

41126
10



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
CAMPUS ARAGÓN

“CONTROL Y PARALELAJE DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICISTA
AREA: ELÉCTRICA -ELECTRÓNICA
P R E S E N T A :
JAVIER BARBOSA ESPINOSA
RUPERTO BARBOSA ESPINOSA

ASESOR : ING. RAÚL CRUZ ARRIETA

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MEXICO

2003



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN
DIRECCIÓN

JAVIER BARBOSA ESPINOSA
PRESENTE.

En contestación a la solicitud de fecha 27 de mayo del año en curso, presentada por Ruperto Barbosa Espinosa y usted, relativa a la autorización que se les debe conceder para que el señor profesor, Ing. RAÚL CRUZ ARRIETA pueda dirigirles el trabajo de tesis denominado "CONTROL Y PARALELAJE DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, México, 2 de junio de 1961
LA DIRECTORA


ARQ. LILIA TURCOTT GONZÁLEZ



- CB
- Cp Secretaría Académica.
 - Cp Jefatura de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica.
 - Cp Asesor de Tesis.

LTG/AIR/1/a.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

B



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN
DIRECCIÓN

**RUPERTO BARBOSA ESPINOSA
PRESENTE.**

En contestación a la solicitud de fecha 27 de mayo del año en curso, presentada por Javier Barbosa Espinosa y usted, relativa a la autorización que se les debe conceder para que el señor profesor, Ing. RAUL CRUZ ARRIETA pueda dirigirse al trabajo de tesis denominado "CONTROL Y PARALELAJE DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, México, 2 de junio de 2003
LA DIRECTORA


ARQ. LILIA TURCOTT GONZÁLEZ



- C p Secretaría Académica.
C p Jefatura de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica.
C p Asesor de Tesis.

LTG/AIR/ia.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

C

Con agradecimiento a todos mis profesores y compañero de escuela desde la primaria hasta los estudios profesionales, que fueron la base de mis estudios, ya que todos los días que pase en las aulas hicieron que creciera para ser un profesionista y una persona de provecho.

Son muchos y siempre estarán en mis recuerdos de estudiante.

En especial para todas las personas que me ayudaron y apoyaron para culminar con este trabajo.

Quisiera decirles que les estoy sinceramente agradecido, por su ayuda y apoyo.

Gracias

Ruperto Barbosa Espinosa

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

D

DEDICATORIA

Primero doy gracias a Dios por permitirme terminar con un ciclo mas en mi vida. A mis padres Florenciano y Micaela que con dedicación, amor y esfuerzo me dieron la oportunidad de realizarme y que con su ejemplo lograron hacer de mi un hombre. A mis hermanos Marco Antonio, Ana Luisa, Carlos, Olga Lidia, Ana Lilia y mi hermanito que gracias a sus enseñanzas amor y ternura fueron motivándome y enseñarme a que aunque los problemas sean fuertes, ellos siempre han estado conmigo en las buenas y en las malas.

Gracias a mi esposa Ma. Ivonne y a mis hijos Xavier Maristin y Johann Lui por ser la fuerza que hay en mi para creer que todo se puede alcanzar en esta vida. Y por todo ese amor que de ellos emana para mi.

Sin olvidar a ninguno gracias a todos mis maestros que supieron sembrar la semilla del conocimiento. Y a todos los que ayudaron en la realización de este tema de tesis.

Un agradecimiento a todos mis sobrinos, primos, tíos y amigos por estar conmigo en todo este recorrido de mi vida.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

OBJETIVO

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

OBJETIVO

El objetivo de este trabajo, aparte de cumplir con el requisito de nuestra titulación; es el de dejar un antecedente académico en la ENEP ARAGON sobre el Control y Paralelaje de Transformadores de Potencia, ya que durante nuestro periodo de estudiantes pudimos darnos cuenta de la carencia del tema en nuestra escuela y otras instituciones. Y la necesidad del conocimiento del tema para las múltiples aplicaciones en el campo de trabajo.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

ÍNDICE

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ÍNDICE

	Pág.
Objetivo	<i>i</i>
Índice	<i>iv</i>
Introducción	<i>vii</i>
1.0 CONCEPTOS BÁSICOS	
1.1 Principio de operación del transformador	2
1.2 El transformador ideal	4
1.3 Potencia en un transformador ideal	7
1.4 Transformación de la impedancia	9
1.5 Circuitos equivalentes	11
1.6 Sistemas por unidad	15
1.7 Clasificación de los transformadores	17
1.8 Accesorios de los transformadores	24
2.0 CAMBIADOR DE DERIVACIONES	
2.1 Tipos de cambiadores de derivaciones	34
2.1.1 Cambiador sin carga	35
2.1.2 Cambiador con carga	36
2.2 Forma de regulación	39
2.3 Principio de operación del cambiador LTC	42
2.4 Control de operación del cambiador LTC	49

CONTROL Y PARALELAJE DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA

3.0 CONTROL Y REGULACIÓN DE VOLTAJE	
3.1 Control de transformadores de potencia	55
3.2 Control de enfriamiento	65
3.3 Diagramas de alambrado	74
3.4 Reguladores de tensión	89
3.4.1 Principio de funcionamiento	90
4.0 PARALELAJE DE TRANSFORMADORES	
4.1 Transformadores en paralelo	95
4.1.1 Conexiones estandarizadas	96
4.2 Operación en paralelo	100
4.2.1 Rotaciones de fases	101
4.3 Paralelaje de bancos de transformadores	102
CONCLUSIONES	108
BIBLIOGRAFÍA	111

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

INTRODUCCIÓN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

INTRODUCCIÓN

En nuestro país la industria eléctrica es uno de los servicios de primera necesidad, que se ha quedado un poco rezagada respecto a los cambios demográficos y sociales que estamos experimentando; dentro de este ramo. Los transformadores son una de las piezas indispensables para prestar este servicio, estos aparatos son tan caros e indispensables que algunas industrias mexicanas que se dedican a su fabricación los consideran como bienes de capita; el alto costo que estos presentan a permitido la necesidad de tratar de sacar el mayor beneficio de los mismos. Una de estas formas es el de formar bancos de transformadores, integrados por transformadores monofásicos; con esto lo solucionamos.

El problema de tener que comprar o fabricar un gran transformador, que sería demasiado costoso y pesado. Los bancos de transformadores conectados en la red de distribución, son los que mantiene los requerimientos de energía demandado por nuestros usuarios. La energía eléctrica al tratar de hacer que todos los bancos trabajen en las mismas condiciones, da origen al Control de Paralelaje; que se encuentra muy ligado al control individual de cada transformador. En el presente trabajo se pretende dar una descripción de esta forma de controlar los bancos de transformadores, basado en el principio de Maestro Seguidor. Los capítulos que se integran al desarrollo del tema los describimos de la forma siguiente:

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

CONTROL Y PARALELAJE DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA

En el **Capítulo UNO** encontraremos los principios fundamentales de un transformador, su clasificación y los tipos más comunes de transformadores de potencia; además, de una breve descripción de los principales elementos que lo forman.

Uno de los elementos que permiten obtener una gama de voltajes diferentes en el transformador, son los cambiadores de derivaciones; sobresaliendo de entre ellos, los que son capaces de realizar cambios de derivaciones sin que el transformador tenga que ser sacado de operación. En el **Capítulo DOS** pretendemos explicar como es que se diseña un transformador, para poder emplear uno de estos cambiadores.

El **Capítulo TRES** lo hemos dedicado a describir los elementos de control de un transformador de potencia, también en este capítulo se da una descripción del principio de regulación de voltaje.

En el **Capítulo CUATRO** se explica como se lleva acabo el paralelaje de bancos de transformadores, este tema lo abordaremos desde un punto de vista descriptivo y no hacia el análisis de los parámetros eléctricos que intervienen. El desarrollo de él análisis de parámetros eléctricos es muy extenso, por lo que, este trabajo tendría que crecer en volumen. Este tema por si solo pude dar pie a otro trabajo igual ha este.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

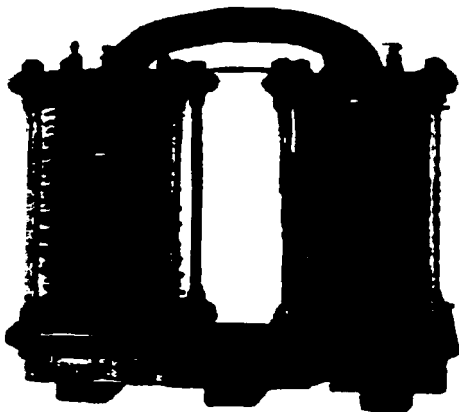
**TESIS
CON
FALLA DE
ORIGEN**

PAGINACION DISCONTINUA



CAPITULO 1

Westinghouse transformer firsts



first core-form transformer

CONCEPTOS BÁSICOS

1

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

1.1 PRINCIPIO DE OPERACIÓN DEL TRANSFORMADOR

El transformador es un dispositivo que convierte energía eléctrica de un cierto nivel de voltaje, en energía eléctrica de otro nivel de voltaje, por medio de la acción de un campo magnético. Esta constituido por dos o más bobinas de alambre o cintas de cobre, aisladas entre sí eléctricamente y arrolladas alrededor de un mismo núcleo de material ferromagnético. El arrollamiento que recibe la energía eléctrica se denomina arrollamiento de entrada, con independencia si se trata del de mayor tensión (alta tensión) o el de menor tensión (baja tensión). El arrollamiento del que se toma la energía eléctrica a la tensión transformada se denomina arrollamiento de salida. En concordancia con ello, los lados del transformador se denominan lado de entrada y lado de salida.

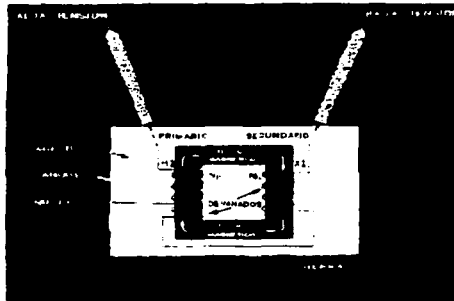


Figura 1. Transformador

CAPITULO I ANTECEDENTES HISTÓRICOS TEÓRICOS

El arrollamiento de entrada y el de salida envuelven la misma columna del núcleo de hierro. El núcleo se construye de hierro por que tiene una gran permeabilidad, o sea, conduce muy bien el flujo magnético. En un transformador, el núcleo tiene dos misiones fundamentales:

- a. Desde el punto de vista eléctrico la misión principal es la vía por que discurre el flujo magnético. A través de las partes de la culata conduce el flujo magnético siguiendo un circuito prescrito, de una columna a otra.
- b. Desde el punto de vista mecánico es el soporte de los arrollamientos que en él se apoyan.

Para generar el flujo magnético, es decir, para magnetizar el núcleo de hierro hay que gastar energía eléctrica. Dicha energía eléctrica se toma del arrollamiento de entrada. El constante cambio de magnetización del núcleo de hierro origina pérdidas. Estas pérdidas pueden minimizarse eligiendo tipos de chapa con un bajo coeficiente de pérdidas.

Además, como el campo magnético varía respecto al tiempo, en el hierro se originan tensiones que dan origen a corrientes parásitas, también llamadas de Foucault. Estas corrientes, asociadas con la resistencia óhmica del hierro, motivan pérdidas que pueden reducirse empleando chapas especialmente finas, de unos 0.3 mm de espesor, aisladas

entre sí (apiladas). En cambio, en un núcleo de hierro macizo se producirían pérdidas por corrientes parásitas excesivamente grandes que motivarían altas temperaturas. Una vez descritos los dos principales componentes, vamos a tomar conocimiento del principio de la transformación:

El flujo magnético, periódicamente variable en el tiempo, originado por la corriente que pasa a través del arrollamiento de entrada induce en el arrollamiento de salida una tensión que varía con la misma frecuencia. Su magnitud depende de la intensidad y de la frecuencia del flujo así como del número de vueltas que tenga el arrollamiento de salida, como se ve en la siguiente fórmula (**ley de la inducción**).

$$E = 4.44 * 10^{-8} * a_c * B * f * N$$

En la que a_c = sección del núcleo en pulgadas cuadradas, B = densidad máxima del flujo en líneas por pulgada cuadrada, E = tensión eficaz, f = frecuencia en Hz y N = número de espiras del devanado, o bien $10^{-9} * a_c * B * f * N$, expresando a_c y B en cm^2 .

1.2 EL TRANSFORMADOR IDEAL

Un transformador ideal es un artefacto sin pérdidas, con una bobina de entrada y una bobina de salida. Las relaciones entre los voltajes de entrada y de salida, y entre la corriente de entrada y de salida, se establece mediante dos ecuaciones sencillas.

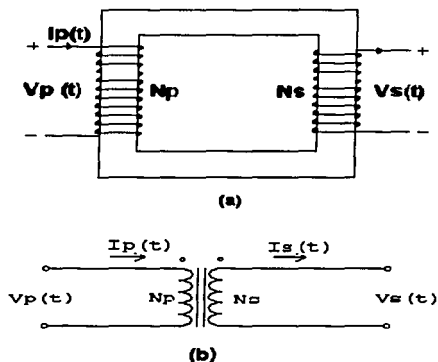


Figura 1.2.1 a) Esquema de un transformador ideal.
b) Símbolos esquemáticos de un transformador ideal.

En el transformador que se muestra en la figura 1.2.1, que representa un transformador ideal se tiene N_P espiras de alambre sobre su lado primario y N_S de espiras de alambre en su lado secundario. La relación entre el voltaje $V_P(t)$ aplicado al lado primario del transformador y el voltaje $V_S(t)$ inducido sobre su lado secundario es

$$V_P(t) / V_S(t) = N_P / N_S = a$$

En donde a se define como la relación de espiras del transformador

$$a = N_P / N_S$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO I ANTECEDENTES HISTÓRICOS TEÓRICOS

La relación entre la corriente $i_P(t)$ que fluye en el lado primario del transformador y la corriente $i_S(t)$ que fluye hacia fuera del lado secundario del transformador es

$$NP * i_P(t) = NS * i_S(t)$$

$$i_P(t) / i_S(t) = 1 / a$$

En términos de cantidades fasoriales, estas ecuaciones son

$$V_P / V_S = a$$

$$I_P / I_S = 1 / a$$

Nótese que el ángulo de la fase de V_P es el mismo que el ángulo de V_S y la fase del ángulo I_P es la misma que la fase del ángulo de I_S . La relación de espiras del transformador ideal afecta las magnitudes de los voltajes y corrientes, pero no sus ángulos. Las ecuaciones anteriores describen la relación entre las magnitudes y los ángulos de los voltajes y las corrientes sobre los lados primarios y secundarios del transformador, pero dejan una pregunta sin respuesta: dado que el voltaje del circuito primario es positivo en un extremo específico de la espira, ¿cuál sería la polaridad del voltaje del circuito secundario?. En los transformadores reales sería posible decir la polaridad secundaria, solo si el transformador estuviera abierto y sus bobinas examinadas. Para evitar esto, los transformadores usan la convección de puntos. Los puntos que aparecen en un extremo de cada bobina en la figura 1 muestran la polaridad

del voltaje y la corriente sobre el lado secundario del transformador. La relación es como sigue:

1. Si el voltaje primario es positivo en el extremo punteado de la bobina con respecto al extremo no punteado, entonces el voltaje secundario será también positivo en el extremo punteado. Las polaridades de voltaje son las mismas con respecto al punteado en cada lado del núcleo.
2. Si la corriente primaria del transformador fluye hacia dentro del extremo punteado de la bobina primaria, la corriente secundaria fluirá hacia afuera del extremo punteado de la bobina secundaria.

1.3 POTENCIA EN UN TRANSFORMADOR IDEAL

La potencia suministrada al transformador por el circuito primario se expresa por medio de la ecuación

$$P_{ent} = V_P * I_P * \cos \theta_P$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En donde θ es el ángulo entre el voltaje y la corriente secundaria. La potencia que el circuito secundario suministra a sus cargas se establece por la ecuación:

$$P_{sal} = V_S * I_S * \cos \theta$$

En donde θ es el ángulo entre el voltaje y la corriente secundarios. Puesto que los ángulos entre el voltaje y la corriente no se afectan en un transformador ideal, $\theta_p = \theta_s = \theta$. Las bobinas primaria y secundaria de un transformador ideal tienen el mismo factor de potencia.

¿Cómo se compara la potencia que va al circuito primario del transformador ideal, con la potencia que sale por el otro lado?. Es posible averiguarlo por medio de las ecuaciones de voltaje y corriente. La potencia que sale de un transformador es:

$$P_{sal} = V_S * I_S * \cos \theta$$

Aplicando las ecuaciones de relación de espiras nos resulta $V_s = V_p / a$ y $I_s = a * I_p$ así que

$$P_{sal} = (V_p/a) * a * I_p * \cos \theta$$

$$P_{sal} = V_p * I_p * \cos \theta = P_{ent}$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO I ANTECEDENTES HISTÓRICOS TEÓRICOS

De donde, la potencia de salida de un transformador ideal es igual a su potencia de entrada. La misma relación se aplica a la potencia reactiva Q y la potencia aparente S.

$$Q_{ent} = V_P * I_P * \text{sen } \theta = V_S * I_S * \text{sen } \theta = Q_{sal}$$

$$S_{ent} = V_P * I_P = V_S * I_S = S_{sal}$$

1.4 TRANSFORMACIÓN DE LA IMPEDANCIA

La impedancia de un artefacto o un elemento se define como la relación fasorial entre el voltaje y la corriente que lo atraviesan:

$$z_L = V_L / I_L$$

Una de las propiedades interesantes de un transformador es que puesto que cambia los niveles de voltaje o corriente, también cambia la relación entre el voltaje y corriente y por consiguiente, la impedancia aparente de un elemento. Para entender mejor esta idea véase la siguiente figura 1.3.1

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

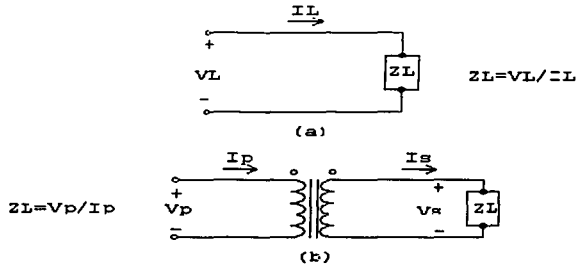


Figura 1.3.1. a) Definición de impedancia.
b) Escalamiento de la impedancia a través de un transformador.

