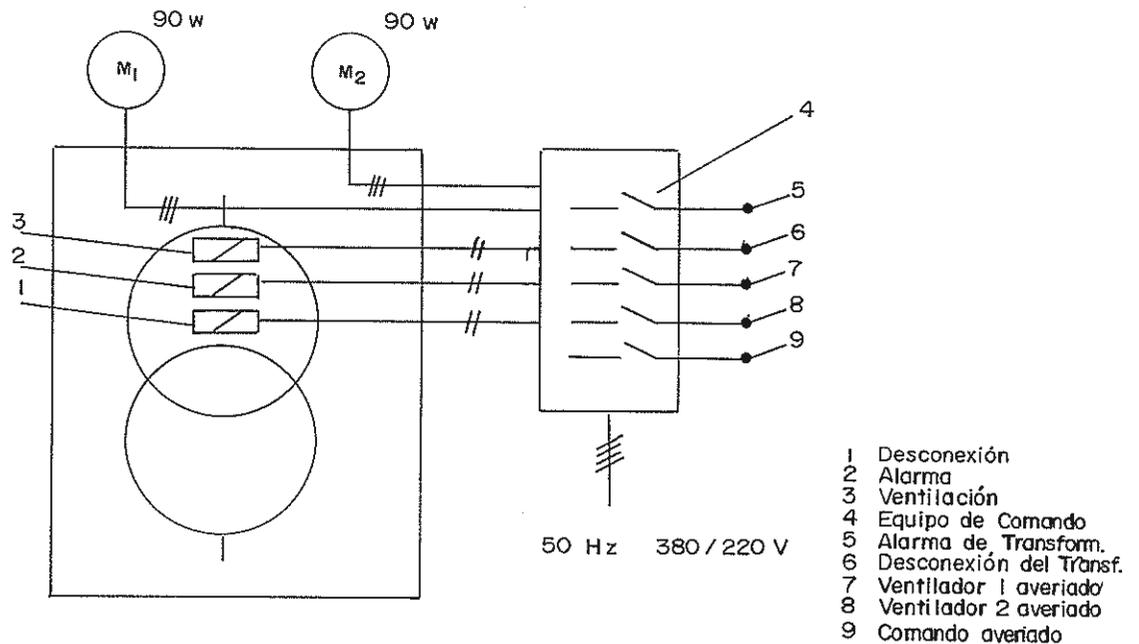


FIGURA # 3.6

FUNCIONAMIENTO DE LA UNIDAD DE COMANDO

CAPITULO # 4

SELECCION, INSTALACION, OPERACION Y MANTENIMIENTO DE LOS TRANSFORMADORES TIPO SECO

4.1.- Selección de los transformadores tipo seco.

La selección del transformador tipo seco se debe en gran parte a la versatilidad que este presenta, lo que permite que pueda ser instalado y operado sin mayor complicación para cualquier tipo de sistema ya sean estos de tipo industrial, comercial o residencial.

Este transformador puede ser seleccionado para trabajar en los distintos medios ambientes sin importar su clima o geografía, puesto que puede funcionar sin problema en aquellas zonas donde se tiene variaciones de clima y temperatura bien definidas como por ejemplo en los países europeos en los que el uso de este tipo transformador es cada vez más frecuente.

El transformador tipo seco es protegido convenientemente con gabinetes los mismos que son contruidos para ser usados a la interperie o en interiores, este tipo de transformador ocupa un espacio reducido y no presenta ningún tipo de riesgo ya que es prácticamente no inflamable y

sus conexiones y partes vivas no están al alcance de personas no autorizadas, con esto se logra ahorrar medidas de seguridad que son costosas, por estas razones la selección de este transformador es la más adecuada cuando por crecimiento de la carga el aumento o instalación de transformadores es necesaria, puesto que se puede instalar en cualquier espacio libre ya sea a la interperie o al interior, lograndose de esta manera acelerar el tiempo de instalación para poder cubrir así la demanda.

4.1.1.- Análisis técnico de la selección.

La gran acogida que han tenido los transformadores tipo seco se debe en gran parte a la eficiencia de los mismos y porque mejoran considerablemente la eficiencia de los sistemas eléctricos debido a que estos poseen la característica de poder ser instalados junto a los centros de carga, lograndose de esta manera evitar caídas de voltaje que se originan al tener longitudes de conductor demasiado grandes, de esta manera también se reduce los costos por concepto de cable.

El transformador tipo seco mejora la

eficiencia de los sistemas eléctricos porque puede ser usado para mejorar la regulación del sistema, ya que debido a que es prácticamente no inflamable permite ser instalado en cualquier lugar donde se requiera mejorar la distribución de la carga, lograndose de esta manera un correcto balanceo de la carga.

El transformador tipo seco tiene la característica de ocupar un espacio reducido, lo que permite que este transformador pueda ser instalado en lugares que por sus características de construcción no permite construir cuarto o subestaciones especialmente diseñadas para la instalación de transformadores, lograndose así una flexibilidad en el sistema.

Para justificar la afirmación de que el transformador tipo seco ocupa un espacio reducido se hace el siguiente análisis:

Según el reglamento de EMELEC para aprobación de proyectos eléctricos en el artículo 6.2.1, en lo que hace referencia al área requerida para cuarto de transformadores tenemos:

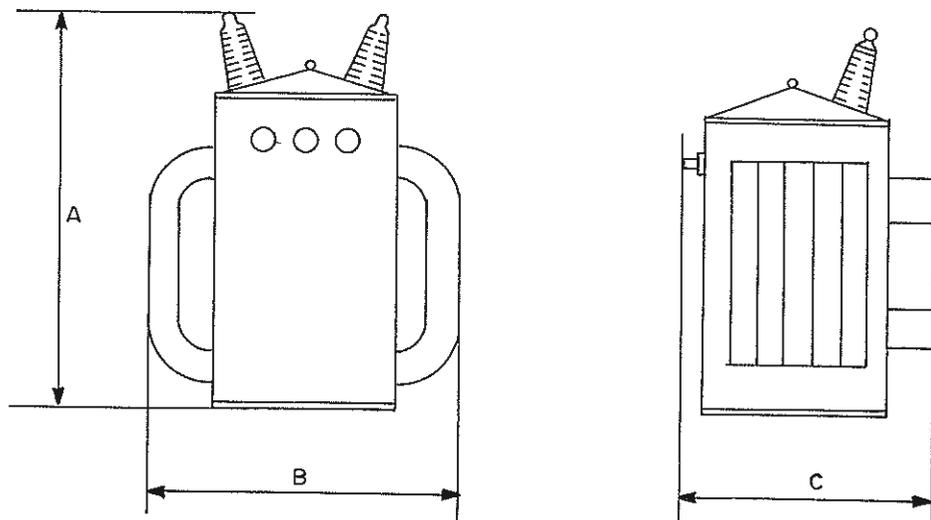
Selección de una cámara para transformadores que esté ubicada preferentemente en la planta baja del edificio o en la mezzanine, con fácil acceso desde la vía pública, provista de ventilación suficiente. Su puerta de acceso será metálica, por lo menos de 1x2 metros, con rejillas de ventilación y de abatimiento exterior.