Si la corriente secundaria se llama I_s y el voltaje secundario V_s , entonces la impedancia de la carga total se expresa por

$$Z_L = V_S / I_S$$

La impedancia aparente del circuito secundario primario del transformador es

$$Z_{\square L} = V_P / I_P$$

Como el voltaje primario se puede expresar

$$V_P = a * V_S$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Y la corriente primaria

$$IP = IS / a$$

La impedancia del primario es

$$Z \square L = VP / ZP = (a * VS) / (IS / a) = a^2 * (VS / IS)$$

$$Z \square L = a^2 * ZL$$

Con un transformador es posible acoplar la magnitud de la impedancia de la carga con la magnitud de la impedancia de la fuente escogiendo sencillamente la relación apropiada de espiras.

1.5 CIRCUITOS EQUIVALENTES

Las pérdidas que ocurren en los transformadores reales tienen que explicarse en cualquier modelo confiable de comportamiento de transformadores. los detalles principales que deben tenerse en cuenta para la construcción de tal modelo son:

1. **Pérdidas (FR) en el cobre.** Pérdidas en el cobre son pérdidas por resistencias en las bobinas primaria y secundaria del transformador. Ellas son proporcionales al cuadrado de la corriente de dichas bobinas.

CAPITULO I ANTECEDENTES HISTÓRICOS TEÓRICOS

2. **Pérdidas de corrientes parásitas.** Las pérdidas por corrientes parásitas son pérdidas por resistencia en el núcleo del transformador. Ellas son proporcionales al cuadrado del voltaje aplicado al transformador.
3. **Pérdidas por histéresis.** Las pérdidas por histéresis están asociadas con los reacomodamientos de los dominios magnéticos en el núcleo durante cada medio ciclo, tal como se explicó anteriormente. Ellos son una función compleja, no lineal, del voltaje aplicado al transformador.
4. **Flujo de dispersión.** Los flujos f_{LP} y f_{LS} que salen del núcleo y pasan solamente a través de una de las bobinas de transformador son flujos de dispersión. Estos flujos escapados producen una autoinductancia en las bobinas primaria y secundaria y los efectos de esta inductancia deben tenerse en cuenta. Circuito equivalente exacto de un transformador real.

Es posible construir un circuito equivalente que tenga en cuenta todas las imperfecciones principales de los transformadores reales. Cada imperfección principal se considera a su turno y su efecto se incluye en el modelo del transformador.

El efecto más fácil de definir en el patrón o modelo del transformador es el de pérdidas en el cobre. Las pérdidas en el cobre son pérdidas por resistencias en las bobinas primaria y secundaria del transformador.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Elas son incorporadas en el modelo, poniendo una resistencia R_P en el circuito primario del transformador y una resistencia R_S en el circuito secundario. Tal como se explicó, anteriormente, el flujo de dispersión en la bobina primaria f_{LP} , produce un voltaje e_{LP} expresado por

$$e_{LP}(t) = N_P \frac{df_{LP}}{dt}$$

y el flujo de dispersión en la bobina secundaria f_{LS} produce un voltaje e_{LS} dado por

$$e_{LS}(t) = N_S \frac{df_{LS}}{dt}$$

Puesto que gran parte del camino del flujo de dispersión es a través del aire y como el aire tiene una reluctancia constante mucho mayor que la reluctancia del núcleo, el flujo f_{LP} es directamente proporcional a la corriente del circuito primario i_P y el flujo f_{LS} es directamente proporcional a la corriente secundaria i_S :

$$f_{LP} = (PNP)i_P$$

$$f_{LS} = (PNS)i_S$$

En Donde:

P = camino de la permeancia del flujo

N_P = número de vueltas en la bobina primaria

N_S = número de vueltas en la bobina secundaria

Sustituyendo las ecuaciones, el resultado es

$$eLP (t) = NP d/dt (PNP)iP = N2PP diP/dt$$

$$eLS (t) = NS d/dt (PNS)iS = N2SP diS/dt$$

Las constantes en estas ecuaciones se pueden agrupar. Por lo tanto:

$$eLP (t) = LP diP/dt$$

$$eLS (t) = LS diS/dt$$

En donde $LP = N2PP$ es la autoinductancia de la bobina primaria y $LS = N2SP$ es la autoinductancia de la bobina secundaria. Entonces, el flujo de dispersión podrá representarse en el modelo por los inductores primario y secundario.

¿Cómo pueden definirse en el modelo los efectos de excitación del núcleo? La corriente de magnetización im. , Es una corriente proporcional (en la región no saturada) al voltaje aplicado al núcleo y que retrasa el voltaje aplicado por 90°, en tal forma que puede modelarla una reactancia XM conectada a través de la fuente de voltaje primario. La corriente de pérdidas en el núcleo ih+e es una corriente proporcional al voltaje aplicado al núcleo, que está en fase con el voltaje aplicado, de tal manera que puede modelarse por medio de una resistencia RC conectada a través de la fuente de voltaje primario. (Recordemos que estas dos corrientes son, realmente, no lineales, así que la

inductancia X_M y la resistencia R_C son, a lo sumo, aproximaciones de los efectos de excitación reales.)

En la figura 1.5.1 se muestra el circuito equivalente resultante. Nótese que los elementos que forman la rama de excitación están dentro de la resistencia primaria R_P y la inductancia primaria L_P .

Esto se da porque el voltaje efectivamente aplicado al núcleo es realmente igual al voltaje de entrada, menos la caída de tensión interna de la bobina.

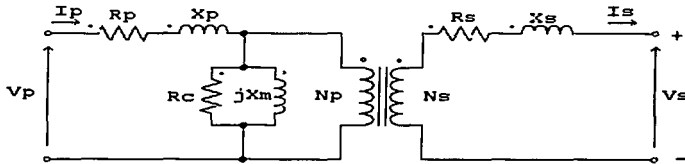


Figura 1.5.1 Circuito equivalente de un transformador

1.6. SISTEMAS POR UNIDAD

El sistema de medición por-unidad puede aplicarse tanto a los transformadores trifásicos como a los monofásicos. La base monofásica se aplica a un sistema trifásico en bases por fase. Si el valor total de la base voltioamperio del grupo de

transformadores se llama S_{base} , entonces el valor de la base voltiamperio de uno de los transformadores $S_{1F, base}$ es

$$S_{1F, base} = S_{base} / 3$$

Y las bases de corriente e impedancia de fase del transformador son

$$I_{F, base} = S_{1F, base} / V_{F, base}$$

$$I_{F, base} = S_{base} / 3 * V_{F, base}$$

$$Z_{base} = (V_{F, base})^2 / S_{1F, base}$$

$$Z_{base} = 3 * (V_{F, base})^2 / S_{base}$$

Las magnitudes de línea en los grupos de transformadores trifásicos también pueden expresarse en por-unidad. La relación entre el voltaje base de línea y el voltaje base de fase del transformador dependen de la conexión de los devanados. Si los devanados se conectan en delta, $V_{L, base} = V_{F, base}$; mientras que si la conexión se hace en estrella, $V_{L, base} = \sqrt{3} * V_{F, base}$. La corriente de línea base en un transformador trifásico se expresa por:

$$I_{L, base} = S_{base} / \sqrt{3} * V_{L, base}$$

La aplicación del sistema por-unidad en los problemas de los transformadores trifásicos es similar a su aplicación en los ejemplos para los monofásicos.

1.7 CLASIFICACIÓN DE LOS TRANSFORMADORES.

No puede hablarse de una estricta clasificación entre los transformadores, ya que cada uno de ellos tiene diferentes características y por tal razón se colocan en diferentes grupos, estos grupos se ordenan dependiendo de aquellos factores que caracterizan a los transformadores, para dar una idea de estas características de clasificación podemos decir lo siguiente:

POR EL TIPO DE ENFRIAMIENTO:

OA: Sumergido en aceite con enfriamiento natural

OA/FA : Sumergido en aceite con enfriamiento de aire forzado

OA/FA/FOA: Sumergido en aceite con circulación de aceite y ventilación forzada

FOA: Sumergido en aceite con enfriamiento de aceite y aire forzados

OW : Sumergido en aceite con enfriamiento de agua.

EOW: Sumergido en aceite con enfriamiento de aceite y agua forzados

AA: Tipo seco con enfriamiento propio.

AFA: Tipo seco con enfriamiento por aire forzado.

AA/FA: Tipo seco con enfriamiento natural con enfriamiento forzado.

POR EL NÚMERO DE FASES:

Monofásicos

Trifásicos

POR SU LOCALIZACIÓN:

Interior

Intemperie

POR SU CAPACIDAD:

De distribución (Hasta 530 kVA)

De potencia (Mayores de 500 kVA)

POR SU APLICACIÓN:

Elevador

Reductor

De instrumentos

De tierras y de Regulador, etc.

POR SU TIPO DE PRESERVACIÓN DE ACEITE:

Con tanque conservador

Sin tanque conservador

Con respiración libre o sellados con gas.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

POR SU CONEXIÓN:

Delta-Estrella

Estrella-Delta

Estrella-Estrella

Delta-Delta

Estrella-Estrella-Delta

Zig-Zag

Delta abierta

POR EL TIPO DE NÚCLEO:

Acorazado (Shell): Tiene como característica que el núcleo es el que envuelve a las bobinas. Los diseños tipo Acorazado son realizados con devanados rectangulares ajustadas en forma, las cuales consisten en una serie de bobinas tipo galleta interconectadas. Los devanados y el paquete de aislamientos son montados verticalmente en la sección inferior del tanque.

El núcleo es posicionado verticalmente alrededor de los devanados actuando como un escudo protector de los mismos. La sección superior del tanque se ajusta de tal forma que la unidad ensamblada tenga un soporte mecánico para los devanados, estos tipos de devanados se fabrican de forma independiente enrollándolos de tal forma que se les llama galleta, varios de estas galletas se agrupan y se solda una a una para formar la bobina, en la figura 1.7.1 se puede apreciar además de las bobinas como este tipo de transformadores constituido por dos tanques uno en la parte inferior y otro en la superior.

El calor generado por el núcleo y las bobinas es disipado por la circulación de aceite. El flujo de aceite desde la parte inferior hasta la superior es mantenido gracias a la diferencia en los gradientes de temperatura. La adición de bombas y ventiladores para enfriamiento forzado incrementa el flujo de aceite a través del núcleo y las bobinas, y el flujo de aire a través de los radiadores externos.



1. Boquilla de Alta Tensión.
2. Ductos de Conexión para Radiadores
3. - Flecha del Mecanismo del Cambiador de Derivaciones
4. Cambiador de Derivaciones
5. Bobinas de Alta Tensión
6. Bobinas de Baja Tensión
7. Refuerzos del Tanque
8. Acañamiento entre Grupo de Bobinas y Pared del Tanque

Figura 1.7.1 Transformador acorazado.

Sus ventajas son: Alta resistencia mecánica, baja impedancia, mejor regulación etc.
De columnas: Las bobinas envuelven al núcleo. El aislamiento principal está formado por tubos de devanado, espaciadores radiales y verticales así como de hojas de cartón comprimido para aislar una fase de otra o de la fase a potencial cero, tanto en el transformador acorazado como en las columnas un perfecto secado de estos

aislamientos es requisito indispensable si no se quieren tener problemas de descargas parciales, o hasta fallas por arrastres en los aislamientos

Columnas (core): Las bobinas Son de forma cilíndrica y se colocan en forma concéntrica al circuito magnético (núcleo), el aislamiento principal está formado por tubos de devanado, espaciadores radiales y verticales así como de hojas de cartón comprimido para aislar una fase de otra o de la fase a potencial cero, el material de los núcleos tipo columnas se diseñan el mismo material que el tipo acorazado; sólo que en este tipo se montan las bobinas en las piernas del núcleo. Las bobinas rodean el núcleo y generalmente primero se monta la bobina de más bajo voltaje, más cerca del núcleo (potencial cero) El diseño del tanque por lo regular se realiza una sola parte, a través de las placas de sujeción, las placas seguro, los refuerzos laterales superiores e inferiores y los anillos de presión manteniendo en su lugar al conjunto núcleo-bobina. Las fuerzas creadas por las corrientes de falla tienden a separar los devanados de alta y baja tensión.

La fuerza generada sobre la parte exterior del devanado de alta tensión lo jala y pone en tensión sus conductores. Y la fuerza en el devanado interior o baja tensión actúa a la comprensión del devanado trasmitiéndole los esfuerzos al tubo de devanado. Estos esfuerzos se incrementan con la capacidad del transformador, por eso es de vital importancia las propiedades mecánicas de los tubos de devanado, los espaciadores radiales y verticales. También existe una fuerza adicional de tiende a jalar los devanados en dirección vertical, esto sucede cuando hay en desbalanceo de

acoplamiento en el centrado de los devanados. Para controlar los esfuerzos creados por lo sobre voltajes transitorios en este tipo de construcción tenemos varios tipos de devanados recibidos puede haber sobre voltajes y causar severos esfuerzos en los aislamientos si el sistema de bobinas-aislamiento no está diseñado para distribuir uniformemente dichos sobre voltajes a través de los devanados. Para transformadores arriba de 100 MVA se requieren varios conductores en paralelo para soportar la corriente en los devanados en el cual se torna muy complejo. Sobre todo en las primeras vueltas del devanado, en las elecciones de TAPS, cuando se tiene un transformador con cambiador de derivaciones bajo carga. Por su tipo de construcción la relación que existe entre la capacitancia serie y la capacitancia a tierra es relativamente baja. En este tipo de construcción llegar a haber en algunos casos oscilaciones mayores al 100% del valor inicial, algunos de los comentarios de diseño importantes que no podemos dejar de mencionar los siguientes comentarios que afectan los ámbitos dieléctricos, térmicos, y mecánicos:

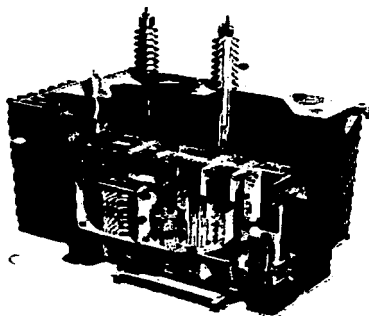
- a) Reduciendo el área de los conductores de las bobinas se reducirá el tamaño, peso, y costo; no obstante, las pérdidas incrementarán y se requerirán grandes bancos de radiadores que repercutirán en el costo del equipo. El diseño deberá alcanzar un balance apropiado y esto se puede lograr por medio de la utilización de un programa de computadora para realizar un cálculo preciso de la distribución de temperatura dentro de las bobinas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- b) Las bobinas de los transformadores deben permanecer rígidas durante toda la vida útil de la unidad si este desea sobrevivir bajo las repetidas condiciones de corto circuito, las cuales son típicas cuando el sistema opera en campo; estas corrientes generan grandes fuerzas verticales en los devanados. Resulta difícil mantener rígidas las bobinas, puesto que estas contienen de 1 a 3 pies de material de celulosa distribuido a través de todo el devanado. Sin embargo este problema ha sido resuelto con el paso de los años por medio del uso de cartón prensado (*pressboard*) de alta densidad, mejorando la estabilización mecánica del aislamiento por medio de técnicas especiales y sobre todo, por medio de la pretensión mecánica de los devanados, durante la fase de ensamble, hasta una fuerza igual a la experimentada bajo condiciones de corto circuito. Este balance de las fuerzas generadas eléctricamente por medio de las técnicas de pretensión y de las otras fuerzas las cuales se presentan durante el levantamiento, embarque o esfuerzos térmicos son estudiadas cuidadosamente utilizando modernas técnicas computacionales.

Un ejemplo de la tecnología de aislamientos es el óptimo uso de cartón prensado (*pressboard*) entre los ductos de aceite. El aceite dieléctrico tiene la característica de tener una mayor rigidez dieléctrica (KV/mm) en un ducto pequeño que en un ducto de gran tamaño. Un diseño balanceado toma ventaja de esto optimizando los ductos de aceite, de tal forma que se tengan ductos pequeños en las zonas donde los esfuerzos eléctricos son críticos (partes vivas a tierra, etc.) El resultado es una máxima capacidad de rigidez dieléctrica en un mínimo de espacio. Por otra parte un diseño balanceado de

bobinas requiere que éstas tenga un bajo valor de capacitancia a tierra y un alto valor de capacitancia serie, con el fin de que la distribución inicial de impulso sea muy similar a la distribución final.



1. Boquilla de Alta Tensión.
2. Ductos de Conexión para Radiadores
3. Flecha del Mecanismo del Cambiador de Derivaciones
4. Cambiador de Derivaciones
5. Bobinas de Alta Tensión
6. Bobinas de Baja Tensión
7. Refuerzos del Tanque
8. Acuñamiento entre Grupo de Bobinas y Pared del Tanque

Figura 1.7.2 Transformador tipo columnas

Sus ventajas son: Bajo costo, mayor impedancia.

1.8 ACCESORIOS DE LOS TRANSFORMADORES

Para una operación adecuada, el transformador requiere de dispositivos auxiliares, cuyas características y cantidad dependen del tipo del transformador. Los principales accesorios así como la principal función se citan a continuación.

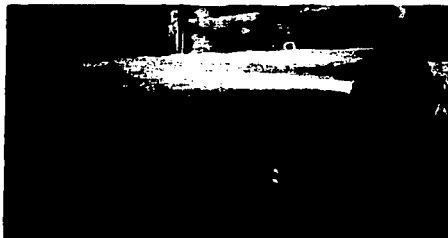
BOQUILLAS.- Tienen la función llevar, de una manera segura, los conductores ó guías de los devanados a través del tanque hacia el exterior, estas pueden ser de dos tipos que son: tipo condensador y sólido en los transformadores estándares, un tercer tipo es las llamadas de gas, las cuales se montan en forma encapsulada con gas sf6.