Las dimensiones mínimas de la cámara, si se considera la instalación de un sólo transformador monofásico hasta 75 KVA., serán de 2x2.5 metros y una altura de 2.5 metros y si se tratare de la instalación de un banco de transformadores para una potencia combinada de hasta 150 KVA., la superficie libre será de 7.5 metros cuadrados (3x2.5 m²). Si el banco de transformadores es hasta de 300 KVA., las dimensiones mínimas serán de 4x3 m., y si el banco es de mayor capacidad, o cuando sea necesario crear un centro de distribución o instalar equipos de compensación de reactivos, será la Empresa la que determinará el área necesaria, previendo futuras

ampliaciones.

Entonces si se tiene que instalar un transformador que va a servir una carga tipo comercial monofásica cuya demanda es de 154 KVA. (7200/12470 Y / 120/240) tendremos:

a) si se selecciona un transformador sumergido en aceite de 167 KVA. de capacidad (7200/12470 Y / 120/240), las dimensiones de este transformador serán tal como se muestra en la figura #4.1.

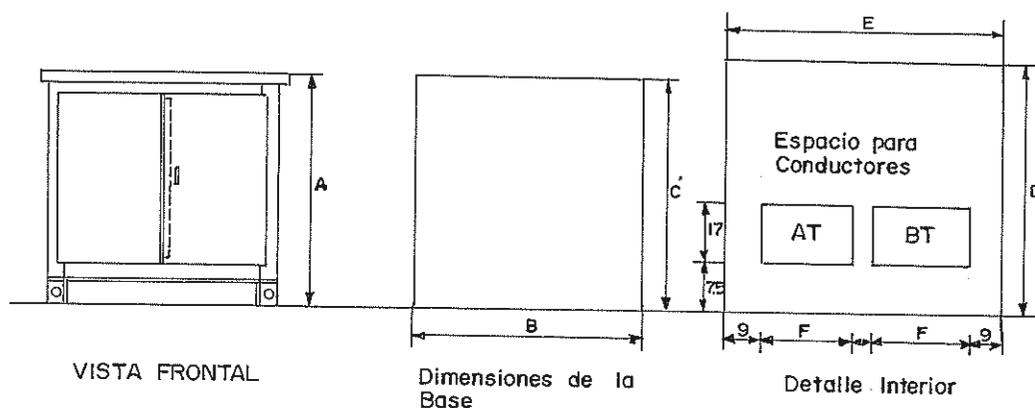


A = 51" = 1.30 m.
B = 39" = 0.99 m.
C = 35" = 0.89 m.

FIGURA # 4.1

DIMENSIONES DE UN TRANSFORMADOR SUMERGIDO EN ACEITE

c) para un transformador tipo seco las dimensiones para un transformador de 167 KVA. de capacidad (7200/12470 Y / 120/240) será como se muestra en la figura # 4.2.



A = 68" = 1.73 m.
B = 40" = 1.02 m.
C = 36" = 0.91 m.

FIGURA # 4.2

DIMENSIONES DE UN TRANSFORMADOR TIPO SECO

Ambos transformadores cumplen las normas de EMELEC, sin embargo los transformadores tipo seco presentan la ventaja de que el espaciamiento para las conecciones de alta y baja tensión ya

está considerado, lo que no sucede con los transformadores sumergidos en aceite que necesitan de un espaciamiento adicional para las conecciones, ocupando de esta manera mayor espacio, además por mayor seguridad se usa parrillas para llevar el cable de alta y baja tensión hacia los bushing correspondientes, como se muestra en las figuras # 4.1 y # 4.2 las dimensiones del transformador sumergido en aceite resultan ser menores, pero el espacio que ocupan una vez instalados para su operación son considerablemente mayores, mas aún si consideramos que los transformadores sumergidos en aceite necesitan de seguridades adicionales como son el uso de bandejas por posible derrame de aceite y el uso de mallas para evitar el acceso a los terminales de alta y baja tensión a personas no autorizadas.

En los transformadores tipo seco se evita el uso de bandejas por no poseer líquido aislante y se evita también el uso de mallas ya que como son tipo gabinete sólo hay acceso a los terminales de alta y baja tensión

abriendo las correspondientes puertas, ya que existe una puerta para alta tensión y una para baja tensión, las mismas que sólo pueden ser abiertas por personas autorizadas. Por esto es que se afirma que los transformadores tipo seco ocupan menos espacio, y ofrecen mayores seguridades ya que estando encerrado las tomas de alta y baja tensión es difícil de tener accidentes por contacto.

El transformador tipo seco durante su operación se ve sujeto a condiciones anormales de servicio. Estas condiciones no implican una modificación en el diseño.

Los problemas más usuales que se presentan son los siguientes:

- Contaminación atmosférica.- Presencia de polvos químicos, polvos metálicos, humedad, vapores, aire salino, etc.
- Vibraciones anormales.- Como las producidas por las maquinarias de una planta industrial, o las que se producen debido a un tráfico pesado intenso.
- Cambios de temperaturas.- Esto sucede con mayor frecuencia en los países

Europeos o en Norteamérica en donde los cambios de clima traen como consecuencia un cambio de temperatura bien pronunciado.

- Limitación de espacio.- Este punto es crítico en aquellas plantas u otras edificaciones que por su desarrollo se ven obligadas a expandirse, teniendo que aprovechar al máximo los espacios que se tienen, ya que una expansión trae como consecuencia un aumento en la demanda y por consiguiente un aumento de la capacidad del transformador y por lo tanto un aumento en su tamaño.