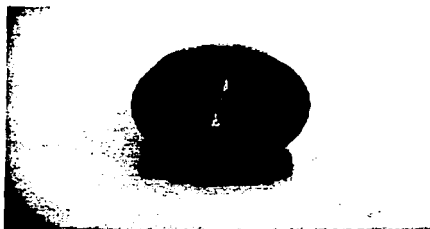
Dependiendo de las necesidades del cliente :

- Boquillas Tipo Sólido
- Boquillas Tipo condensador
- Boquillas SF6 -Aceite
- Boquillas Aceite-Aceite
- Boquillas de Alta Corriente
- Pesa Barras

TANQUE CONSERVADOR.- De forma cilíndrica o rectangular, se coloca por encima del tanque principal conectándose por medio de tubería al tanque principal, su función principal es la de proporcionar un espacio extra para compensar las expansiones térmicas del aceite. A este accesorio se le adaptan los medios de respiración del tanque principal que son con atmósfera de gas inerte en el cual se coloca adicionalmente al transformador un cilindro de nitrógeno que inyecta nitrógeno según se requiera, por medio de una bolas de hule. Que se expande o comprime según el nivel, o él más sencillo que es colocar un recipiente deshidratador.



INDICADOR DE NIVEL DE ACEITE: dispositivo que permite conocer el nivel del aceite este se coloca en una pared del tanque principal o en el tanque de expansión.



RELEVADOR BUCHHOLZ.- Este es un accesorio de protección que se emplea para detectar movimientos bruscos del aceite o una acumulación anormal de gases dentro del transformador, este se coloca en la tubería que conecta el tanque de expansión con el tanque principal.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



TERMÓMETRO : Es un dispositivo que sirve para indicar la temperatura de del aceite del transformador.



INDICADOR DE TEMPERATURA DEL DEVANADO.- Este indicador permite vigilar la temperatura del devanado, a través del principio de imagen térmica, utilizando un transformador de corriente colocándolo en la boquilla de alta tensión del transformador. La señal de corriente así obtenida alimenta una bobina calefactor, dentro de un termo

pozo, que hace operar un elemento censor para indicar en una carátula la temperatura del devanado, ya sea en grados centígrados (Hot-Spot) ó en % de carga (TRO-2)



VÁLVULA DE SOBREPRESIÓN.- Los arcos eléctricos producidos por fallas dentro del transformador causan descomposición del aceite y en consecuencia generación de gases. La presión de estos gases puede poner en peligro la integridad mecánica del transformador. Hasta hace algunos años, se utilizaba un diafragma de cristal para liberar las sobré presiones. Actualmente, se emplea una válvula que, por medio de resortes calibrados, opera y restablece automáticamente su diafragma metálico. Tiene también contactos para señalización ó alarma.



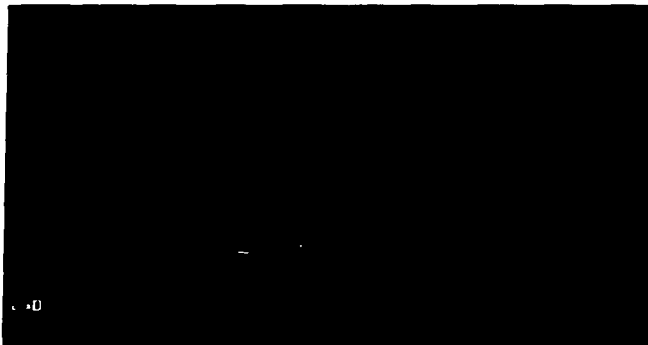
RADIADORES.- Existen casos en los que el área del tanque no es suficiente para lograr la disipación térmica deseada. Es entonces cuando se agrega área utilizando radiadores, que son grupos de tubos o aletas de acero, unidas u dos cabezales y que se conectan al tanque ya sea soldándolos o por medio de válvulas de acoplamiento para hacerlos desmontables. Para acelerar la disipación de calor, la lámina de los radiadores es de un espesor mucho menor al de las paredes del tanque.



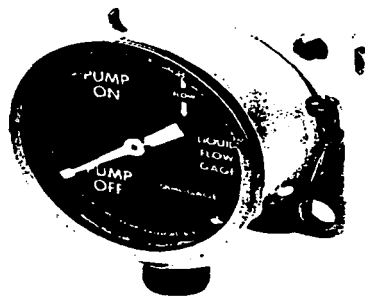
VENTILADORES.- Tienen la función de forzar el aire a través de los radiadores, o intercambiadores que son parte del sistema de refrigeración del transformador. Estos dispositivos son accionados en forma manual o en forma automática, a través del equipo de control que recibe la señal del indicador de temperatura, sea del líquido o del devanado.



BOMBAS.- Tienen la función de forzar el aceite que se encuentra dentro del transformador con el fin de crear un efecto refrigerante.

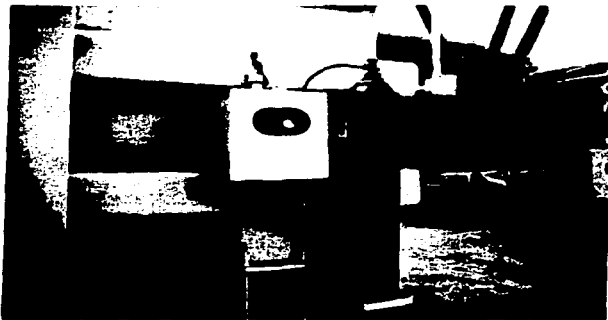


INDICADOR DE FLUJO.- Este se acopla a la salida de la bomba y su función es indicar la existencia de flujo que una bomba mueve.



EQUIPO DE GAS INERTE.- Sirve para retardar el deterioro del sistema aislante mediante la presencia constante de nitrógeno en el espacio de gas del transformador. Consta de un cilindro de nitrógeno y un gabinete regulador que permite liberar el exceso de presión en el aparato o inyectar gas si ésta baja. También se emplea en almacenamiento o embarque de transformadores sin aceite, para evitar la entrada de humedad.

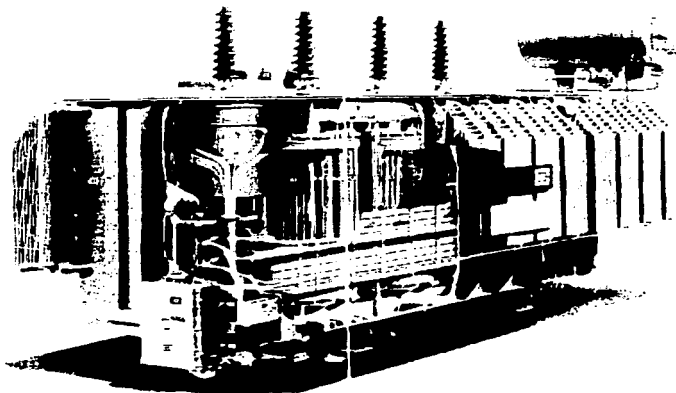
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Gabinete de control. En él se tienen las tablas donde se agrupan las terminales de los contactos de señalización y/o alarma. Contiene también, en su caso, los accesorios y dispositivos para el control y operación del equipo de enfriamiento forzado.



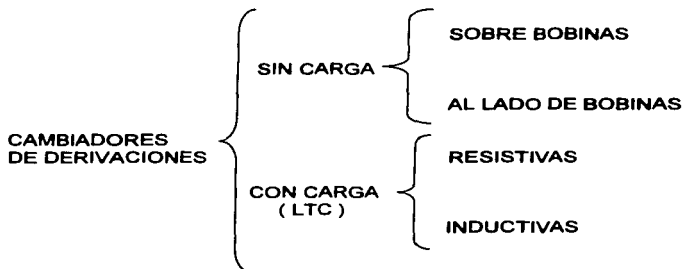
CAPITULO 2



CAMBIADORES DE DERIVACIONES

2.1 TIPOS DE CAMBIADORES DE DERIVACIONES

UN CAMBIADOR es un dispositivo que permite cambiar la relación de transformación para obtener una gama de voltajes diferentes a la nominal y de esta forma poder satisfacer la demanda de voltaje requerido estos ingeniosos dispositivos se pueden clasificar de la siguiente manera:



Los mas ventajosos de la clasificación anterior son lógicamente aquellos que permiten realizar los cambios de derivaciones sin tener que sacar de operación al transformador, el inconveniente de estos es su gran costo y las modificaciones en diseño que se requieren para su instalación, pues deben llevar un devanado adicional que se suele llamar bobina reguladora (RV), el alto costo ocasiona que sean accesibles a empresas muy grandes y compañías dedicadas al suministro de energía eléctrica.

2.1.1 CAMBIADOR SIN CARGA

Un cambiador de derivaciones sin carga esta fabricado básicamente de cuatro partes que son:

- 1) Platos donde se fijan los contactos fijos.
- 2) Contactos móviles.
- 3) Un mecanismo sencillo que permite transmitir el giro a los contactos móviles.
- 4) Un volante o perilla situado en la parte exterior del transformador para seleccionar la posición desala.

Este tipo de cambiadores tiene un fácil mantenimiento, mismo que puede ser realizado por personal familiarizado con los mismos, su costo resulta ser mucho menor, comparado con uno que trabaje con carga, ya que el mecanismo resulta ser más sencillo y no requiere de bobina reguladora, pues las la principal desventaja de estos es que cada que se quiera seleccionar una nueva posición el transformador deberá ser sacado de operación, la sencillez de los mismos permite que los fabricantes de transformadores pueden diseñar los propios, razón por la que en campo podemos encontrar una gran variedad de cambiadores, pero básicamente se mantienen los cuatro elementos mencionados anteriormente, se ven en la figura 2.1.1 se muestra un tipo de estos cambiadores se deberá observar el tamaño del plato donde se encuentran los contactos fijos pues estos platos varían En fusión del nivel de aislamiento con el que

sea construido es decir para voltajes muy altos de deberán de cumplir distancias más grandes.

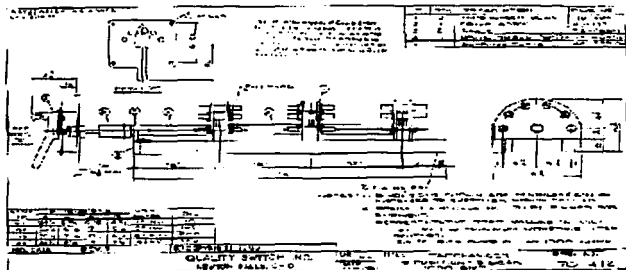


Figura 2.1.1. Cambiador sin carga

2.1.2 CAMBIADOR CON CARGA

Un cambiador de derivaciones bajo carga esta fabricado al igual que los que trabajan sin carga básicamente de cuatro partes que son:

- 1) un interruptor seleccionador
- 2) Un interruptor reversible, este se presenta cuando se quiere cambiar la polaridad del embobinado, doblando él numero de posiciones disponible.

- 3) Una transmisión mecánica que conecta el motor con el selector.
- 4) Un gabinete que contiene el mando motor que se acopla con el mecanismo del cambiador.

Estos cambiadores pueden ser instalados dentro del tanque principal (resistivo) o separados del tanque (inductivo), como se muestra en la figura 2.1.2



Figura 2.1.2. Cambiadores bajo carga

En el caso del cambiador resistivo tipo JANSEN se colocan en una cuba de fibra de vidrio que contiene el selector, los contactos, las resistencias y el mecanismo, como se puede apreciar en la figura 2.1.2. el cambiador inductivo se coloca en un compartimiento separado del tanque principal que contiene el mecanismo y las botellas de vacío en las que se extinguen los arcos eléctricos, ambos cuentan con otro gabinete

colocado en el exterior del tanque en el que se encuentra el motor que trasmite el movimiento al cambiador por medio de una flecha, en el gabinete del mando motor como se le conoce, puede inhalarse un regulador dentro del gabinete que al detectar una variación de voltaje manda una señal para accionar el motor que mueve la flecha conectada a los interruptores de esta forma satisfaciendo la demanda de Energía, o de forma inversa al detectar una variación menor baja posición en el cambiador, en la figura 2.1.3 se muestra el mando motor con el regulador de voltaje estos elementos se trataran a fondo mas adelante.

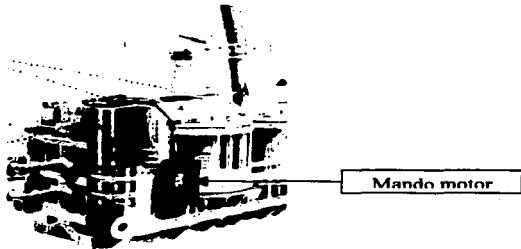


Figura 2.1.3. Mando motor

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.2 FORMA DE REGULACIÓN

La regulación se logra colocando una bobina conectada en serie a la que se quiere regular, a esta bobina se le llama bobina reguladora, dependiendo del lado en el que se quiere hacer la regulación es la posición, la forma más fácil y común desde un punto de vista de diseño es cuando se desea regular la baja tensión pues las bobinas serán colocadas de acuerdo al voltaje es decir en la pierna del núcleo se colocara primero la reguladora, sobre esta la de baja tensión y por ultimo la de alta tensión, esta ultima es la que se encuentra mas alejada de tierra (pierna del núcleo), en la figura 2.2.1 se puede apreciar una bobina reguladora montada todavía en la devanadora, se debe resaltar como es que salen por la parte de arriba las futuras derivaciones A ser colectadas a la bobina que se quiere regular.

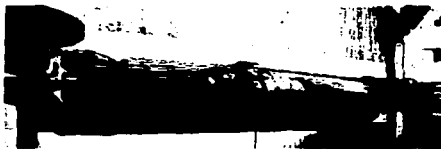


Figura 2.2.1. Bobina reguladora de un transformador tipo columnas

Las principales formas de regulación que se pueden hacer son:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- a) Forma lineal: Esta forma es la más simple y se coloca la bobina reguladora como lo muestra el diagrama eléctrico en de la figura 2.2.2, el selector de posiciones se puede colocar en cualquier derivación (tap) de la bobina reguladora dando el voltaje requerido.

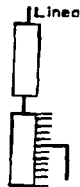


Figura 2.2.2. Regulación lineal

- b) Forma reversible: en este tipo de regulación reversible la bobina reguladora puede ser conectada a la principal en forma aditiva o sustractiva es decir se puede invertir la polaridad para sumar o restar la proporción de voltaje deseada. El número total de posiciones disponible es dos veces el número de las secciones en el embobinado reguladora, la representación eléctrica se muestra en la figura 2.2.3.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

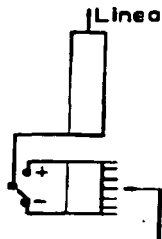


Figura 2.2.3. Regulación reversible, R = selector reversible.

- c) Fino grueso: La regulación gruesa-fina puede definirse como un dos-fases, dónde el primero o la fase gruesa contiene un gran número de vueltas el cual puede ser totalmente intercambiado por el selector bajo carga. Estas vueltas se muestra como un paso simple en la bobina de arriba de la figura 2.2.4, . La regulación fina se logra con el interruptor del seleccionador (S). Normalmente, la sección gruesa contiene tantos vueltas como los pasos de la bobina de regulación gruesa. De este modo el número total de posiciones disponible es dos veces el número de secciones en la bobina reguladora.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

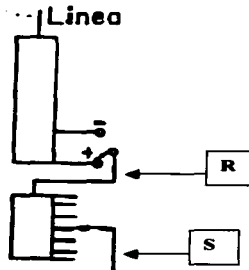


Figura 2.2.4. Regulación gruesa-fina

2.3 PRINCIPIO DE OPERACIÓN DEL CAMBIADOR LTC

Un cambiador de derivaciones bajo carga debe ser capaz de cambiar de una posición a otra sin interrumpir el flujo de corriente. Por consiguiente, para lograr esto, debe hacer una secuencia de cortes. De otra forma esto no puede ser posible mas que creando un corto circuito entre dos derivaciones de la bobina. Esto significa que durante el intervalo de corte, debe haber un sistema que prevenga un cortocircuito franco entre las derivaciones que se están cambiando. Hay dos maneras principales para lograr esto, la resistiva y la reactiva.

La forma resistiva se ilustra en la figura 2.3.1. con sus seis pasos secuenciales de cambio. Este particular tipo de cambiador tiene dos selectores y un switch de arco con cuatro contactos.

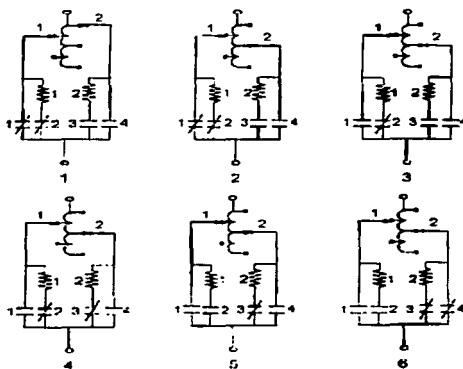


Figura 2.3.1. Secuencia de un cambiador resistivo

La secuencia para realizar el cambio es la siguiente:

- Paso 1. Estado inicial del cambiador, en este se puede ver como la corriente fluye a través del contacto uno y el selector uno.

- Paso 2.** El selector que cuenta con los contactos abiertos es movido a otra posición hacia debajo de donde se encontraba. En esta parte la corriente sigue fluyendo entre el contacto uno y el selector uno.
- Paso 3.** El contacto uno se abre y la corriente fluye a través de la resistencia y el selector uno.
- Paso 4.** El contacto tres se cierra y la corriente se divide entre las dos resistencias. Gracias a las dos resistencias se crea un circuito limitador de corriente.
- Paso 5.** El contacto No. 2 se abre permitiendo el paso de la corriente únicamente a través del selector dos y la resistencia 2. Este es el momento en que el arqueo se presenta. Esta parte crítica dura alrededor de medio ciclo, es decir ocho microsegundos. El tiempo promedio de arqueo es de cinco a seis milisegundos.
- Paso 6.** El contacto No. 4 se cierra y toda la corriente pasa hacia el selector 2, en este punto el cambiador a alcanzado la posición requerida.

Para este tipo de transición se requiere de resistencias capaces de soportar la carga completa durante los pasos del 3 al 5 y un mecanismo que le dé rapidez para cambiar de una posición a otra.

CAPITULO 2 CAMBIADORES DE DERIVACIONES

- Paso 2.** El selector que cuenta con los contactos abiertos es movido a otra posición hacia debajo de donde se encontraba. En esta parte la corriente sigue fluyendo entre el contacto uno y el selector uno.
- Paso 3.** El contacto uno se abre y la corriente fluye a través de la resistencia y el selector uno.
- Paso 4.** El contacto tres se cierra y la corriente se divide entre las dos resistencias. Gracias a las dos resistencias se crea un circuito limitador de corriente.
- Paso 5.** El contacto No. 2 se abre permitiendo el paso de la corriente únicamente a través del selector dos y la resistencia 2. Este es el momento en que el arqueo se presenta. Esta parte crítica dura alrededor de medio ciclo, es decir ocho microsegundos. El tiempo promedio de arqueo es de cinco a seis milisegundos.
- Paso 6.** El contacto No. 4 se cierra y toda la corriente pasa hacia el selector 2, en este punto el cambiador a alcanzado la posición requerida.