Para la selección de cualquier tipo de transformador se requiere de la siguiente información:

- Voltaje Primario y conexión.
- Voltaje Secundario y conexión.
- Número de Tomas.
- Capacidad (KVA).
- Frecuencia.
- Nivel de Sonido.
- Nivel Básico de Impulso (BIL).

Pero adicionalmente para los transformadores tipo seco es necesario determinar lo siguiente:

- Temperatura pico que puede soportar el aislamiento, por lo general está disponible para los siguientes valores de temperatura: 80°C, 115°C, 150°C.

- Montaje, es decir, si va a ser instalado a la interperie o en cuartos de transformadores (interiores), para que se suministre con el gabinete apropiado.

4.1.2.- Análisis económico de la selección.

Los costos de la unidad se los puede dividir en costos iniciales y costos de operación, ya que los costos de mantenimiento son más variables ya que dependen de la política de mantenimiento de los propietarios o empresas de servicio público, que por lo general asignan cantidades fijas para el mantenimiento.

Costos Iniciales.- el costo inicial de un transformador depende en primer termino de la correcta elección de los KVA. La selección de los KVA. tiene singular importancia por dos razones: Primero, si los KVA. que se seleccionan

son mayores que los KVA. que se necesitan, esto obviamente hace que el precio de la unidad aumente innecesariamente. Lo más adecuado para la selección de los KVA. es recopilar los datos de carga anteriores, también debe incluirse los casos críticos de carga para calcular un margen de seguridad. Este método de evaluación de la demanda de carga sirve para optimizar la selección de los KVA. Una selección de KVA. mayor que la obtenida por este método se justifica sólo en el caso que se prevea una futura expansión a corto o mediano plazo.

La segunda razón para optimizar la selección de los KVA. es debido a las pérdidas, esto es, si los KVA. se incrementan también las pérdidas del núcleo se van a incrementar.

Las pérdidas del núcleo son constantes y no dependen de la carga. Por ejemplo cuando se seleccionó un transformador de 1500 KVA., siendo un transformador de 1000 KVA. suficiente para cubrir la demanda, se pudo establecer mediante mediciones que las pérdidas se

incrementaban aproximadamente a 1.5 kw.
Si la unidad es energizada continuamente, teniendo una vida esperada de 20 años, con un costo de 6 centavos/KWH, el costo adicional que se va a tener por este aumento de pérdidas será:

$$1.5\text{Kw} * \frac{8760 \text{ H}_a}{\text{año}} * 0.6 \text{ KWH} * 20 \text{ años} = \text{US } \$15768$$

Siempre que se compra una unidad de mayor capacidad se originan costos adicionales como son cambio de conductor, cambio de protecciones, y otras que dependen del tipo de transformador. Si bien es cierto los costos adicionales son comunes en un buen porcentaje para cualquiera que sea la unidad, no se debe dejar de mencionar porque en muchos casos y dependiendo de la capacidad adicional el valor que alcanzan estos costos son considerables.

Este análisis es válido para cualquier tipo de transformador, incluyendo al transformador tipo seco y por esta razón debe ser considerado en el análisis de

costo.

Para unidades tipo seco estos costos adicionales son solo debido a cambios de protecciones y de calibre de conductor, ya que por sus características de tener las conexiones de alta y baja tensión al interior del gabinete las seguridades existentes no tienen porque ser cambiadas, presentando así un ahorro si se compara con otros tipos de transformadores.

La siguiente ecuación puede ser usada para calcular el nivel de eficiencia de la carga y es usada cuando se conocen las pérdidas del núcleo y las pérdidas en el conductor:

$$L1 = \sqrt{Ln/L11} * Lo \quad (4-1)$$

donde:

L1 = Máxima eficiencia de la carga (KVA).

Ln = Pérdidas del núcleo (Kw).

L11 = Pérdidas en el conductor (Kw).

Lo = Dato de Placa (KVA).

Por ejemplo si se tiene un transformador de 1000 KVA. con pérdidas de núcleo de 2.9 Kw. y pérdidas en el conductor de 11.3 Kw. La máxima eficiencia será:

$$L1 = \sqrt{2.9/11.3} * 1000$$
$$L1 = 506.59 \text{ KVA.}$$

Esto indica que en el transformador del ejemplo se tiene una mayor eficiencia cuando opera a 506.59 KVA. Si esto fuera constante, es decir, una carga continua de 506.59 KVA., entonces la eficiencia del transformador será la mayor. Estos casos de carga continua no se da mayormente en la práctica, esto sirve como un indicador del tiempo en que se va a tener una buena eficiencia.

La manera más común de obtener el precio inicial de cualquier tipo de unidad es mediante la solicitud de cotización, la misma que consiste en pedir a los distribuidores o fabricantes que recomienden que tipo de transformador se debe instalar en base a características que se proporcionan como son carga instalada, niveles de voltaje (primario

y secundario), tipo de operación, medio ambiente en el que va a funcionar, en algunos casos se suele incluir el tipo de unidad que se desea por ejemplo unidad tipo seco, sumergidos en aceite, Askarel, etc., cuando se incluye esta información se sobre entiende que ya se ha verificado las condiciones bajo las cuales va a operar la unidad y las instalaciones adicionales que se puedan requerir dependiendo de la unidad por que se está pidiendo cotización.

Otro costo inicial es el costo por transporte, ya que la mayoría de los transformadores tienen pesos del orden de miles de libras, esto hace que el uso de camiones y gruas sea necesario.

Los costos de instalación forman parte de los costos iniciales y varían grandemente dependiendo del tipo de transformador.

Así por ejemplo, un transformador sumergido en aceite para uso interior requiere de instalaciones especiales como son bandejas para recoger el aceite

en caso de que se derramara, medidas contra incendios más costosas deben ser instaladas, cuarto de transformadores especiales son diseñados para este tipo de transformadores, a diferencia de los transformadores tipo seco los mismos que no necesitan mayores medidas de seguridad.

Costos de Operación.- los costos de operación tienen una importancia igual a la que tienen los costos iniciales. Para analizar los costos de operación se debe analizar principalmente los costos debido a las pérdidas y esto se debe a que el costo de la energía se incrementan considerablemente.

Las pérdidas básicamente están formadas por dos tipos:

La primera es la pérdida que se produce en el núcleo, estas pérdidas son generalmente consideradas como las de mayor importancia. Estas primeramente dependen del tiempo en que esté energizado la unidad, no dependen de la variación de la carga, es decir, no

dependen del trabajo que se hace.