Para este tipo de transición se requiere de resistencias capaces de soportar la carga completa durante los pasos del 3 al 5 y un mecanismo que le dé rapidez para cambiar de una posición a otra.

La forma reactiva es otro método ampliamente usado, para realizar un cambio de derivación se usan reactores en lugar de las resistencias. Estos reactores no tienen que disipar tanta energía como las resistencias. Usan energía reactiva que no produce calor. Por consiguiente, pueden diseñarse para resistir la corriente completa que circula por periodos de tiempo más largos. Para este sistema se tiene que fabricar un pequeño transformador que se suele llamar auto preventivo, este se coloca por lo regular dentro del mismo tanque que contiene el transformador principal, la figura 2.3.2 muestra uno de estos auto preventivos, a demás del lugar donde se coloca dentro del tanque, algo a resaltar es que si estos auto preventivos no se diseñan adecuadamente pueden ocasionar demasiados problemas como ruido y calentamientos. Cuando se emplea un cambiador de derivaciones basado en el principio inductivo se debe considerar las perdidas adicionales generadas por el transformador preventivo.

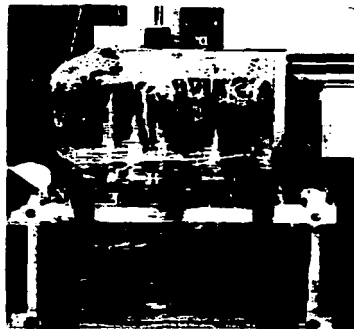
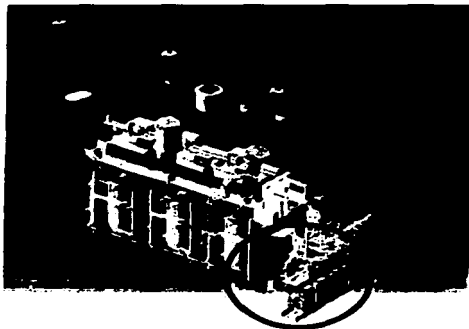


Figura 2.3.2. Transformador auto preventivo

Al igual que en el cambiador resistivo el cambio de derivaciones se realiza en seis partes que se muestran en la figura 2.3.3:

- Paso 1. Estado inicial del cambiador, se observa en la figura 2.3.3 como la corriente fluye hacia la posición mostrada por las dos inductancias.
- Paso 2. El contacto dos se abre, y el circuito se alimenta por el contacto uno
- Paso 3. El contacto tres se abre produciéndose un arco que es extinguido en las botellas de vacío, este tipo de contactos en botellas de vacío es mostrado en la figura 2.3.4 y se encuentran al vacío para una extinción del arco.

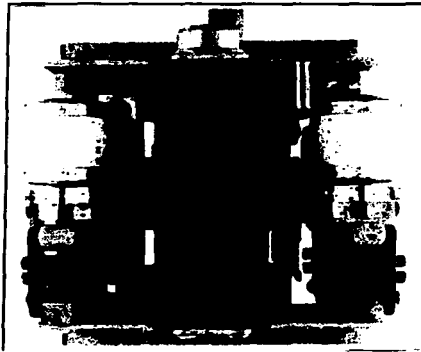


Figura 2.3.4. Botellas de vacío

CAPITULO 2 CAMBIADORES DE DERIVACIONES

- Paso 4. El selector dos se mueve a la siguiente derivación que se encuentra a la derecha.
- Paso 5. El contacto de vacío tres se cierra permitiendo el flujo de corriente a través del reactor dos, se debe resaltar como los selectores en esta posición se encuentran en dos derivaciones diferentes.
- Paso 6. En este paso se cierra el contacto numero dos permitiendo el flujo de corriente a través de la inductancia dos.

Anteriormente se hablo del costo demasiado alto de estos cambiadores, y aun que su mantenimiento también resulta ser demasiado caro, ya que solo puede ser llevado a cabo por personal altamente calificado que vienen de Estados Unidos o Alemania donde se encuentran las dos principales fabricas de cambiadores, las refacciones son demasiado costosas, es otra de las cosas que debemos considerar, además de los gastos del técnico. El instalar un cambiador bajo carga en algunos casos puede llegar a ser un punto de riesgo, como lo demuestran los casos en los que estos importantes aditamentos han llegado a explotar dañando el transformador, aun así se justifica su uso si se ven todas las ventajas entre las que podemos mencionar el gran tiempo de operación al que pueden estar expuestos antes de requerir algún servicio, con mas frecuencia el servicio será hacia los contactos.

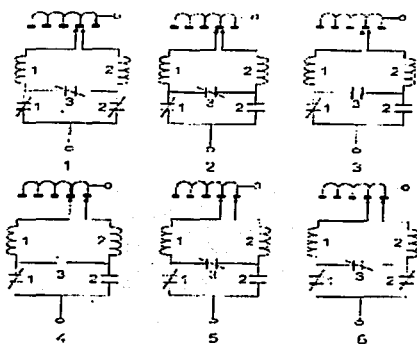


Figura 2.3.3. secuencia de cambiador inductivo

En la placa de características del cambiador de tomas se indica la vida útil prevista de los contactos de fijos del conmutador a la carga nominal. Los contactos tendrán que soportar un gran número de maniobras de conmutación. En el caso de los transformadores de potencia normales, el conmutador efectúa unas 20 maniobras diarias, lo que significa que normalmente no será necesario cambiar los contactos en toda la vida útil del transformador.

En el caso de los cambiadores de tomas con carga que se encuentren funcionando en unos transformadores de horno el número de maniobras puede ser considerablemente mayor. Para tener una muestra de esto se puede observar la figura 2.3.5 en la que se

CAPITULO 2 CAMBIADORES DE DERIVACIONES

hace un comparativo entre los diferentes tipos de transformadores que usan estos tipos de cambiadores, en este comparativo se puede ver que un cambiador de un transformador de horno puede llegar a tener hasta 548 conmutaciones por día, la mayoría de los fabricantes recomienda se realice una revisión cada 500 000 operaciones con lo que se puede garantizar la integridad del equipo.

Transformador	Datos del transformador			Número de conmutaciones por año		
	MVA	kV	A	min.	medio	más.
Generador	100 - 1300	110 - 765	100 - 2000	500	3000	10000
Interconexión	700 - 1500	110 - 765	300 - 3000	300	5000	25000
Distribución	15 - 400	60 - 525	50 - 1000	2000	7000	20000
Electrolisis	10 - 100	20 - 110	80 - 3000	10000	30000	150000
Industria Química	1,5 - 60	20 - 110	50 - 1000	1000	20000	70000
Horno (arco voltaico)	2,5 - 150	20 - 230	50 - 1000	20000	50000	200000

Número de conmutaciones por año de RBC en diferentes aplicaciones

Figura 2.3.5. Comparativo de numero de cambios y campo de aplicación

2.4 CONTROL DE OPERACIÓN DEL CAMBIADOR LTC

Un cambiador de derivaciones bajo carga debe contar con un sistema de control para poder subir y bajar a una posición determinada esto se logra gracias el regulador

CAPITULO 2 CAMBIADORES DE DERIVACIONES

de voltaje que manda señales al circuito de control que se encuentra en el gabinete del mando motor, uno de estos típicos diagramas se muestra en la figura 2.4.1 en el que se puede apreciar el esquemático del control para un mando motor, en la parte superior izquierda se aprecia el sistema de fuerza con su interruptor principal **Q1** este interruptor principal cuenta con contactos auxiliares para señalización u otras aplicaciones, otros elementos importantes son los contactos **K1** y **K2** con los cuales se pueden operar el mando hacia arriba o hacia abajo respectivamente, en la parte central se da una descripción mas detallada de los auxiliares de los contactos subir y bajar. Junto con la posición que ocupan sus bobinas, en la parte inferior del diagrama se da la numeración de tablillas con sus respectivas puntas del elemento que se trate, por ejemplo en la tablilla 1 se encuentra la punta 1 del interruptor principal **Q1**, en la tablilla 19 se encuentra el borne 43 del **k20**, este contacto **K20** se encuentra representado en la parte superior derecha del diagrama de la figura 2.4.1, y es el que se encarga del control paso a paso, esto es si se llegara a quedar pegado el **k2** o **k1** este solo permitiría un avance y no que se corrieran todas las posiciones hacia arriba o hacia abajo. Otros elementos importantes en el diagrama son:

F13, F14 Corto circuito automático.

S132, S132A Interruptores de tres posiciones.

S3 Conmutador subir bajar.

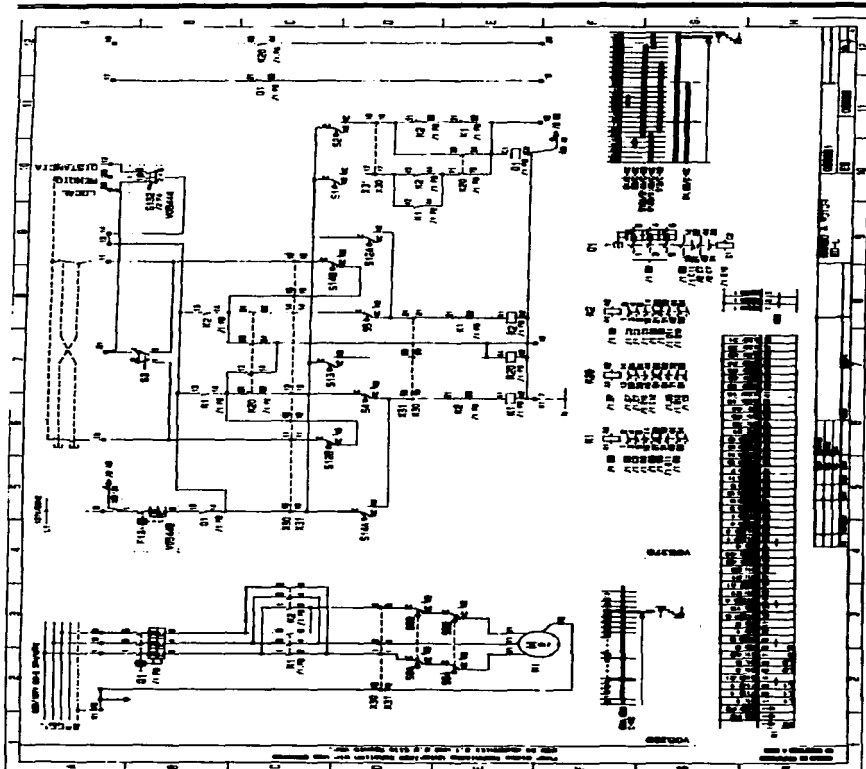
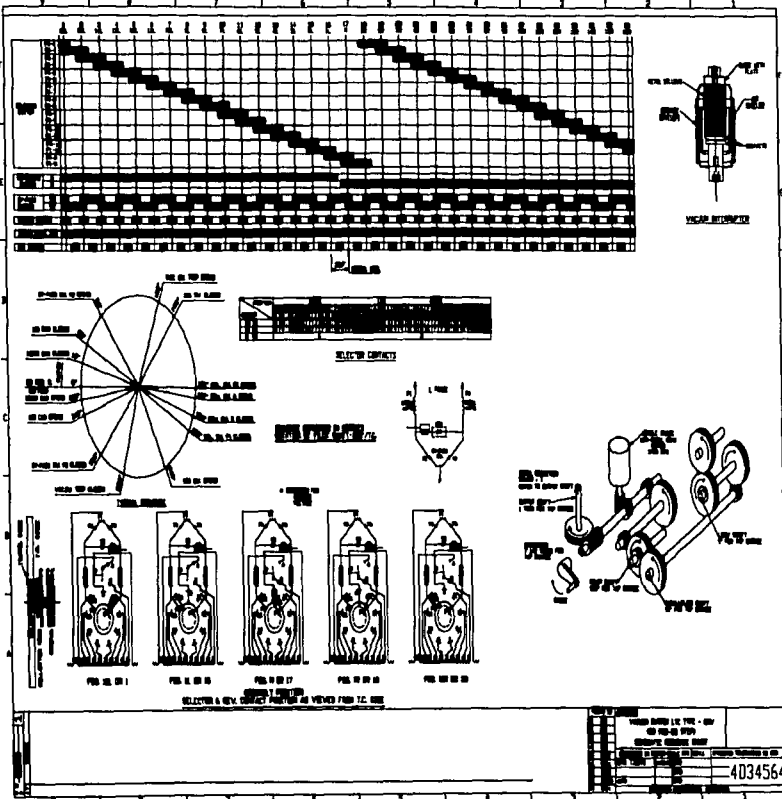


Figura 2.4.1. Comparativo de numero de cambios y campo de aplicación

CAPITULO 2 CAMBIADORES DE DERIVACIONES

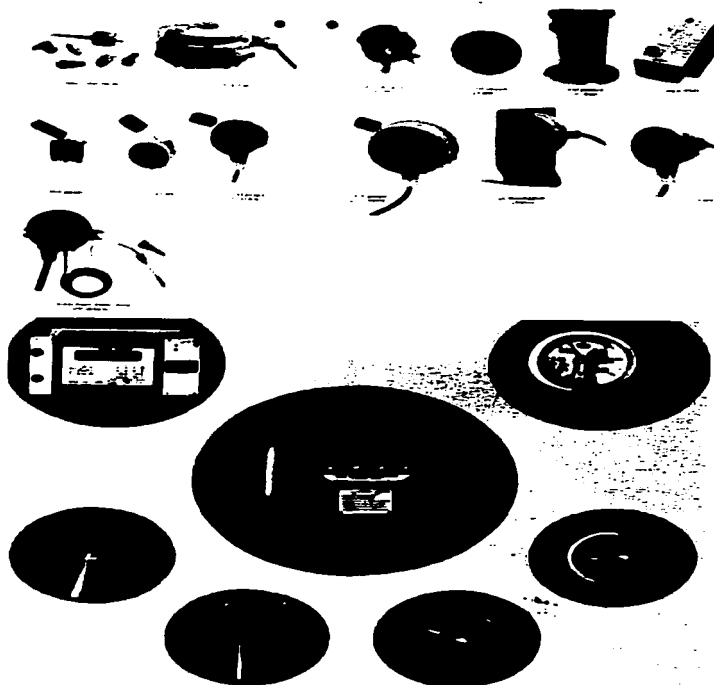
Toda la secuencia de cambio de posición es realizada de forma cíclica es decir que no se puede interrumpir hasta que se termina el ciclo, esto se logra gracias a un sistema de micro interruptores accionados por levas, en la parte inferior derecha se encuentran representadas, las secuencias de activación durante el cambio de posición, en este caso el cambiador cuenta con 33 posiciones y una neutral, en verdad son 16 que se pueden accionar hacia arriba de la posición neutral y 16 hacia abajo de la posición neutral esto quiere decir que puedo obtener 16 gamas de voltaje de la nominal hacia arriba o hacia abajo.

En la figura 2.4.2 se puede apreciar un diagrama de accionamiento de levas para un cambiador que utiliza el sistema de botellas de vacío, en el diagrama se representan el diagrama de tiempos y movimientos de las levas, y el diagrama de posición de acuerdo a los grados de activación de las levas representadas, en el primer diagrama mencionado las secciones en blanco corresponden apertura del micro interruptor mientras que las zonas oscuras son el tiempo que permanece cerrado en interruptor, de ejemplo vea el caso de del interruptor de vacío que se encuentra en el antepenúltimo lugar del diagrama dice " VACUUM SWITCH ", se activa cuando comienza el cambio de la posición 16L a la 15L, después de un corto tiempo se abre el circuito y se activa el Contactor de supervisión de funcionamiento de la botella de vacío el cual se encarga de monitorear el vacío en la botella este es el Contactor 186, terminada la supervisión se desactiva al mismo tiempo que se vuelve activar el VACUUM SWITCH, si se observa la secuencia en el círculo de activación se puede ver como el Contactor de vacío se abre a los 100° y a los 130 ° se cierra el 186 el cual termina su función a los 243 ° y a los 286° y se cierra el Contactor de vacío.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO 3



CONTROL Y REGULACIÓN DE VOLTAJE

3.1 CONTROL DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA

Siendo los transformadores de potencia elementos indispensables en él suministró de energía eléctrica y además demasiado costosos, se han tenido que implementar instrumentos al mismo que permiten tener un control o monitoreo de los parámetros más importantes como temperatura del devanado, temperatura del aceite, nivel del aceite etc., en conjunto todos estos elementos forman el control del transformador, cuando el transformador es de poca capacidad el control resulta sencillo pero conforme este aumenta de capacidad y punto estratégico de operación este puede llegar a ser tan complejo que se requieren de muchos planos para su descripción detallada y sobre todo cuando se encuentran trabajando en paralelo varios transformadores monofásicos, que a su vez integran uno o dos bancos trifásicos, en este caso se estará hablando de coordinar y controlar seis transformadores y uno de reserva al mismo tiempo. Este caso se tratara en él capitulo siguiente.

El control de un transformador se puede dividir en tres partes principales que son:

- a) El sistema de control de alarmas y disparos,
- b) El control de enfriamiento
- c) El control de voltaje automático

CAPITULO 3 CONTROL Y REGULACIÓN DE VOLTAJE

Los tipos mencionados anteriormente responden a tratar de controlar partes estratégicas que garanticen la integridad y prolongación de la vida de un transformador que en termino medio debe garantizarse en 30 años, bajo condiciones normales de operación, actualmente en México con ayuda del control de parámetros se pueden hacer trabajar confiablemente transformadores con mas de 30 años en servicio.

El sistema de control de alarmas y disparos es el que se encarga de controlar y clasificar las diferentes señales que los instrumentos de monitoreo registran, estas señales se dan en dos niveles que son las señalizaciones de alarma es decir que avisan que en el transformador esta sucediendo algo anormal pero que nos es tan grave como para que este salga de funcionamiento, y las señales de disparo que diferencia de las anteriores van conectadas al sistema de protección del transformador sacándolo de la línea en forma casi inmediata, estas señales son activadas por medio de contactos que pueden ser normalmente cerrados (NC) o normalmente abiertos (NA) los contactos son integrados en el elemento de monitoreo y alambrados del elemento al gabinete de control donde se centralizaran todas las señales, y repartidas a los diferentes paneles de control de la subestación, en las siguientes descripciones se detallara estos mecanismos de control

Indicador de temperatura del aceite de este instrumento mencionado en el capítulo uno cuenta comúnmente con dos contactos de señalización, mostrados en la figura 3.1.1, el primero da una señal de alarma este contacto puede ser calibrado para

CAPITULO 3 CONTROL Y REGULACIÓN DE VOLTAJE

activarse a una cierta temperatura que por lo regular anda entre los 60 °C si el transformador debe operar a una temperatura de 55 °C, el segundo contacto puede ser usado como disparo, en algunos casos se solicitan tres contactos como que serian dos de alarma y uno de disparo.



Figura 3.1.1. Contactos del indicador de temperatura del aceite.

Indicador de temperatura del devanado este instrumento trabaja bajo el llamado principio de imagen térmica, el cual es el siguiente " La elevación de temperatura del punto mas caliente del devanado arriba de la temperatura del aceite es duplicada por una bobina calefactor en un termo pozo. La bobina calefactor es alimentada por medio una corriente proporcional a la corriente de carga del transformador, la cual es obtenida de un transformador de corriente, en la fase que se ha calculado con mayor temperatura. Esto adiciona un incremento de temperatura al bulbo censor, que es igual a la elevación de temperatura del punto mas caliente del devanado por encima de la temperatura máxima del aceite".

La construcción y el montaje de los indicadores de temperatura del devanado se ilustran en la figura 3.1.2. El tubo de Burdon del indicador es conectado a través de un tubo capilar con el bulbo censor, el cual se encuentra dentro de una bobina calefactor

CAPITULO 3 CONTROL Y REGULACIÓN DE VOLTAJE

en un pozo cerca de la parte superior del tanque del transformador. La bobina calefactora se encuentra dentro de este pozo y es sujeta en su lugar por medio por medio de unos accesorios de montaje los cuales son atornillados a una brida del tanque.

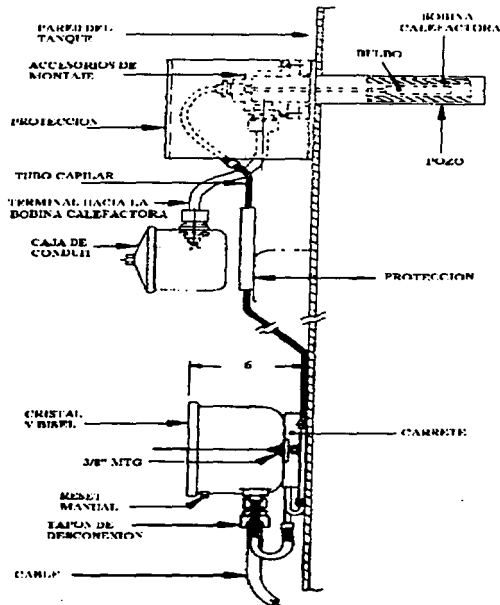


Figura 3.1.2. Montaje del hot spot

El bulbo censor se desliza a través de abertura frontal del accesorio de montaje y sellado por medio de un accesorio roscado y un empaque. El bulbo y la bobina calefactor pueden ser removidos del pozo sin bajar el nivel de aceite del transformador. El transformador de corriente que alimenta la bobina calefactor se encuentra localizado sobre la línea de la boquilla y por consiguiente esta corriente es proporcional a la corriente de carga del transformador. La calibración se consigue ya sea cambiando las derivaciones del transformador o por medio de la utilización de un autotransformador con derivaciones localizado en el gabinete de control del transformador principal. La figura 3.1.3 ilustra un típico circuito de conexión de la bobina calefactor.

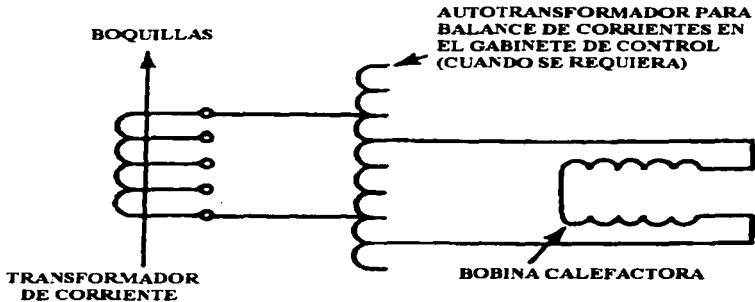
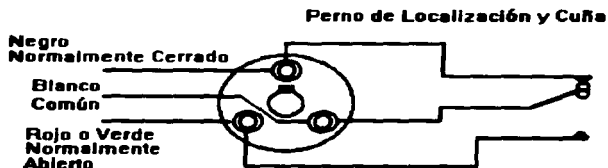


Figura 3.1.3. Conexión del hot spot.

CAPITULO 3 CONTROL Y REGULACIÓN DE VOLTAJE

El instrumento tiene dos contactos para operación de controles de enfriamiento auxiliares mas uno o dos contactos para la operación de circuitos de alarma y disparo. El contacto operado con la máxima temperatura generalmente se utiliza para accionar los circuitos de disparo que sirven para dar aviso de malos funcionamientos en los equipos de enfriamiento.

Indicador de nivel de aceite este instrumento cuenta con dos contactos de aviso para bajo nivel de aceite y alto nivel, el diagrama de los contactos se muestra en la figura 3.1.4, donde se aprecia como uno es NA y el otro NC



Vista en Dirección del Receptáculo de las Guías de Alarma del Instrumento.

NOTA: Las terminales sin código de colores, así como el perno de localización y cuña previenen el desajuste de las partes que ensamblan

Figura 3.1.4. Contactos del indicador de nivel

Relevador Buchholz: Este instrumento se utiliza cuando los transformares cuentan con un tanque de compensación de aceite o tanque de expansión. El relevador Buchholz es un dispositivo de detección de formación de gases en el transformador cuyas funciones principales son las siguientes:

1. Detectar la formación de gases dentro del transformador, causada por daños o fallas internas, y dar una señal cuando esta acumulación llega a niveles.
2. Dar aviso de desplazamientos demasiados rápidos de volumen de aceite dentro del transformador.

Los anteriores avisos son dados por contactos, estos contactos se muestran en la figura 3.1.5 y deben ser de un diseño especial, deben tener la suficiente estabilidad para no ser activados por algún suceso sísmico o de vibración. Este relevador es uno de los elementos de mayor importancia dentro del control, su operación oportuna pueden salvar la integridad del transformador.

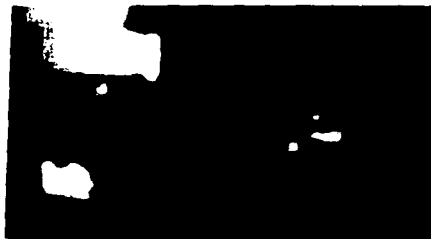
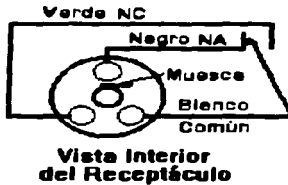


Figura 3.1.5. Contactos del relevador buchholz

Válvula de sobrepresión: Cuando opera la válvula, el movimiento del diafragma eleva el botón del conmutador y el conmutador cierra el circuito activando la alarma. En la Figura 3.1.6 se muestran los contactos de esta válvula estos son activados cuando la presión en los tanques sube hasta un nivel excesivo y llega a ± 10 Psi (68.95 Kpa), cuando los contactos han sido activados deben ser restablecidos manualmente para recuperar su condición normal de operación, este elemento da una señal de alarma únicamente pues solo protege contra sobre presiones.



Conmutador unipolar de dos direcciones con Contactos Normalmente Abiertos. El funcionamiento del dispositivo de envío cierra los contactos, permaneciendo así hasta la reposición del conmutador

Figura 3.1.6. Contactos de la válvula de sobrepresion

Existe otra variante de este mecanismo y se llama válvula de accionamiento rápido y diferencia de esta válvula esta si da una señal de disparo y es capaz de accionarse en tan solo unas fracciones de segundo, no es muy común pues resulta mucho mas cara que la de accionamiento normal, para tener una idea de que tan rápido es capaz de accionar esta válvula se puede ver la figura 3.1.7, en esta figura puede apreciarse como cuando la diferencia de presión es mayor a 5 psi el tiempo de respuesta será de 3 a cuatro ciclos de corriente alterna.

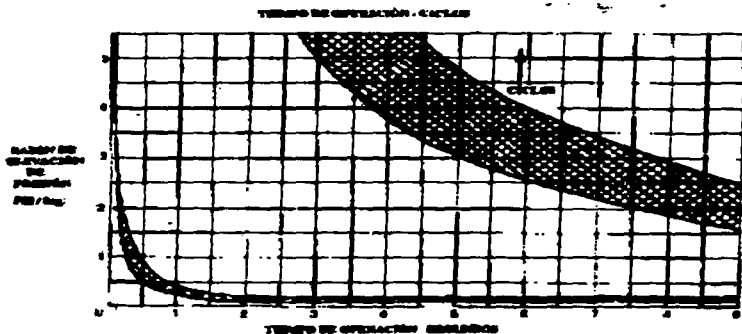
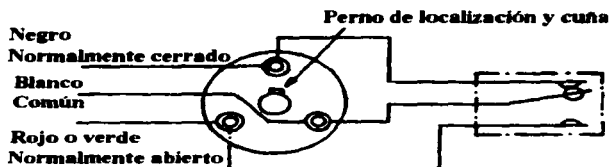


Figura 3.1.7. Accionamiento de la válvula de accionamiento rápido

Indicador de flujo de aceite como su nombre lo dice este instrumento se encarga de avisar la existencia de flujo de aceite, y se coloca a la salida de las bombas del transformador cuando este requiere de bombas, es decir, cuando el sistema de enfriamiento es el que se conoce como aceite forzado (FOA). El mecanismo impulsor está sellado, y aloja una paleta, un imán impulsor, flecha, un resorte que trabaja a torsión y topes para limitar la carrera. Los resortes de torsión mantienen la aguja contra un tope en la posición de "bomba apagada" ("pump off") para condiciones de bomba apagada, rotación equivocada de la bomba, restringido flujo de aceite o circuitos de aceite cerrados. Con la correcta rotación de la bomba, habrá suficiente velocidad del aceite para amarrar la aguja en la posición de bomba encendida ("bomba encendida"). Esto es indicación de que no existen restricciones en el flujo de aceite. Los contactos de

la alarma están normalmente cerrados en la posición de "bomba apagada" y abiertos en la posición de "bomba encendida". Los contactos cierran entre 40° y 55° desde la posición de "bomba encendida" ver figura 3.1.8.



Vista en dirección del receptáculo de las terminales de alarma del instrumento

Figura 3.1.8. Contactos de indicador de flujo

La tendencia actual respecto al control de transformadores es hacia las señales digitales, que tienen una manipulación más versátil, como el de la figura 3.1.9 que además de poder monitorear tres devanados puede medir el nivel de aceite y su temperatura, conformare los costos de los instrumentos de monitoreo son más accesibles se irán sustituyendo los actuales de señalización analógicas.

**MONITOR
ELECTRÓNICO
DE TEMPERATURA**
Para Transformadores Enfríados con Aceite

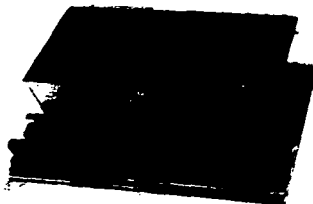
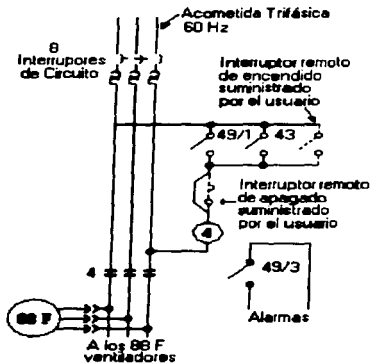


Figura 3.1.9. Monitor de temperatura

3.2 CONTROL DE ENFRIAMIENTO

El sistema de enfriamiento de un transformador esta diseñado en función de las pérdidas necesarias a disipar cuando el enfriamiento natural no es suficiente, se requiere de ventiladores, y cuando el tamaño del transformador sea lo suficientemente grande como para que los ventiladores no puedan disipar las pérdidas se colocaran bombas, para tener una idea de cómo es que se diseña el control de enfriamiento OA/FA de un transformador ver la figura 3.2.1



TODOS LOS APARATOS SE MUESTRAN EN POSICIÓN DE DESENERGIZACIÓN

- 4 CONTACTOR DE ENFRIAMIENTO
- 8 INTERRUPTOR DEL CIRCUITO
- 43 INTERRUPTOR DEL CONTROL DEL ENFRIADOR
- 49 POSITIVO TÉRMICO
 - 1 CONTACTO DEL VENTILADOR (78°C)
 - 2 CONTACTO DEL VENTILADOR (75°C)
 - 3 CONTACTO DE ALARMA (117°C)
 - 4 CONTACTO DE DESPARO (125°C)
- 88 F MOTOR DEL VENTILADOR

	Contacto Normalmente Abierto
	Contacto Normalmente Cerrado
	Elemento Térmico de Detección
	Interruptor del Circuito
	Dispositivo de Detención
	Botón de Operación
	Interruptor Momentáneo
	Interruptor Permanente

Figura 3.2.1. Típico Diagrama Esquemático para Control de Enfriamiento OA/FA.

La operación normal se realiza con el interruptor del circuito en la posición de cerrado y el interruptor 43 del control de enfriamiento en la posición de abierto. Bajo estas condiciones, el equipo de enfriamiento se energizará automáticamente mediante el dispositivo térmico 49-1 (HOT SPOT contacto 1).

El dispositivo térmico puede trabajar ya sea como un indicador de temperatura del devanado o como indicador de temperatura del aceite. La operación inicial es OA, es decir, sin la operación del equipo de enfriamiento. Cuando la carga del transformador se

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

CAPITULO 3 CONTROL Y REGULACIÓN DE VOLTAJE

incrementa, el contacto 49-1 del dispositivo térmico se cierra a su temperatura predeterminada y energiza al contacto 4 el cual activa el funcionamiento de los ventiladores. Cuando la carga del transformador decrece, el contacto 49-1 del dispositivo térmico se abre y desenergiza al contacto 4 haciendo que los ventiladores dejen de funcionar.

La figura 3.2.2 ilustra el esquema típico de control de un transformador OA/FA/FA. La operación normal se realiza con todos los interruptores del circuito cerrados, poniendo en posición automática a los interruptores de control de enfriamiento 43-1 y 43-2 y al interruptor de transferencia de enfriamiento 43-C en la posición 1.

El equipo de enfriamiento se energizará automáticamente por los contactos del indicador 49 de temperatura del devanado se energiza al Contactor 4-1 el cual activa a la mitad de los ventiladores de enfriamiento. Cuando la carga del transformador continúa incrementándose, el contacto 49-2 del indicador de temperatura de los devanados se cierra a su temperatura predeterminada. Esto energiza al contacto 4-2 el cual activa al resto de los ventiladores de enfriamiento.

Si se provee de un contacto de alarma de la temperatura del devanado, éste debe ser designado como 49-3. Este contacto se cierra si la carga del transformador sobrepasa a la indicada en la placa de datos. La temperatura para activar este contacto puede ajustarse según la norma de sobrecarga que indique el usuario. Los interruptores Auto-Manual 43-1 y 43-2 tienen tres posiciones: AUTO-OFF-MANUAL.

CAPITULO 3 CONTROL Y REGULACIÓN DE VOLTAJE

La posición **AUTO** es para funcionamiento normal. La posición **MANUAL** puede utilizarse para energizar cada uno de los grupos de ventiladores de funcionamiento continuo. La posición **OFF** desenergiza los ventiladores de ese grupo de enfriadores y se utiliza para el mantenimiento y procedimientos de reparación. La posición **OFF** también da señal de alarma a través del contacto de alarma 27-2 del relevador de bajo voltaje. El interruptor de transferencia 43-C tiene dos posiciones. En la posición 1, los ventiladores de los enfriadores del grupo uno son energizados por el contacto 49-1 de la temperatura del devanado. Los ventiladores de los enfriadores del grupo dos son controlados por el contacto 49-2 del indicador de la temperatura del devanado. Si el selector se mueve a la posición 2 la secuencia se invierte y los ventiladores de los enfriadores del grupo dos son energizados por el contacto 49-1 y los ventiladores de los enfriadores del grupo uno serán energizados por el contacto 49-2.

Esto le permite al usuario equilibrar el desgaste de los dos grupos de ventiladores cambiando periódicamente las posiciones del selector del interruptor. La posición del selector del interruptor debe cambiarse cada seis meses. Normalmente se proveen dos relevadores de bajo voltaje, 27-1 y 27-2.

El relevador 27-1 activará una alarma cuando se interrumpe el suministro de la fuente de poder de los enfriadores o cuando se abre el interruptor 8-1. El relevador 27-2 activa una alarma cuando por cualquier razón se pierde el control del voltaje o cuando cada uno de los interruptores **AUTO-MANUAL** 43-1 o 43-2 se mueven a la posición **OFF**.

CAPITULO 3 CONTROL Y REGULACIÓN DE VOLTAJE

posición 1. El equipo de enfriamiento se energizará automáticamente por los contactos del indicador 49 de temperatura de los devanados. Utilizarse para energizar cada uno de los grupos de ventiladores de funcionamiento continuo. La posición OFF desenergiza los ventiladores de ese grupo de enfriadores y se utiliza para el mantenimiento y procedimientos de reparación. La posición OFF también da señal de alarma a través del contacto de alarma 27-2 del relevador de bajo voltaje.

Esto le permite al usuario equilibrar el desgaste de los dos grupos de enfriadores cambiando periódicamente las posiciones del selector del interruptor. La posición del selector del interruptor debe cambiarse cada seis meses. Normalmente se proveen dos relevadores de bajo voltaje, 27-1 y 27-2. El relevador 27-1 activará una alarma cuando se interrumpe el suministro de la fuente de poder de los enfriadores o cuando se abre el interruptor 8-5. El relevador 27-2 activa una alarma cuando por cualquier razón se pierde el control del voltaje o cuando cada uno de los interruptores AUTO-MANUAL se mueven a la posición OFF.