Las segundas pérdidas en importancia son aquellas que dependen de la carga, es decir, del ciclo de trabajo que se tiene.

Las pérdidas que dependen de la carga son las pérdidas de Joule o pérdidas en el conductor, que son en muchos casos tan grandes como las pérdidas del núcleo.

Las pérdidas en el conductor varían con el cuadrado del cambio de la carga, esto es, si un transformador que tiene 10 Kw. de pérdida a plena carga, al 50% de plena carga tendrá un 25% de las pérdidas a plena carga.

$$LL_1 = (L_1/L_0)^2 * LLo \quad (4-2)$$

donde:

LL_1 = Pérdida en la carga #1 (Kw).

L_0 = Carga #1 (KVA).

L_1 = Dato de Placa (KVA).

LL_0 = Pérdida a plena carga (Kw).

Por ejemplo en un transformador de 1000

KVA. opera a 500 KVA., con una pérdida a plena carga de 10 Kw. Cuando opera a 500 KVA. la pérdida que se tiene será la siguiente:

$$LL1 = (500 / 1000)^2 * 10$$

$$LL1 = 2.5 \text{ Kw.}$$

Si a este mismo transformador mediante aire forzado trabaja a 1333 KVA., las pérdidas que se tienen serán:

$$LL1 = (1333 / 1000)^2 * 10$$

$$LL1 = 17.769 \text{ Kw.}$$

Del ejemplo anterior se deduce que un aumento del 33.3% en la capacidad de carga del transformador mediante aire forzado produce un aumento del 77.69% en las pérdidas. Con lo que se puede concluir que no es más económico seleccionar una unidad de menor capacidad (KVA.) para que con aire forzado se logre aumentar la capacidad, ya que el costo originado por las pérdidas es mayor al ahorro inicial que se pueda tener, cosa contraria ocurre cuando se selecciona correctamente la

unidad y con el correr de los años el crecimiento de la demanda obliga a aumentar la capacidad de la unidad existente, en este caso si se justifica aumentar la capacidad mediante sistemas de enfriamiento adicionales, esto se debe a que originalmente existió una correcta selección, la misma que si generó ahorro por pérdidas.

El siguiente análisis es válido para cualquier tipo de unidad y por su importancia no dejarse de mencionar, este análisis de costo considera la inflación, tasas de interes, incrementos en los costos de energía.

Estos análisis son hechos para evaluar las ventajas de cambiar la unidad o las ventajas en pagar una unidad al contado o a credito.

A continuación se da una forma de evaluar los costos de los transformadores.

EVALUACION

Costos Iniciales:

1. Precio de la Unidad	Período de Amortización	
\$-----	+ -----	= \$-----
2. Costo de Transporte	Período de Amortización	
\$-----	+ -----	= \$-----
3. Costo de Instalación	Período de Amortización	
\$-----	+ -----	= \$-----
COSTO DE AMORTIZACION ANUAL TOTAL: SUMA 1+2+3		= \$-----

Costos de Operación:

4. Pérdidas Núcleo	$\frac{\text{Horas}}{\text{Año}}$	$\frac{\text{Costo}}{\text{Energía}}$	KWH.	
-----	* 8760	* \$-----	=	\$-----
5. Pérdidas Conductor	$\left(\frac{\text{Carga Actual Dato Placa}}{\text{Placa}} \right)^2$	$\frac{\text{Horas}}{\text{Año}}$	$\frac{\text{Costo}}{\text{Energía}}$	KWH.
5a-----	*-----	* 8760*	=	\$-----
5b-----	*-----	* 8760*	=	\$-----
5c-----	*-----	* 8760*	=	\$-----
SUBTOTAL : SUMA 5a+5b+5c=				\$-----
6. Costo Anual del Mantenimiento				= \$-----
COSTO TOTAL ANUAL DE OPERACION: SUMA 4+5+6				= \$-----

4.2.- Instalación de los Transformadores Tipo Seco.

Para la instalación de los transformadores tipo seco se debe en primer lugar revisar las condiciones que presenta el terreno, como son por ejemplo la facilidad de acceso, el grado de ventilación y condiciones atmosféricas en general.

Los transformadores tipo seco ventilados que se los construye para el uso interior, debe trabajar en locales secos, pero esto no indica que no puedan trabajar satisfactoriamente en locales en que la humedad se hace presente por periodos cortos. En este tipo de transformadores debe evitarse el goteo de agua hacia el transformador.

Si existe esta filtración se debe proveer al transformador de protecciones adicionales.

Es deseable que este tipo de transformador posea una ventilación adecuada que ayude al enfriamiento del mismo. Es recomendable para reducir el mantenimiento filtrar el aire de tal forma que le llegue un aire seco y limpio. Es recomendable tener una medición de temperatura en los cuartos de transformadores ya que para este tipo de transformador es necesario tener un

mínimo de 100 pies cúbicos de aire por kilovatio de pérdida en los transformadores (de acuerdo a las normas).

El área de la abertura para la ventilación de los transformadores depende de las dimensiones y ventilación del cuarto de transformadores y de la carga máxima que va a tener el transformador.

Para transformadores autoenfriados estas dimensiones se reducen.

Los transformadores superiores a los 75 KVA. deben estar instalados en un mínimo de 12 pulgadas de separación de las paredes u otras obstrucciones que no permitan la libre circulación del aire a través y alrededor de la unidad. La distancia entre transformadores adyacentes no debe ser menor a este valor.

Transformadores menores a 75 KVA. pueden ser instalados juntos a la pared, pero es recomendable mantener la distancia de separación entre el transformador y la pared (12 pulgadas). Esta separación mínima es establecida por el Código Eléctrico.

Para estos tipos de transformadores no es necesario un tratamiento especial del piso debido a que la base de estos transformadores está

construïda de manera que se evite el tratamiento especial del piso.

Protecci3n adicional en el fondo puede ser instalado en casos especiales para evitar el ingreso al transformador de objetos extraños o animales pequeños (roedores), tal como se muestra en la siguiente figura.