Junto con el indicador de flujo de aceite se suministran dos contactos, 80Q-1 y 80Q-2, los cuales verifican que el aceite proveniente de las bombas esté fluyendo. Cuando primeramente se energizan las bombas, los contactos 80Q-1 y 80Q-2 permanecen cerrados por varios segundos hasta que el flujo de aceite alcanza su rango normal. Un relevador de retardo de tiempo TDC es utilizado en serie con los contactos 80Q para activar una alarma preventiva durante la generación del flujo inicial. La pérdida del flujo de aceite o una reducción substancial del mismo, la rotación inversa de las bombas o la falla de una bomba activan una alarma a través del contacto 2-TDC. La figura 3.2.3

también muestra un relevador de alarma 62 para desperfecto en los rodamientos de las bombas.

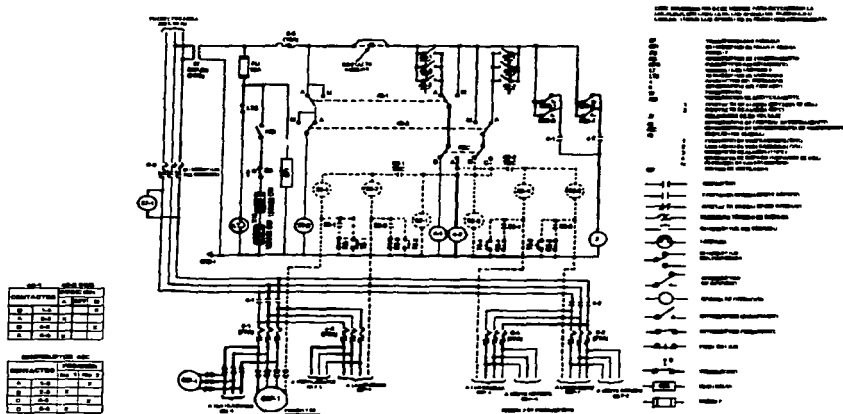


Figura 3.2.3. Típico Diagrama para Control de Enfriamiento OA/FOA/FOA.

Este dispositivo se suministra en caso de tener un balero no contaminante con un detector de rodamientos defectuosos. Los más comunes y caros de estos detectores son los que funcionan con cristales piezoeléctricos, que mandan una señal y toman el tiempo que tarda en regresar la señal, cuando existe un desgaste el tiempo de retorno de la señal cambia y se activa una señal, ver figura 3.2.4 estos se colocan radial y

axialmente para medir los desgastes en ambas direcciones que se presenten, este instrumento es de carácter preventivo.



Figura 3.2.5. Típico Diagrama para Control de Enfriamiento OA/FA/FOA.

CAPITULO 3 CONTROL Y REGULACIÓN DE VOLTAJE

Un esquema alternativo se muestra en la figura 3.2.5, en dicho esquema se observa que únicamente se utilizan ventiladores en el primer paso de enfriamiento, y ventiladores y bombas en el segundo paso de enfriamiento.

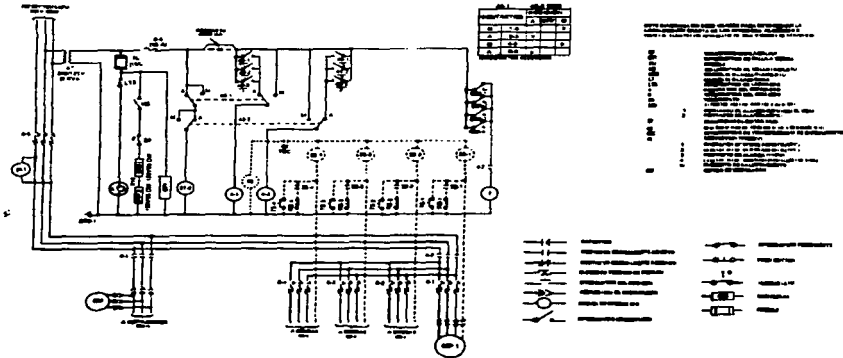


Figura 3.2.5. Típico Diagrama para Control de Enfriamiento OA/FA/FOA.

La operación del esquema OA/FA/FOA, es muy similar a la operación OA/FOA/FOA. Antiguamente se tenía el problema que cuando se activaban las bombas todas al mismo tiempo se producía un movimiento muy brusco del aceite, que en ocasiones activaba el elevador buchholz sacando de operación el transformador esto se evita colocando en el circuito de alimentación relevadores temporizados para activar las bombas secuencial mente.

3.3 DIAGRAMAS DE ALAMBRADO

Al manejar tantas señales de monitoreo en un transformador es necesario que estas se representen en los planos de control, estos por norma deben de ser de dos tipos, los que representen las alarmas y el circuito de fuerza, y los que representen el acomodo físico de los instrumentos dentro del gabinete de control, la forma de presentar estos dos tipos de planos varia de acuerdo al fabricante y cantidad de alarmas que se tengan, para poder dar una idea de cómo se debe de representar las alarmas y arreglos físicos se analizaran dos de estos diagramas el primero es de alambrado esquemático y se muestra completo en la figura 3.3.1, es importante ver como en los recuadros inferiores se dan los datos del tipo de transformador y diseñadores, así como las revisiones que se hagan a los dibujos. En la parte superior izquierda de la figura 3.3.1 se encuentran representados los contactos de los instrumentos anteriormente vistos con su respectiva nomenclatura acorde con la norma ANSI / IEE C 37.2 y su leyenda si se trata de una señal de alarma o disparo (recordando que el disparo saca de trabajo al transformador), en el otro extremo encontramos, esquina superior derecha se explica la nomenclatura de los instrumentos que en este caso intervienen además de la marca de algunos de ellos, la simbología eléctrica que se emplea en el circuito de fuerza se encuentra en la parte inferior del recuadro mencionado, ver figuras 3.3.2, 3.3.3, 3.3.4.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

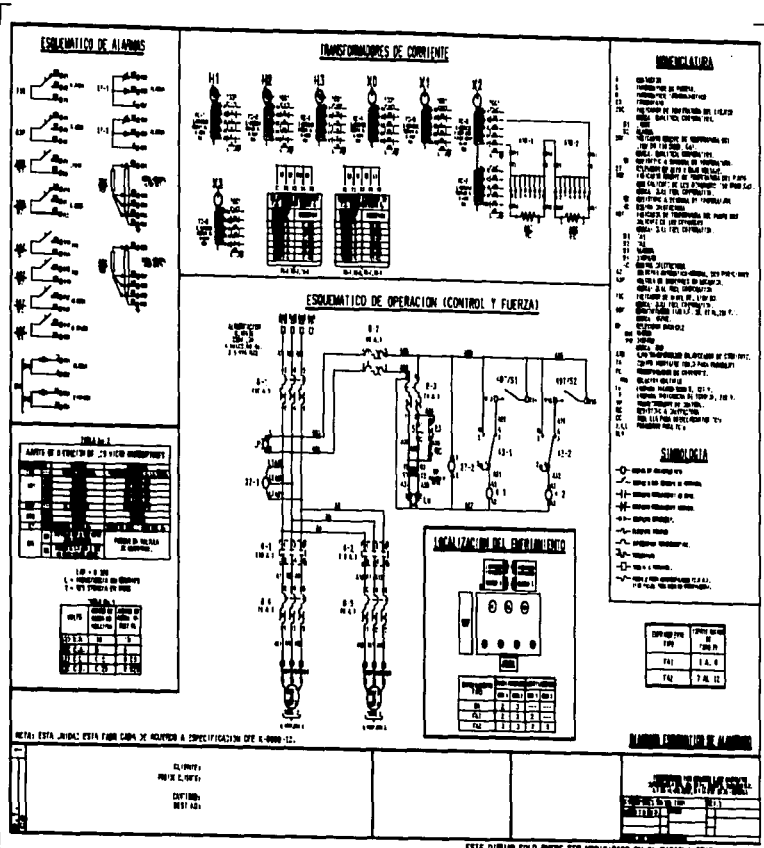


Figura 3.3.1. Típico Diagrama esquemático de fuerza y control.

ESQUEMATICO DE ALARMAS

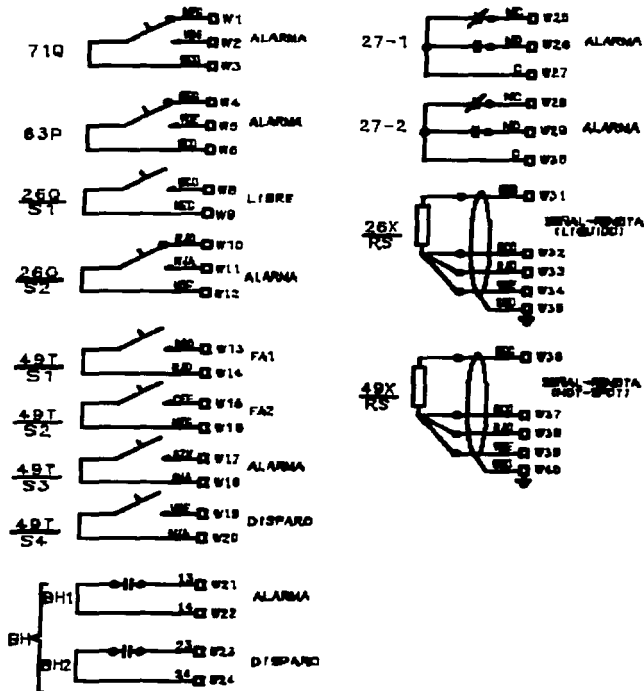


Figura 3.3.2. Esquemático de alarmas.

CAPITULO 3 CONTROL Y REGULACIÓN DE VOLTAJE

4	CONTACTOR
5	INTERRUPTOR DE PUERTA.
8	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO.
23	TERMOSTATO
28Q	INDICADOR DE TEMPERATURA DEL LIQUIDO.
	MARCA: QUALITROL CORPORATION.
	S1 LIBRE
	S2 ALARMA
26X	INDICADOR REMOTO DE TEMPERATURA DEL LIQUIDO (10 OHMS, C.U).
	MARCA: QUALITROL CORPORATION.
RS	RESISTENCIA SENSORA DE TEMPERATURA.
27	RELEVADOR DE ALTO Y BAJO VOLTAJE.
49X	INDICADOR REMOTO DE TEMPERATURA DEL PUNTO MAS CALIENTE DE LOS DEVANADOS (10 OHMS, C.U).
	MARCA: QUALITROL CORPORATION.
RS	RESISTENCIA SENSORA DE TEMPERATURA.
HC	BOBINA CALEFACTORA.
48T	INDICADOR DE TEMPERATURA DEL PUNTO MAS CALIENTE DE LOS DEVANADOS.
	MARCA: QUALITROL CORPORATION.
	S1 FA1
	S2 FA2
	S3 ALARMA
	S4 DISPARO
	HC BOBINA CALEFACTORA.
43	SELECTOR AUTOMATICO-MANUAL, DOS POSICIONES.
63P	VALVULA DE SOBREPRESION MECANICA.
	MARCA: QUALITROL CORPORATION.
71Q	INDICADOR DE NIVEL DEL LIQUIDO.
	MARCA: QUALITROL CORPORATION.
88F	MOTOVENTILADOR 1178 H.P. 3Ø, 60 Hz, 220 V.).
	MARCA: KRENZ.
BH	RELEVADOR BUCHHOLZ.
	BH1 ALARMA
	BH2 DISPARO
	MARCA: EMB.
ATB	AUTOTRANSFORMADOR BALANCEADOR DE CORRIENTE.
IA	EQUIPO INERTARE (SOLO PARA EMBARQUE).
TC	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE.
RM	RELACION MULTIPLE.
Lq	LAMPARA INCANDESCENTE, 127 V.
LP	LAMPARA INDICADORA DE TENSION, 220 V.
TP	TRANSFORMADOR DE CONTROL.
RC	RESISTENCIA CALEFACTORA.
CC	TABLILLA PARA CORTOCIRCUITAR TC's.
J,K,L	PASAPLUMBOS PARA TC's
M,N	

Figura 3.3.3. Nomenclatura.

CAPITULO 3 CONTROL Y REGULACIÓN DE VOLTAJE

En la parte central del dibujo esquemático se representan los transformadores de corriente, en las boquillas que se encuentran físicamente, además de una tabla con las relaciones de transformación que se puede obtener al tomarlas de sus diferentes puntas, estas puntas se bajan hasta el gabinete de control, en el dibujo de la representación física podremos ver como se encuentran las clemas de las puntas de TC, en este punto vale la pena recordar la identificación de cada punta para poder localizar alguna más rápido en el dibujo físico, ver figura 3.3.5.

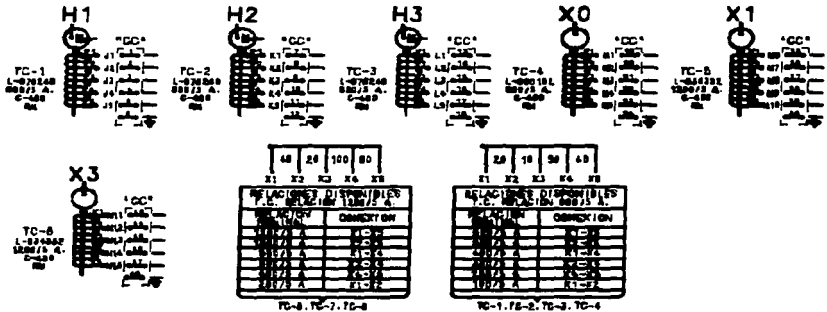
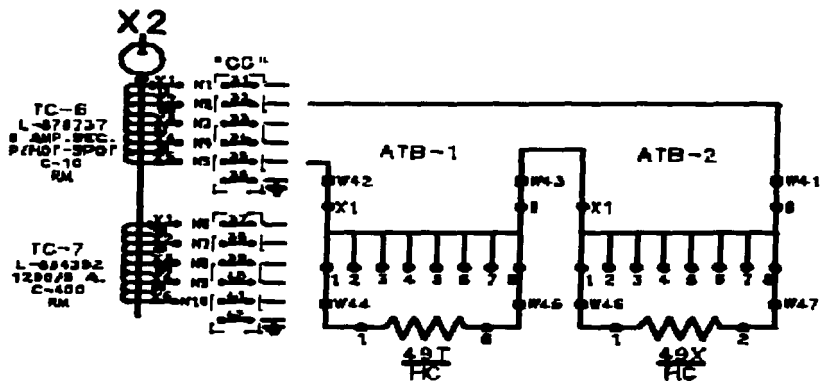


Figura 3.3.5. Transformadores de corriente.

En esta misma zona se encuentra la conexión del hot spot con su respectivo transformador de corriente, se observa como del transformador de corriente se pasa a los autobalancedores para afinar la precisión y dar a la resistencia calefactor una

CAPITULO 3 CONTROL Y REGULACIÓN DE VOLTAJE

corriente adecuada, en este caso se tienen dos ATB conectados en serie uno para la resistencia calefactor del indicador del punto mas caliente del devanado (hot spot) local y otro para la resistencia del indicador del punto mas caliente del devanado que manda una señal remota o a distancia por medio de un RTD, para apreciar su detalle de alambrado ver el dibujo 3.3.6 sin perder de vista la identificación de las puntas para poder localizarlas en el dibujo físico, por ejemplo las CC W41, W42, W43.



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Figura 3.3.6. Conexión del hot spot.

CAPITULO 3 CONTROL Y REGULACIÓN DE VOLTAJE

En la parte central se encuentra el diagrama de fuerza para controlar los ventiladores este, es muy parecido a los ya explicados anteriormente junto con este diagrama se puede ver la representación de la secuencia de funcionamiento de ventiladores para los pasos de enfriamiento y el número de ventiladores y radiadores por banco, una técnica importante para activar los ventiladores del primer paso de enfriamiento es que entren primero los que se encuentran en la parte superior del banco de radiadores que es donde se encuentra el aceite mas caliente, junto a esta representación se encuentra la identificación de fusibles colocados en el gabinete de enfriamiento y representados en el dibujo físico, ver figura 3.3.7.

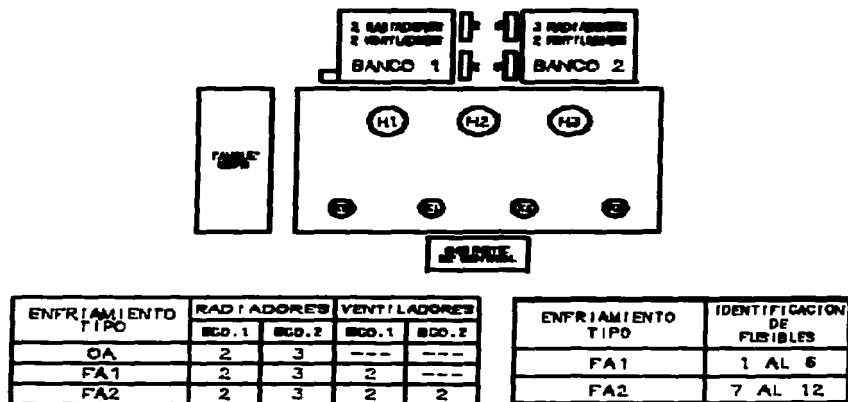


Figura 3.3.7. Localización de enfriamiento y fusibles.

CAPITULO 3 CONTROL Y REGULACIÓN DE VOLTAJE

Por ultimo en este dibujo esquemático en la parte inferior izquierda se da información sobre los ajustes de contactos de todos los instrumentos que se representaron, con el fin de ver cuando se activan o como se puede restablecer, después de una activación, ver figura 3.3.8.

AJUSTE DE OPERACION DE LOS MICROINTERRUPTORES		
INSTRUMENTO	UNIDAD	APERTURA
71R	---	POSICION BAJA
48T	51	700V
	52	700V
	53	1000V
	54	1000V
53P	---	MANUAL MUYE
28D	51	MANUAL
	52	MANUAL
27	NO	ENTRE EL 15% Y 105% DEL V _N
BH	0011	CIERRA A 200 ± 300 mA DE C.A. A 220V
	0012	CIERRA A 1.5 m/p ± 13% DE VELOCIDAD DEL ACEITE.

$L/R = 0.026$
 L = INDUCTANCIA EN HENRIES
 R = RESISTENCIA EN OHMS

TABLA No. 1

VOLTS	AMPERS DE CARGA NO INDUCTIVA	AMPERS DE CARGA INDUCTIVA
127 C.A.	10	10
220 C.A.	5	5
127 C.D.	0.5	0.05
220 C.D.	0.25	0.025

Figura 3.3.8. Ajustes de contactos.