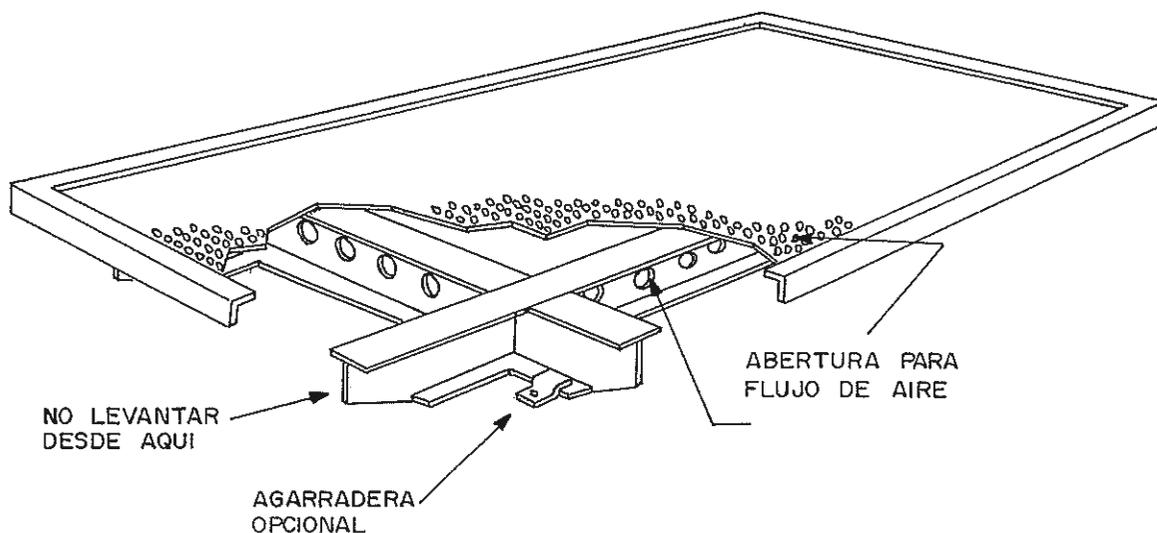


FIGURA # 4.3

TIPO DE PROTECCION EN LA PARTE INFERIOR DE LOS TRANSFORMADORES TIPO SECO

Los transformadores son diseñaados para operar hasta una altura de 3300 pies sin que se produzca ning3n tipo de variaci3n.

Los transformadores tipo seco dependen del aire para la disipación de calor y consecuentemente si se produce una disminución en la densidad del aire debido a altitudes elevadas incrementandose entonces la temperatura pico del transformador.

La temperatura del aire de enfriamiento es reducida debajo de los niveles del diseño como se indica en la siguiente tabla.

TABLA # 4.1

TEMPERATURA PROMEDIO DEL AIRE DE ENFRIAMIENTO (°C)

TIPO DE UNIDAD	ALTITUD			
	3300 Pies (1000 mt)	6600 Pies (2000 mt)	9900 Pies (3000 mt)	13200 Pies (4000 mt)
TIPO SECO CLASE AA				
80°C pico	30	26	22	18
115°C pico	30	24	18	12
150°C pico	30	22	15	7
TIPO SECO CLASE AA/FA				
80°C pico	30	22	14	6
115°C pico	30	18	7	-5
150°C pico	30	15	0	-15

Otro tipo de instalación es aquella en la cual los transformadores se los usa en subestaciones

que se encuentran en el exterior.

En este tipo de subestaciones se construyen unos drenajes artificiales de concreto, ya que si no se especifica los transformadores son suministrados sin un plato en el fondo, si estas unidades son instaladas en posiciones elevadas con el fondo expuesto, el plato a prueba de interperie que es instalado en el fondo, además de servir de drenaje, sirve para evitar el acceso al mismo de objetos extraños.

Los transformadores tipo seco totalmente encerrados y sin ventilación proveen un alto grado de protección contra polvo, lluvia y nieve.

Los gabinetes son diseñados de manera que previenen que el agua entre hacia las partes activas del transformador o se los construye de tal manera que si existe el ingreso de agua, ésta será desviada de las partes activas, aislamiento, devanados del transformador. Los transformadores totalmente encerrados y sin ventilación tienen previsto el ingreso de para varillas de prueba de un diametro según las normas ANSI y NEMA de 0.125 pulgadas, estas varillas de prueba sirven para inspeccionar el estado del gabinete en cualquier parte del mismo. La inspección consiste

en realizar un orificio con la varilla para chequear el grado de oxidación del gabinete.

En instalaciones exteriores se usa también transformadores tipo seco con gabinetes de protección con aberturas para ventilación, los mismos que poseen iguales características que los transformadores tipo seco totalmente encerrados.

Para este tipo de transformador las normas ANSI y NEMA recomiendan que las varillas de prueba tengan un diámetro no mayor a 0.500 pulgadas, la prueba que se realiza es similar a la de los transformadores tipo seco totalmente encerrados y sin ventilación.

Todos estos gabinetes son diseñados de tal forma que sólo personas autorizadas puedan tener acceso a las partes activas del transformador. En algunos casos se posee dos puertas, una para bajo voltaje y otra para alto voltaje, y sólo se puede tener acceso a la puerta de alto voltaje sólo después de haber abierto la puerta de bajo voltaje, esto permite que sólo personal calificado ingrese o abra la puerta de alto voltaje.

Este tipo de transformador no están expuestos al

público, se los suele instalar en las azoteas.

Sólo en casos en los que el acceso de público sea en gran cantidad como es el caso de centros comerciales, escuelas, hospitales, requieren de seguridades adicionales.

Cuando este tipo de transformador se ve expuesto a fuertes vientos, por lo general son protegidos colocandoles en las esquinas unos rompevientos, asegurandose así que no se filtre al interior del gabinete partículas de polvo o agua.

Las distancias que da el Código Eléctrico para transformadores instalados en interiores es válido para estos tipos de transformadores que se instalan en exteriores.

4.3.- Operación de los Transformadores Tipo Seco.

Después de la instalación del transformador, el voltaje de salida del transformador debe ser chequeado para seguridad cuando se va a dar ingreso a la carga, esto se debe hacer para evitar que debido a una mala conexión se alimente a la carga con niveles de voltaje que pueden ser perjudiciales para los equipos que

están conectados al sistema, este punto se vuelve crítico cuando los equipos que están conectados al sistema son equipos electrónicos a los cuales pequeñas variaciones de voltaje pueda causar daños costosos. Cuando la conexión del secundario del transformador está en DELTA puesta a tierra se debe tener mucha precaución ya que en este tipo de conexión se da origen a una línea de fuerza, la misma que no puede ser usada para servir cargas monofásicas ya que causan daños a los equipos debido a que tienen un nivel de voltaje mucho mayor al voltaje normal de operación.

Nunca debe intentarse tomar lecturas de voltaje de salida en el transformador, ya que se pueden presentar peligrosos altos voltajes en el interior del transformador. Además es mejor tomar lecturas al pie de la carga porque así se toma en cuenta la caída de voltaje en el conductor.

Cuando se tiene lectura de voltaje y esta debe ser ajustada por sobre o debajo del valor tomado, se debe entonces ajustar el porcentaje de la toma, esto se realiza en la superficie de las bobinas mediante un alambre de cierre (puentes),

el porcentaje de la toma debe ser ajustado en todas las fases, tal como se indica en la figura # 4.4.

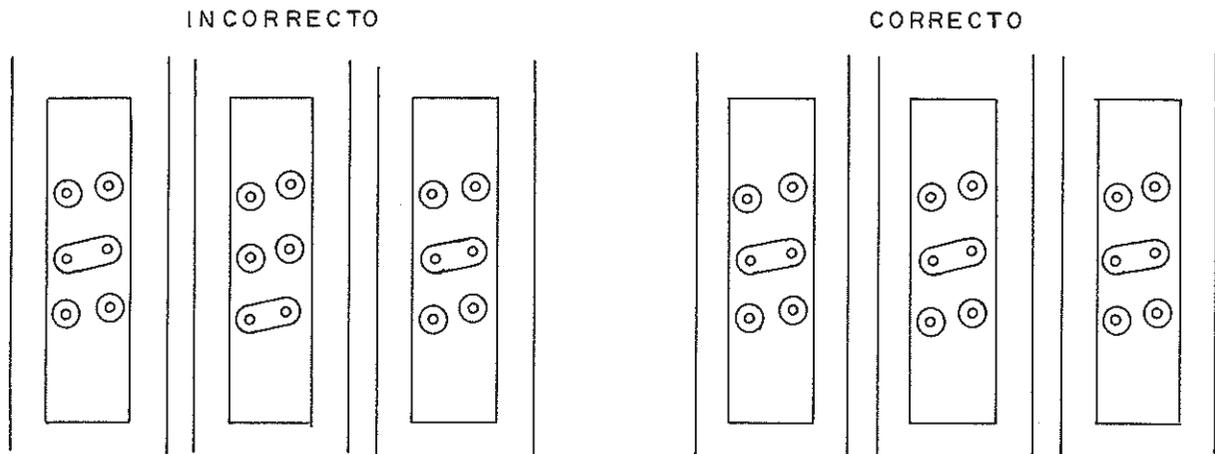
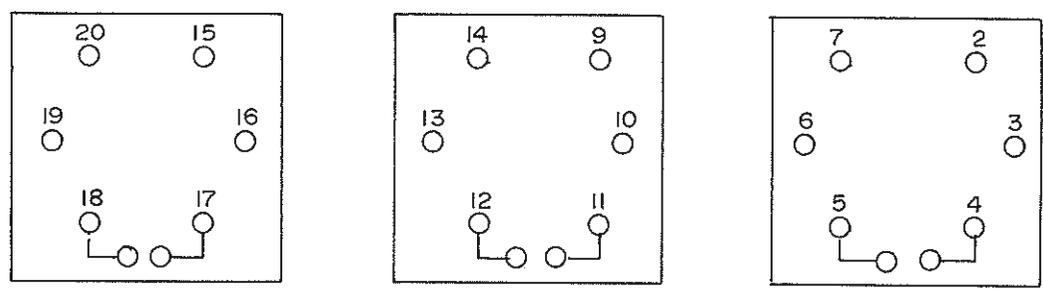
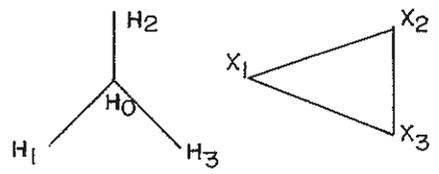
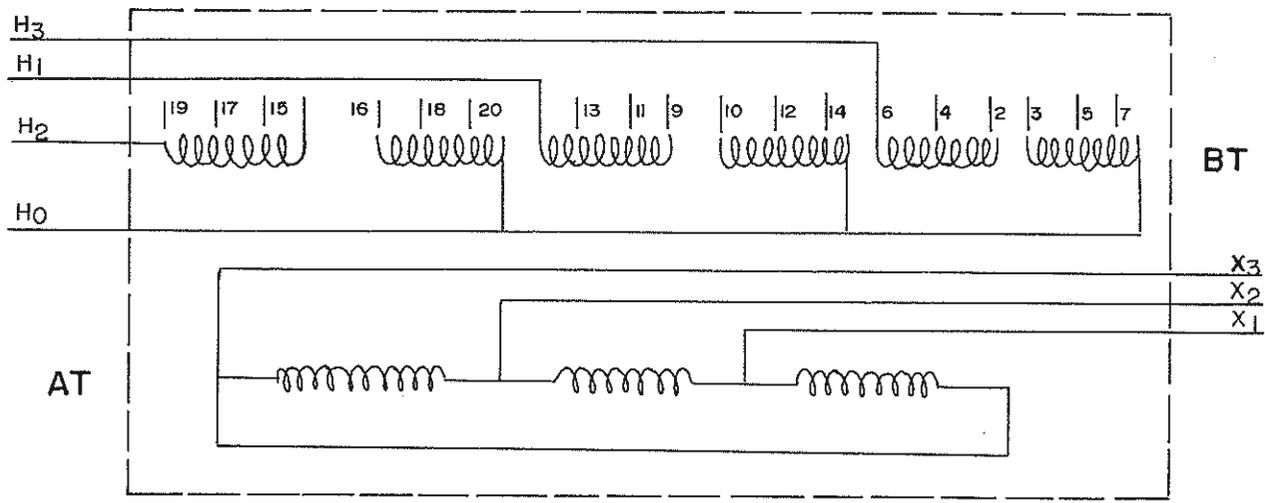


FIGURA # 4.4

AJUSTE DE LAS TOMAS EN TODAS LAS FASES

Antes de hacer un cambio en las tomas debe consultarse el diagrama del transformador (dato de placa), para subir o bajar correctamente la toma. Un dato de placa de conexiones es como el que se indica a continuación.