CAPITULO 3 CONTROL Y REGULACIÓN DE VOLTAJE

Junto con el dibujo esquemático se debe interpretar el de arreglo físico, dibujo en el cual se da una representación aproximada de la localización de todo lo anteriormente visto en la figura 3.3.9 se puede ver como en este caso el dibujo tiene cuatro partes principales en las que se dan diferente tipo de información, esta información va ligada a la presentada en el esquemático, por ejemplo si se quisiera seguir la secuencia de alambrado de fuerza, control o transformadores de corriente se tendría que consultar las tablas de alambrados presentadas con mas detalle en la figura 3.3.10 las cuales se interpretan de la siguiente manera:

Se ubica el número de guía en la tabla de alambrado y se ve a que tipo de tablilla corresponde, por ejemplo en la tabla de tablillas w la guía 1 corresponde a la tablilla w1 que conecta el alambre negro del indicador de nivel 71Q, en la tabla de tablillas CC la guía 1 indica que la tablilla CC1 conecta la punta del transformador de corriente J1, en la tabla de alambrado de fuerza podemos ver como la guía A5 conecta la punta del Contactor 8-2 con el Contactor 8-1 en su punta 6 y el extremo 1 de la lámpara, lo anterior quiere decir que la persona que se encarga de alambra tiene que unir con cable las puntas mencionadas, este procedimiento se realiza en cada guía hasta terminar la tabla, el diseñador debe tener cuidado de no equivocarse al especificar la tabla pues un error en esta puede ocasionar algún corto circuito, lo mismo implica para la persona que se encarga de interpretar la tabla y realizar el alambrado de los componentes.

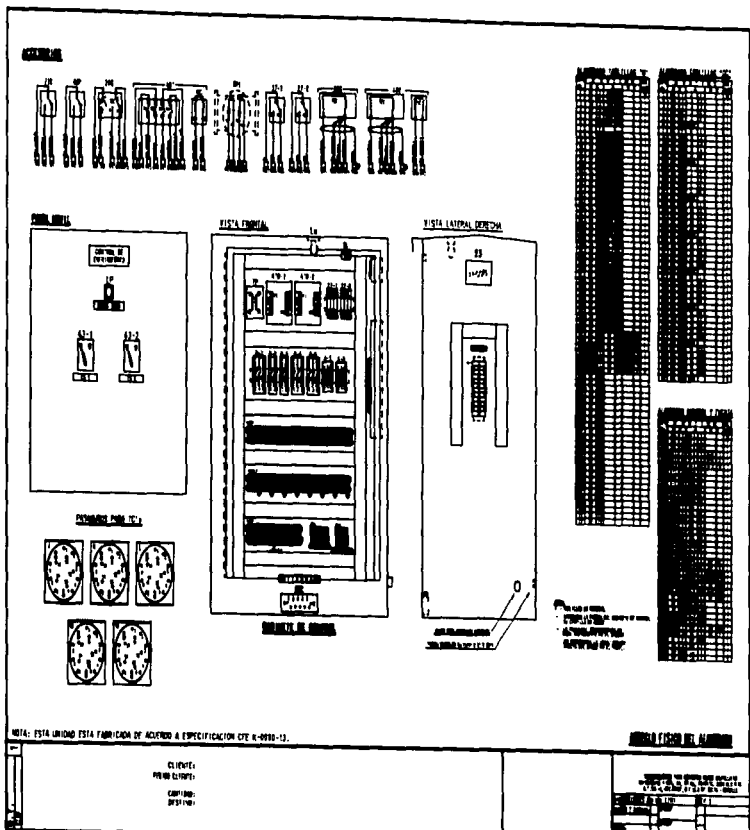


Figura 3.3.9. Diagrama físico de gabinete.

TESIS CON
 FALTA DE ORIGEN

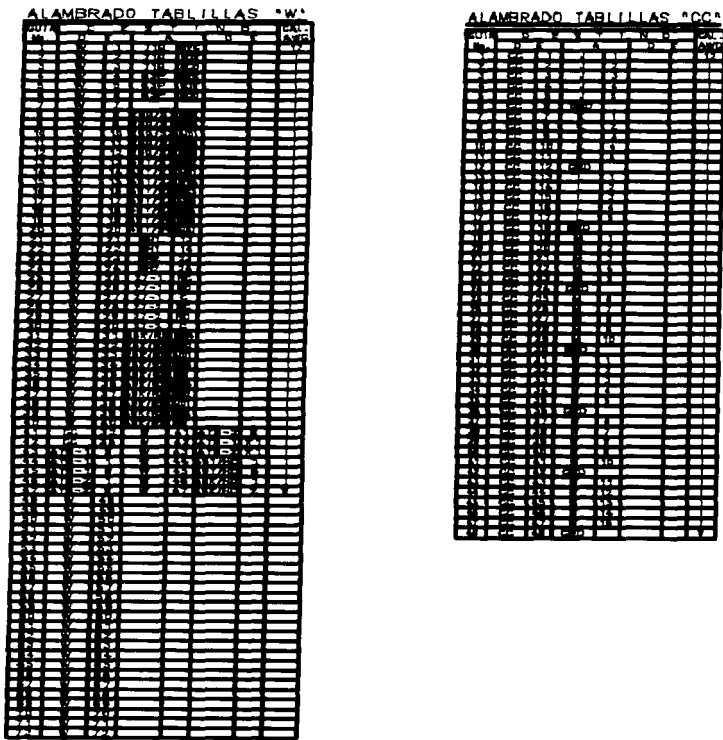


Figura 3.3.10. Tablillas W y CC.

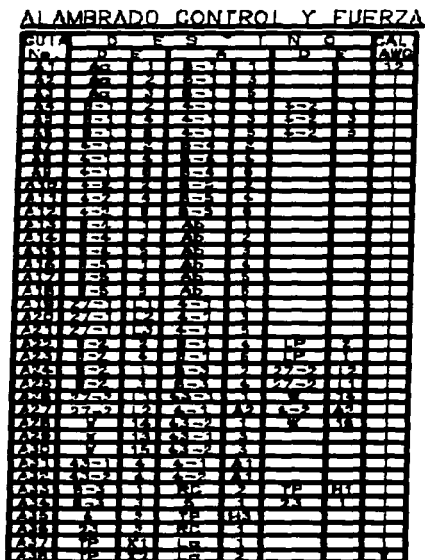


Figura 3.3.10. Alambrado de fuerza.

En la parte inferior izquierda se encuentran representados los llamados pasamuros que tienen como función sacar al exterior las puntas de los transformadores de corriente vistos en el dibujo esquemático, estos pasa muros se localizan en las paredes del

transformador, obsérvese como en el pasamuros J se junta la punta del TC-1 que es la tablilla CC1 en el gabinete de control, este TC esta colocado en la boquilla H1.ver figura 3.3.11.

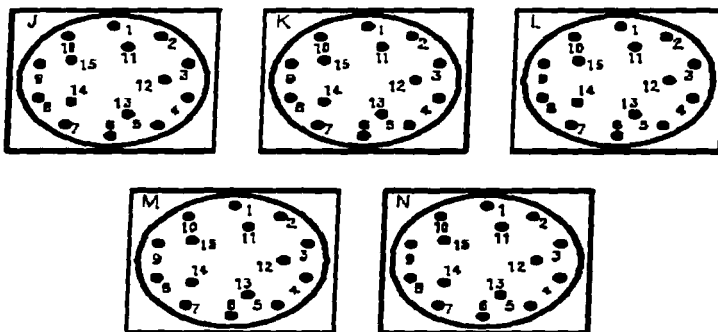


Figura 3.3.11. Pasamuros de transformadores de corriente.

En la parte central se encuentra el arreglo físico del gabinete, en el que se pueden ver como han sido colocados los interruptores, contactares, ATBs, tablillas W, tablillas CC, tablillas de fusibles para los ventiladores, lámpara, y la resistencia calefactor la cual cuenta con un termostato que mantiene la temperatura interna constante sobretodo en regiones donde las temperaturas alcanzan muchos grados bajo cero, este tipo de gabinetes debe ser de construcción especial pues deben de resistir las condiciones

adversas y extremas del clima, además su diseño no debe permitir el ingreso ni el estancamiento del agua. La figura 3.3.12 a) y b) muestran una vista lateral y frontal del gabinete con todos los detalles.

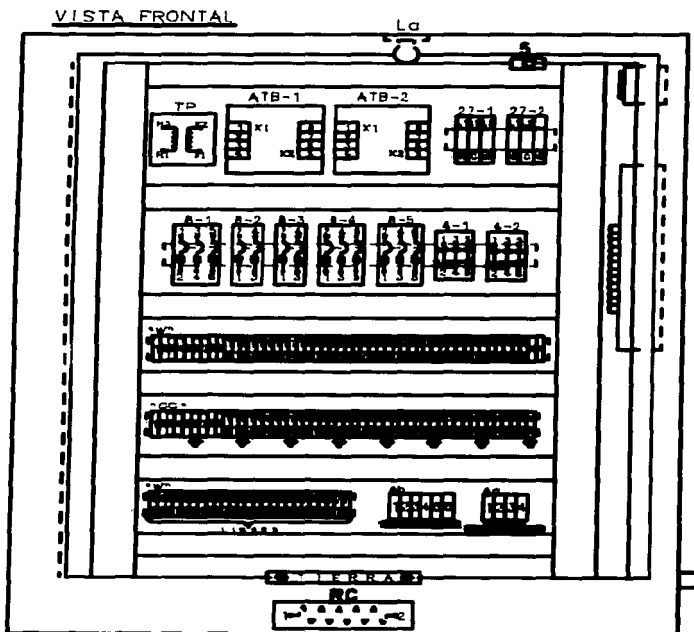


Figura 3.3.12. a) Vista frontal del gabinete de control.

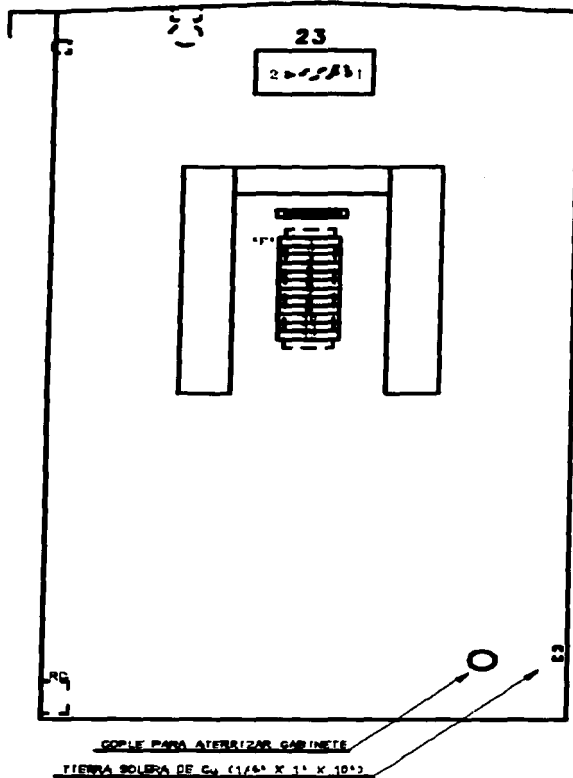


Figura 3.3.12. b) Vista lateral del gabinete de control.

3.4 REGULADORES DE TENSION

El auge de la automatización se dio a finales de los años sesenta y no podía dejar de afectar el campo de la generación y distribución de corriente eléctrica, las variaciones de voltaje en las líneas de distribución debidas a la demanda del mismo era compensada por aparatos a los que se les dio el nombre de reguladores de tensión, estos tenían la misión de estar detectando los niveles de voltaje para que en caso de existir una variación mandaran una señal al motor de cambiador de derivaciones, para desplazarse a la posición que permitiera satisfacer la demanda en sus orígenes estos instrumentos eran tan simples como el que se muestra en la figura 3.4.1, cabe resaltar su básica circuitería con ningún circuito integrado, y su robusto diseño para trabajar al intemperie ya sea montado en el transformador o en un gabinete adjunto al transformador, pero que en su momento ayudo a solucionar el problema, esto se menciona por que en la actualidad el pesar en no tener ninguna salida de comunicación hacia puertos RS-232 o RS485 resulta imposible.

Los reguladores modernos tienen una desventaja y es que cuando son colocados en un gabinete sobre el transformador sobre todo si este transformador es de tipo homo los campos electromagnéticos intensos pueden alterar el funcionamiento, en la actualidad las compañías recomiendan colocar el regulador alejado del transformador, y se centran trabajando en formas de blindar el regulador.

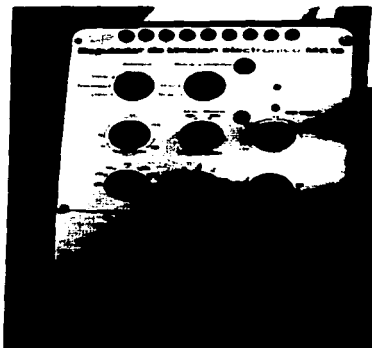


Figura 3.3.1. Rudimentario regulador de voltaje.

3.4.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Los reguladores de voltaje requieren básicamente dos entradas, para poder realizar su trabajo, esta son una de voltaje y otra de corriente estas son tomadas de la línea de distribución y reducidas proporcionalmente por transformadores de corriente y de potencial, identificados como CT y PT en la figura 3.4.2. Con estas dos señales el algoritmo del aparato compara los niveles de voltaje locales máximo y mínimo con el valor de consigna o programado en el aparato para ser regulado ver figura 3.3.3, además del ángulo de fase entre el voltaje y la corriente, en el caso de existir una

variación espera un tiempo determinado en el que si no regresan a su valor determinados manda la señal de cambio al motor del cambiador para que este se mueva y compense esa variación de voltaje,

En el diagrama de conexión, se muestra como pueden ser alambrados unos selectores de mando manual para poder activar el cambiador identificado con la letra M.

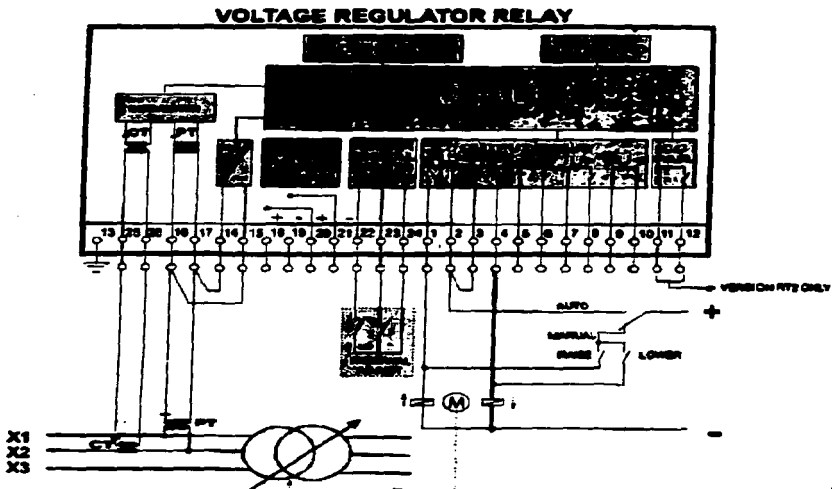


Figura 3.4.2. Diagrama clásico de conexión. de un regulador de voltaje

CAPITULO 3 CONTROL Y REGULACIÓN DE VOLTAJE

Este modelo en especial cuenta con tres contactos para señalización de parámetros de voltaje y corriente este diagrama que se muestra es el más simple, este tipo de diagramas se comienza a complicar si se alambra junto con un modulo de paralelaje, para poder controlar varios transformadores al mismo tiempo, ver figura 3.4.4

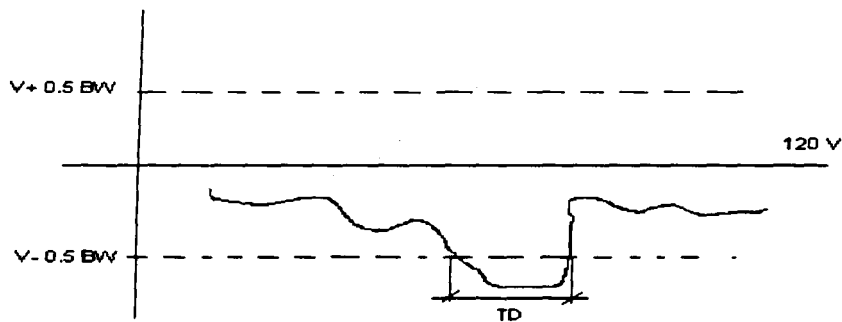
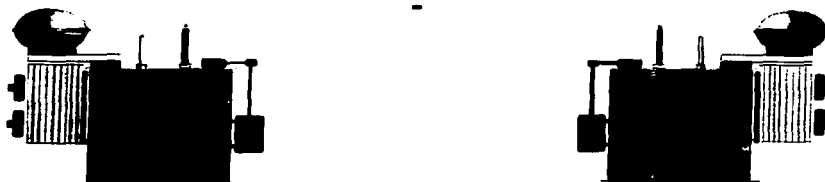


Figura 3.4.3. Valor de consigna.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



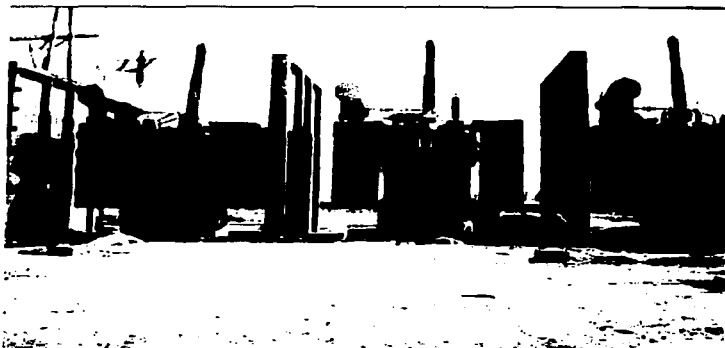
Digital and analog communication



Figura 3.4.4. Control de paralelaje y regulación.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO 4



PARALELAJE DE TRANSFORMADORES

94

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.1 TRANSFORMADORES EN PARALELO

La conexión de transformadores en paralelo se hace necesaria debido a los incrementos de la demanda que superan la capacidad existente o cuando los requerimientos de confiabilidad y continuidad de operación lo exigen, este es el caso, que si un transformador falla, el otro continuará alimentando la carga sin interrupción. Cuando la demanda de energía se reduce temporalmente, resulta más económico operar un transformador pequeño cerca de su límite de capacidad a plena carga que un transformador mayor a capacidad reducida. Por lo que, cuando la demanda energética es muy fluctuante resulta más provechoso la instalación de dos o más transformadores en paralelo que utilizar un transformador de gran capacidad. En estas condiciones el sistema es más flexible porque tiene la posibilidad de agregar una parte de los transformadores en paralelo cuando sea necesario.