3333 KVA 13860Y / 8000 VOLTIOS 139 AMPERIOS
 CONECCION 2-3 9-10 15-16

FIGURA # 4.5

DATO DE PLACA DE CONECCIONES DEL TRANSFORMADOR

Quando el voltaje en la carga es bajo se debe subir la toma del transformador y cuando el voltaje de la carga es alto debe bajarse la toma.

El procedimiento a seguirse para hacer el cambio de tomas es el siguiente:

- a) Desenergizar el transformador.
- b) Remover los paneles o puertas de acceso del transformador.
- c) Cambiar la toma en cada fase. La toma debe ser la misma en las tres fases.
- d) El alambre de cierre del tap debe estar sujeto con pernos y correctamente apretados.
- e) Cierre las puertas o paneles de acceso del transformador.
- f) Energizar el transformador y chequear el voltaje de salida.

Cuando el transformador tipo seco permanece energizado por largo tiempo los efectos de la humedad carecen de importancia, pero si el transformador a permanecido desenergizado y a una temperatura ambiente baja, en este caso debe tenerse en cuenta los posibles efectos de la humedad.

Si el periodo en que el transformador permanece sin operar es de baja humedad, entonces no se requiere de precauciones especiales antes de energizar la unidad.

La práctica indica que si el tiempo en que el transformador permanece parado excede las 24 horas y si ocurre durante periodo de alta

humedad, particularmente si las condiciones atmosféricas son tales que causan una condensación, debe entonces tomarse en cuenta precauciones antes de energizar la unidad.

Pequeñas fuentes de calor deben ser colocadas en el fondo de la unidad después del periodo de para, manteniéndose así la temperatura de la unidad unos pocos grados sobre la temperatura del aire exterior. Si tal precaución no es llevada a cabo, debe entonces inspeccionarse el transformador para saber el grado de humedad, chequeándose además la resistencia del aislamiento. Si se prueba que la humedad es evidente y si la resistencia es baja, el transformador debe ser secado.

4.4.- Mantenimiento de los Transformadores Tipo Seco.

Al igual que otros equipos eléctricos, los transformadores también requieren de mantenimiento cada cierto tiempo para poder asegurar una correcta operación y mantener la vida esperada.

La inspección en los transformadores debe ser hecha en intervalos regulares y dar medidas correctivas y preventivas cuando estas sean

necesarias para obtener un servicio satisfactorio.

La frecuencia con la cual los transformadores deben ser inspeccionados dependen de las condiciones de operación y del medio ambiente en el que está operando la unidad, es decir, para zonas secas una inspección anual o después de largos períodos de operación es suficiente. Sin embargo en otras zonas húmedas o donde existe aire contaminado con polvo o vapores químicos, una inspección cada tres o seis meses es necesaria.

Toda inspección debe hacerse con el transformador desenergizado para poder remover los paneles o puertas del gabinete. La inspección se hace por el polvo que se acumula en la superficie del aislamiento, lo que tiende a restringir el flujo de aire, para revisar que las conexiones no estén flojas, para revisar las tomas del transformador, los terminales y en general para revisar la condición del transformador. Observaciones son hechas por signos de recalentamiento y desviaciones de voltaje en la superficie del aislamiento que dejan como evidencia una huella de carbonización.

Si existe señales de hollín, corrosión y deterioramiento en las partes del transformador debe ser revisado y medidas correctivas deben ser tomadas de inmediato.

Las acciones correctivas a tomar durante el mantenimiento son como a continuación se detallan.

Limpieza.- Se produce cuando durante la inspección normal se encuentran acumulación excesiva de polvo en los devanados del transformador. El polvo debe ser removido para que permita la libre circulación del aire y para proteger el transformador contra la posibilidad de un deterioro del aislamiento. Se tiene que realizar una limpieza en la parte superior e inferior de los devanados y en los ductos de ventilación.

Los devanados deben ser limpiados con un limpiador en vacío, un ventilador o un compresor de aire. El uso de un limpiador en vacío es preferible como primer paso en la limpieza, luego debe usarse un compresor de aire o nitrógeno. El compresor de aire o el nitrógeno pueden limpiar y secar, su aplicación es con una presión relativamente baja (no mayor de 25 psi.).

Lo siguiente es limpiar los intercambiadores de las tomas, los terminales de las barras, bushing y otras superficies de mayor aislamiento, las mismas que se limpian con cepillo o frotando con un trapo seco. El uso de líquidos limpiadores no es deseable porque en algunos casos tienen sustancias con efecto disolventes que en muchos casos deterioran el material aislante.

Secado del núcleo y de las bobinas.- Este procedimiento es necesario cuando el transformador a estado sin funcionar bajo condiciones de humedad relativamente altas.

Los métodos que se pueden usar para el secado son:

- 1) Calor Externo.
- 2) Calor Interno.
- 3) Calor Externo e Interno.

Antes de usar estos métodos es aconsejable librar de humedad a los devanados mediante ventilador o con telas secas para reducir con esto el tiempo de secado de los devanados.

1) Secado por Calor Externo.- El calor externo puede ser aplicado por cualquiera de los siguientes métodos.

- a) Por aire caliente directamente en el fondo, aire de entrada al transformador.
- b) Colocando en el núcleo y en las bobinas un compartimento no inflamable con aberturas en la parte superior e inferior. El aire caliente es inyectado en cualquiera de los extremos, el mismo que va a circular a través del compartimento, para luego salir por el extremo en el que no se inyecta aire.

El aire caliente que se inyecta es producto de calentadores y forzado para que circule a través del compartimento mediante ventiladores.

- c) Colocando en el núcleo y en las bobinas un adecuado calentador.
- d) Colocando lámparas incandescentes en el transformador.

Lámparas de 150 w. para transformadores por debajo de 750 KVA.

Lámparas de 300 w. para transformadores por sobre los 750 KVA.

Dos lámparas son colocadas bajo cada bobina y una en cada lado del núcleo.

Las lámparas deben mantenerse de 4 a 6 pulgadas de las bobinas del transformador para evitar el contacto con el aislamiento.

Es importante que la mayor cantidad de aire caliente de los ventiladores pase a través de los ductos y no alrededor de los lados. Una buena ventilación es esencial para que se lleve a efecto una condensación al interior del transformador. Una cantidad suficiente de aire debe usarse para tener aproximadamente una temperatura igual dentro y fuera del transformador.

Cuando se usa cualquiera de los dos primeros métodos de calor externo, el calor puede ser obtenido mediante el uso de reostatos o calentadores. Estos pueden ser colocados en el interior de cajas o ubicados fuera siendo el calor soplado al interior desde el fondo. El núcleo y las bobinas son cuidadosamente protegidas contra radiación directa.

Se recomienda que la temperatura del aire no exceda los 110°C .

2) Secado por Calor Interno.- Este método es relativamente lento y sólo se aplica si es que no es posible aplicar otro método de secado.

En este método se permite la libre circulación de aire a través de las bobinas, desde el fondo y desde la parte superior. Una bobina se

cortocircuita y con voltaje suficiente y frecuencia normal aplicada a la otra bobina para que circule aproximadamente la corriente de plena carga.

Es recomendable que la temperatura de las bobinas no exceda los 100°C , esta temperatura es medida a través de la resistencia o por termómetros colocados en los ductos entre las bobinas.

El termómetro usado debe ser de alcohol, porque los termómetros de mercurio pueden dar lecturas equivocadas como resultado de las corrientes de eddy que se inducen. Al final de los terminales de las bobinas (no en las tomas) deben ser usados en orden para que la corriente circule a través de todas las bobinas.

Una protección adicional se debe tener para proteger al operador de voltajes peligrosos.

3) Secado por Calor Externo e Interno.- Esta es la combinación de los dos métodos anteriores previamente descritos y es el método más rápido.

Al núcleo y los devanados se les aplica calor externo como se indica en el primer método y se hace circular corriente a través de las bobinas como en el segundo método. La corriente

requerida es considerablemente menor en este caso si se lo compara con el método en el que sólo se usa calor interno, sin embargo de ser la corriente menor esta produce la temperatura deseada en las bobinas.

Debe también en este caso controlarse la temperatura para que no exceda los valores aconsejables.

Uso de la resistencia del aislamiento para determinar el tiempo de secado.- El tiempo de secado depende de la condición del transformador, tamaño, voltaje, cantidad de humedad absorbida y el método de secado usado.

La medición de la resistencia del aislamiento es un valor que sirve para determinar el estado del secado. La medición debe ser tomada antes de que empiece el proceso de secado y en intervalos de cada dos horas durante el secado.

El valor inicial es tomado a temperaturas ordinarias y debe ser un valor elevado aún cuando el aislamiento varía inversamente con la temperatura, la temperatura del transformador debe mantenerse aproximadamente constante durante el período de secado para obtener lecturas comparativas. Como el transformador esta siendo calentado, la presencia de la humedad debe ser

evidente por la rápida caída de la lectura de la resistencia. Luego de este período la resistencia del aislamiento se incrementa gradualmente, cerca del final del período de secado, este incremento se acelera rápidamente.

Cuando el período está por terminar se produce un pico, esto quiere decir que la resistencia está en aumento y después empieza a disminuir, esto ocurre porque la resistencia se está estabilizando y debido a que la humedad en el interior está desapareciendo.

El período de secado está completado cuando la resistencia permanece constante por tres o cuatro horas.

Durante los procesos de secado es recomendable un constante chequeo, además es necesario tener un extinguidor en caso de que se produzca incendio.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- 1.- Se ha dado a conocer las propiedades de este transformador, las mismas que hacen posible que el uso de este tipo de transformador sea necesario para evitar o disminuir las costosas instalaciones de seguridad.
- 2.- Se ha demostrado que con este transformador los costos y períodos de mantenimiento son reducidos, y su uso en lugares de difícil acceso es en muchos casos imprescindible.
- 3.- Debido a las características que posee su material aislante, hace posible el uso de este transformador en lugares en donde las condiciones climáticas y atmosféricas son un tanto críticas, es decir, existencia de temperaturas variables y extremas, y medio ambiente que están contaminados por la presencia de un gran número de industrias.
- 4.- Al tener la propiedad de estar cerca de los centros de carga, hace posible que los costos debido al cable de los sistemas de baja tensión son reducidos

a un valor mínimo, y se evita además la caída de voltaje producto de tener largos conductores desde los cuartos de transformadores hasta los centros de carga, problema que si se presenta cuando el tipo de transformador no puede estar cerca de los centros de carga.

RECOMENDACIONES:

- 1.- El uso de este tipo de transformador debe ser fomentado en este país para mejorar las seguridades y rendimientos de los procesos productivos, ya que la falta de información ayuda a que el uso de este transformador no este de acuerdo con el sin número de aplicaciones que tiene.
- 2.- Para ayudar a fomentar el uso de este tipo de transformador debe existir más control en el uso de otros tipos de transformadores, para que de esta manera no sea posible usar transformadores que presentan riesgos de incendio, al menos en zonas donde un incendio puede causar daños de consideración.
- 3.- Se debe dar una mayor información de este transformador y aclararse el concepto que se tiene de este transformador, ya que en muchos casos se

cree que tienen un costo muy elevado, pero a lo largo de esta tesis se aclara que si el costo inicial es mayor, esto se ve plenamente justificado por el ahorro en costos de instalación, operación y mantenimiento.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Jerome M. Frank, Watch out for energy losses in transformers, Electrical Construction and Maintenance, Mc. Graw-Hill, August 1975.
- 2.- Jerome M. Frank, Understanding Transformer Insulation, Electrical Construction and Maintenance, Mc. Graw-Hill, April 1970.
- 3.- Dry Type Transformers for General Applications, NEMA Pub. # ST20-1972.
- 4.- Commercial, Institutional and Industrial Dry Type Transformers, NEMA TR27-1974.
- 5.- Guide for Loading Dry Type Distribution and Power Transformers, ANSI C57.96.
- 6.- National Electrical Code, NFPA # 70, ANSI C1-1978.
- 7.- Westinghouse Electrical Corp., Electrical Transmission and Distribution, Reference Book (Coral Springs, Florida, Westinghouse Electric Corporation, 1979).

- 8.- Square-D-Company, Power Cast Non Liquid Cast Resin Power Transformers, Power Systems Engineering Data, Volume 1 Number 5, April 1979.
- 9.- Square-D-Company, Guide for Loading Power Transformers, Power Systems Engineering Data, Volume 2 Number 7, August 1983.
- 10.- H. Lee and K. Neville, Handbook of Epoxy Resins, Mc. Graw-Hill, Section 2 1967.
- 11.- Square-D-Company, General Comparison of Power and Distribution Transformers, Volume 1 Number 6, April 1979.



A.F. 141960