Por otra parte el reglamento de servicio de compañías de distribución de energía eléctrica como Comisión Federal de Electricidad, exigen como demanda contratada (cobrada en Bs/KVA) por lo menos el 30% de la capacidad de transformación instalada en la industria y si se están operando los transformadores por debajo de ese nivel de carga, resultará costoso mantener un transformador de gran capacidad subutilizado.

CAPITULO 4 PARALELAJE DE TRANSFORMADORES

Dos transformadores monofásicos operarán en paralelo si se conectan con la misma polaridad. Dos transformadores trifásicos operarán en paralelo si tienen el mismo arreglo en los devanados (por ejemplo, Y-delta), están conectados con la misma polaridad, tienen la misma rotación de fase y su desplazamiento angular es el mismo. Para conectar dos transformadores en paralelo, los diagramas de tensión deben coincidir. Por supuesto, es necesario que los dos transformadores tengan impedancia, capacidad nominal y frecuencia similares. La división de la corriente de carga, en proporción a las capacidades de KVA de los transformadores en paralelo está determinada por la igualdad de sus voltajes nominales, relación de vueltas en los devanados, porcentaje de impedancias y relaciones de su reactancia a su resistencia.

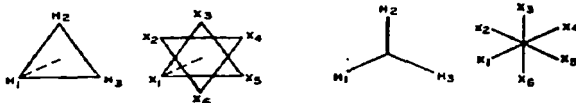
Si estas condiciones no se cumplen, las corrientes de carga no se pueden dividir proporcionalmente en las capacidades nominales de KVA de los transformadores, y puede surgir una diferencia de fase entre las corrientes.

4.1.1 CONEXIONES ESTANDARIZADAS

Para simplificar la conexión de los transformadores en paralelo y evitar la necesidad de pruebas de polaridad, rotación de fase, etc., el ANSI en su norma C 57. 12. 70-1964 (R-1971) uniforma las marcas y la conexión para transformadores de distribución y

potencia. Los transformadores marcados según tal norma, pueden operar en paralelo por la simple conexión de terminales numeradas igualmente. Por supuesto, esto es aplicable a los transformadores que tienen características similares como la relación de vueltas, impedancia, desplazamiento angular, etc. Los transformadores trifásicos se clasifican en tres grupos según su desplazamiento angular, como se muestra en la figura 4.1.1.

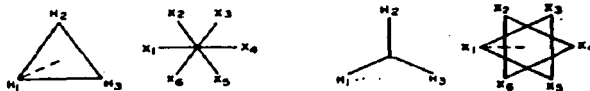
Group 1
Angular Displacement 0°



(a)

(b)

Group 2
Angular Displacement 30°



(c)

(d)

Six-Phase Transformers without Taps

Group 3
Angular Displacement 30°

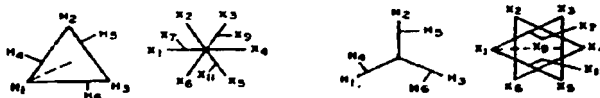


Figura 4.1.1. Grupos de transformadores.

CAPITULO 4 PARALELAJE DE TRANSFORMADORES

Su construcción no implica mayores complicaciones que las del método para conexiones de 3 fases a 3 fases

Para operar en paralelo, los transformadores deben pertenecer al mismo grupo. Ningún intercambio de terminales externos origina el cambio de un grupo a otro. Entonces, si se tienen dos transformadores delta-delta, uno de los cuales corresponde al grupo I y el otro al grupo II, no pueden operar en paralelo. Si se superpusieran los diagramas de la tensión de estos transformadores, los diagramas de baja tensión no coincidirían.

Sin embargo, todos los transformadores Y-delta o delta-Y se pueden reducir a un mismo diagrama y por lo tanto clasificarse en un mismo grupo. Esto se logra invirtiendo las tensiones del secundario, si la relación de vueltas es tal que los voltajes se igualen. Un banco Y-Y puede operar en paralelo con un banco Y-Y similar o con un banco delta-delta, pero ninguno de estos bancos puede operar paralelo con un banco delta-Y o Y-delta

En la conexión de transformadores en paralelo, con unidades nuevas o existentes, los factores importantes a considerar son la economía, confiabilidad y continuidad de operación.

CAPITULO 4 PARALELAJE DE TRANSFORMADORES

La operación de transformadores en paralelo puede ser necesaria debido a un incremento de la carga, mayor que la capacidad de los transformadores existentes, por la necesidad de tener disponible la mitad de la capacidad total de los transformadores si falla una unidad o por la necesidad de que el suministro no se interrumpa en caso de que falle un transformador.

Los transformadores que operan en paralelo, deben tener la misma relación vectorial, una relación de vueltas aproximadamente igual y una impedancia igual o similar. Si se van a adquirir nuevas unidades para operar en paralelo, se deben indicar los requisitos en las especificaciones. Igualmente, al adquirir un nuevo transformador para operar en paralelo con una unidad existente, la impedancia y la capacidad nominal de KVA de la unidad existente se deben poner en las especificaciones.

Es aconsejable mostrar al fabricante el esquema ilustrado en la placa de identificación y el número de serie de la unidad existente. También, se debe indicar si hay la provisión para equipo de enfriamiento en el transformador existente.

Es recomendable pedir los diagramas de la placa de identificación para aprobación, con la impedancia de diseño indicada. La impedancia real probada se debe grabar sobre la placa metálica de identificación. La revisión de estos dibujos asegurará la comprobación final, necesaria para la operación apropiada de los transformadores en paralelo.

4.2. OPERACIÓN EN PARALELO

Las condiciones teóricamente ideales para la operación en paralelo de los transformadores son:

1. Idéntica relación de vueltas y voltajes nominales.
2. Igual porcentaje de impedancias.
3. Igual relación de resistencias y reactancias.
4. Misma polaridad.
5. Mismo desplazamiento de fase.
6. El mismo sentido de rotación de fases.

Para transformadores monofásicos únicamente son aplicables las cuatro primeras condiciones, ya que no hay rotación de fases, ni desplazamiento angular, debido a la transformación del voltaje. Si la relación de vueltas no es igual, fluirá corriente circulante, aun estando los transformadores sin carga. Si el porcentaje de impedancia o la relación de resistencia a reactancia son diferentes, no habrá corriente circulante en operación sin carga, pero la división de la carga entre transformadores, cuando esta se aplique, no será proporcional a la capacidad en kVA esperada.

Para transformadores trifásicos, permanecen validas las mismas condiciones, excepto que en este caso debe tomarse en consideración la cuestión de rotación de fases y el desplazamiento angular

4.2.1 ROTACION DE FASES

La rotación de fases se refiere al orden en el cual los voltajes terminales alcanzan su valor máximo. Para la conexión en paralelo, aquellas terminales, donde ocurran simultáneamente los voltajes máximos, deben de estar apareados. La practica en transformadores de potencia. La anterior exposición cubra teóricamente los requisitos ideales, para la conexión en paralelo. En la practica, una buena conexión en paralelo se obtiene, aun cuando las condiciones actuales del transformador se desvíen, por pequeños porcentajes de las teóricas.

Una buena conexión en paralelo se considera como realizable, cuando el porcentaje de impedancia de dos devanados de los transformadores, están dentro del 7.5%, de uno con respecto al otro. Para transformadores de devanados múltiples y para autotransformadores, él limite aceptable es 10%.

Además, en transformadores de potencia, de diseño normal, la relación de resistencia a reactancia es generalmente lo suficientemente pequeña para considerar este requisito como de igual relación y de una importancia despreciable en la conexión en paralelo.

Cuando se desea conectar en paralelo transformadores que tengan una amplia diferencia de impedancias. Deben emplearse reactores o autotransformadores con una relación adecuada.

Si se emplea un reactor, este debe conectarse en serie, con el transformador de la menor impedancia. El total del por ciento de impedancia del transformador, mas el del

reactor, debe de ser de un valor suficiente para acercarse al del porciento de impedancia del segundo transformador. Cuando se emplee un autotransformador, las corrientes relativas suministradas por cada transformador son determinadas por la relación de las dos secciones del autotransformador. El autotransformador adiciona un voltaje a la caída de tensión en el transformador de la impedancia menor y resta un voltaje de la caída de tensión en el transformador de la impedancia mayor. Los autotransformadores, para emplearse en las conexiones en paralelo de transformadores, son diseñados especialmente para cada instalación en particular.

La forma de conexión del autotransformador se muestra en un diagrama de alambrado, suministrado para cada instalación.

En general, los transformadores fabricados con las mismas especificaciones de manufactura, tal como se indican en la placa de datos, pueden operar en paralelo.

En la conexión de transformadores en paralelo, cuando el voltaje de baja tensión es relativamente bajo, se debe tener cuidado de observar que las barras o conductores de conexión tengan aproximadamente la misma impedancia ya que de otra manera, la corriente no se dividirá apropiadamente.

4.3. PARALELAJE DE BANCOS DE TRANSFORMADORES

Existen dos formas de poner en paralelo transformadores que cumplan con las condiciones anteriores, estas son por el método de corrientes circulantes y el de paso a

paso que también se conoce como maestro seguidor, el método usado en nuestro país por las empresas suministradoras de energía eléctrica es el de maestro seguido, para poder entender como se realiza este proceso podemos ver la figura 4.3.1.

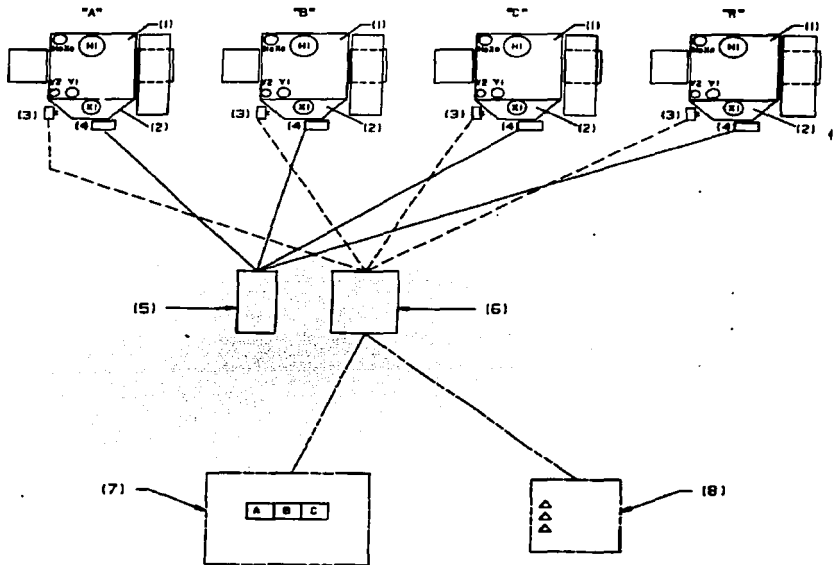


Figura 4.3.1. Paralelaje de un banco de transformadores.

Los transformadores colocados en paralelo de este ejemplo son:

Auto transformadores tipo columnas

clase OA/FA,

25/33 MVA monofásicos

de 60 HZ

y 55 °C,

Para trabajar a una altitud de 1000 metros sobre el nivel del mar,

A:T. 161 /1.73 +-10% KV,

B:T. 115/1.73 KV,

T:T. 13.8 KV.

Estos están identificados por la fase que le corresponde, es decir fase A, B, C, y R que es la reserva por si se requiere sacar alguna de las fases de operación, los números dos corresponden a los cambiadores, los tres son los mandos a motor, los números cuatro son los gabinetes de control de enfriamiento y señalización de alarmas, el numero cinco corresponde al gabinete centralizador de los gabinetes de enfriamiento individuales de cada auto transformador, los seis son gabinetes centralizadores de control de cambiadores que incluye

- a) Selector remoto fuera-local
- b) Selector para determinar que fase será la maestra y cual es los seguidores.
- c) Una botonera para subir posiciones, o bajar posiciones.
- d) Un indicador de posiciones de cada fase.

El numero siete es el gabinete de reguladores de voltaje y relevadores de paralelaje, como el que se muestra en la figura 4.3.2.

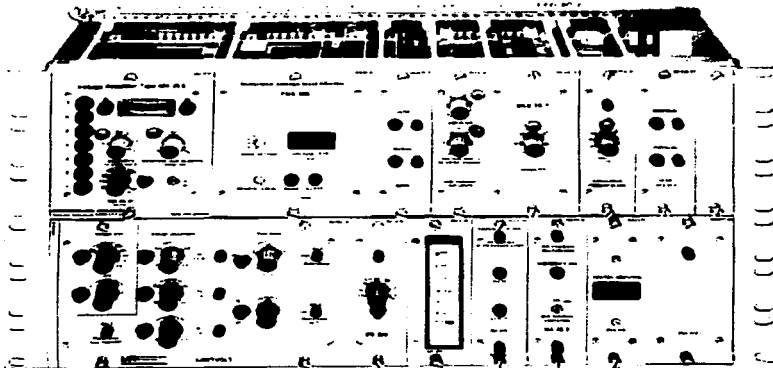


Figura 4.3.2. regulador de tensión y modulo de paralelaje.

con los elementos anteriormente se puede formar un banco de transformadores que funcionaran en paralelo, si se quiere formar dos bancos de transformadores, se tendrán que agregar otros tres que formen otras fases A, B, C y que ocuparan la misma reserva, la variante para este caso es que se tendrán un estar de gabinetes centralizadores de enfriamiento y de control de cambiadores, los dos gabinetes de control centralizado de cambiadores llegaran a uno solos donde se encontraran los siete reguladores de voltaje

y de paralelaje, ver la figura 4.3.3, la tendencia en este campo es hacia poder controlar con un solo regulador hasta cuatro bancos de transformadores es decir 12, esto simplificaría enormemente el sistema pues tan solo el alambrar a un solo instrumento y no a doce ahorraría mucho tiempo, y dinero, la tendencia hacia el control total de los sistemas eléctricos y la electrónica moderna.

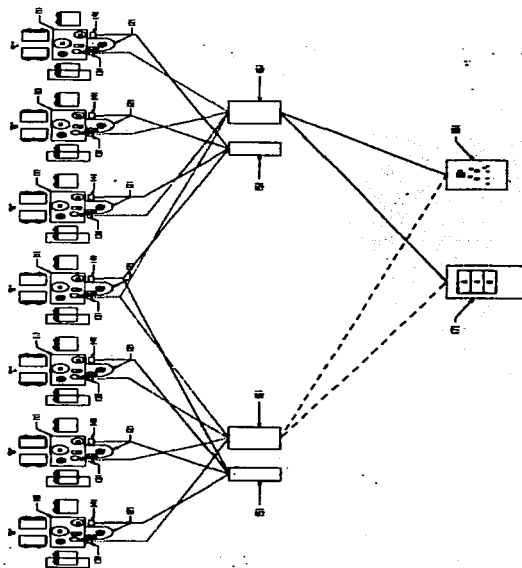


Figura 4.3.3. paralelaje de dos bancos de transformadores.

CAPITULO 4 PARALELAJE DE TRANSFORMADORES

Pueden permitir la adaptación de algún PLC, que maneje las variables de entrada y salida, además estas pueden ser transmitidas por microondas como lo muestra la figura.

CONCLUSIONES

TESIS CON
FALLA DE ALIEN

CONCLUSIONES

Al terminar el presente trabajo se puede dar una cuenta, como a pesar de que en primera instancia la teoría resulte sencilla, no lo es así para la práctica pues en muchas ocasiones cuando se va a poner en operación un transformador nuevo siempre se tienen problemas en el control; es por eso que se requiere de un profundo conocimiento de algunos de los diagramas mostrados en este trabajo, además de una visión para poder congojar en este campo las tendencias modernas de supervisión de tiempo real y protocolos nuevos de comunicación; que permitan aplicar tecnologías como la inteligencia artificial.

El alto costo de los transformadores de potencia, permite que todos los recursos disponibles para su correcto funcionamiento no se escatimen y podemos ver como se gastan miles de dólares en un solo cambiador de derivaciones o reguladores de voltaje; en lo personal. Pensamos que el desarrollo de estos elementos podría darse en algunas instituciones de enseñanza que trabaje con la industria privada para el desarrollo de estos elementos; como no los demuestran las universidades brasileñas; por otro lado el dilema actual que vive nuestro país respecto a la privatización de la Industria Eléctrica, que si se lleva a cabo podría impulsar proyectos como el anteriormente mencionado. Un comentario final que pone el dedo en la llaga respecto a la incursión de la Industria Privada en el sector eléctrico se puede ver como se opone resistencia a



CONTROL Y PARALELAJE DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA

esta privatización por tener fines políticos. Pensamos que con una buena campaña publicitaria en la que se informe con veracidad a la gente, permitirá dar este paso importante que conviene al país; por ejemplo, uno de los términos para esta privatización, es que se deben de fabricar plantas con un promedio de vida de 50 años, y a las compañías privadas que las fabriquen se les permitirá explotarlás por 25 años los cuales transcurridos pasaran al gobierno mexicano.

BIBLIOGRAFIA

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

BIBLIOGRAFIA

- **Stephen J. Chapman, Máquinas Eléctricas (2° Edición), McGraw-Hill,1993.**
- **Robert. M. del Vecchio, Transformer Design Principles, Gordon and Breach,1995.**
- **L.L. Grigsby, The Electric Power Engineering Hand Book, Board,1992**
- **E. Ras. Transformadores. Ed. Marcombo, 1972.**
- **E. Fitzgerald, C. Kingsley, S. D. Umans. Máquinas Eléctricas Ed. McGraw-Hill, 1992.**
- **R. Sanjurjo. Máquinas Eléctricas, Ed. McGraw-Hill, 1989.**
- **M. E. El-Hawary. Principles of Electric Machines with Power Electronic Applications, Ed. Prentice-Hall, 1986.**
- **Revista Obras, Central de Ciclo Combinado el Bajío, Pag,16 mes de Abril del 2003**