

Universidad Nacional de Ingeniería

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



“ Sistemática de Puesta en Servicio de Transformadores de Potencia ”

T E S I S

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

JAVIER MAX HELGUERO NUÑEZ

PROMOCION: 1981 - I

LIMA • PERU • 1989

E X T R A C T O

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA.

Sistemática de Puesta en Servicio de Transformadores de Potencia.

Autor : Javier Max Helguero Nuñez.

Grado a optar : Ingeniero Mecánico Electricista.

Fecha : Lima, Noviembre 1988.

El presente trabajo elabora una sistemática adecuada para poner en servicio un transformador de potencia; procedimiento necesario a tener en cuenta cuando se manipula un transformador en su etapa final de pruebas de campo.

Se hace una presentación de todos los componentes importantes para el control y operación del transformador, después vienen las consideraciones técnicas necesarias para finalmente plantear los exámenes y pruebas secuenciales que garanticen el correcto funcionamiento de los controles, indicadores, mandos y protecciones.

Los protocolos de pruebas, han sido elaborados para efectuar los controles de la puesta en servicio del transformador de potencia, debiendo ser necesariamente efectuados todos los pasos indicados en estos, antes de la energización.

Para realizar la puesta en servicio de un transformador de potencia hay que conocer el fundamento y la parte física de todos los dispositivos de control que se mencionan en el Capítulo I. Las pruebas previas a efectuarse en estos transformadores, tienen por finalidad garantizar que todos sus elementos estén en orden y verificar su correcto funcionamiento, para lo cual se debe además tener una idea exacta sobre la filosofía que se empleó para proteger al transformador y así poder verificar su correcta actuación y operatividad.

I N D I C E G E N E R A L

	Pag.
Indice General	5
Prólogo	12
<u>Capítulo I: Reseña de Dispositivos de Control</u>	14
1.1.1. Termómetro de aceite	14
1.1.2. Relé de imagen térmica	14
1.1.3. Relé Buchholz	15
1.1.4. Nivel de aceite	16
1.1.5. Desecador de aire	17
1.1.6. Válvula de seguridad	17
1.1.7. Regulador de tensión	17
1.1.8. Mando a motor del conmutador bajo carga	18
1.1.9. Aceite dieléctrico	19
1.2.0. Relé diferencial.	21
<u>Capítulo II: Recepción en el lugar de montaje</u>	22
2.1.1. Tanque del transformador con la parte activa	23
2.1.2. Diversos componentes desmontables del transformador	24
2.1.3. Bornes de A.T. y B.T. y aceite para el relleno del transformador.	24
<u>Capítulo III: Montaje en Obra</u>	26
3.1.1. Tanque del transformador y parte activa	27
3.1.2. Montaje de los componentes propios del transformador y relleno de aceite	32
3.1.3. Montaje de los relés de protección del transformador	38
3.1.4. Montaje del sistema de ventilación forzada y panel de regulación de tensión	38
3.1.5. Diagrama unifilar para el conexionado entre el transformador de potencia, la batería de ventilación, el panel de regulación, el panel de protección y señalización.	40
<u>Capítulo IV: Pruebas Previas</u>	42
4.1.1. Controles después de haber concluido el montaje	42

4.1.2.	Protecciones y señalizaciones	47
4.1.3.	Sistema de protección diferencial	52
4.1.4.	Mando a motor del conmutador bajo carga.	56

Capítulo V: Pruebas de Energización

5.1.1.	Pruebas con tensión regulada	57
5.1.2	Panel de regulación de tensión	

Capítulo VI: Ajustes Finales (Protocolos) 59

A1.	Documentación Típica	71
A2.	Bibliografía	78
A3.	Separatas.	79

Lista de Documentación Típica

	Pag.
A1.1 Croquis de dimensiones	72
A1.2 Placa de características	73
A1.3 Esquema de conexiones	74
A1.4 Transformadores de corriente	75
A1.5 Cúpula para transformadores de corriente	76
A1.6 Caja de bornes	77

Lista de Separatas

	Pag.
A3.1 Métodos para medir la temperatura en Transformadores de Potencia.	80
A3.2 Relé Buchholz marca Comer - Montorso VI.	93
A3.3 Indicador de Nivel de aceite, marca Comen-Montorso VI.	
A3.4 Desecador de aire , marca Comen-Montorso VI.	
A3.5 Válvula de seguridad, marca Westinghouse.	102
A3.6 Mando a Motor MA7, marca Maschinenfabrik-Reinhausen.	104
A3.7 Relé Diferencial, marca Brown Boveri, tipo D200, catálogo CH-ES61-65-035.	133
A3.8 Relé de Sobre Voltaje, marca Brown Boveri, tipo USM.	142
A3.9 Relé de Sub Voltaje, marca Brown Boveri, tipo VG.	149
A3.10 Relé de Sobre corriente, marca Brown Boveri tipo I.C.M.	154
A3.11 Ejemplo de Resultados en Protocolos de Pruebas.	163

Lista de Figuras

		Pag.
Fig. Nro.1	Esquema para levantar el tanque del transformador.	27
Fig. Nro.2	Angulo de izaje β .	29
Fig. Nro.3	Diagrama unifilar para el conexionado entre el transformador de potencia, la batería de ventilación, el panel de regulación, el panel de protección y señalización.	40
Fig. Nro.4	Esquema de conexionado para la prueba de polaridad a los transformadores de corriente del lado de A.T.	48
Fig. Nro.5	Esquema de conexionado para la prueba de polaridad a los transformadores de corriente del lado de B.T.	50
Fig. Nro.6	Esquema para el cálculo aproximado de las corrientes que deben pasar por el sistema.	53
Fig. Nro.7	Circuito de prueba del sistema diferencial.	54

Lista de Tablas

		Pag.
Tabla Nro.1	Número de neutralización versus temperatura.	20
Tabla Nro.2	Volúmen de aceite dieléctrico por kVA, utilizado en transformadores de potencia.	20
Tabla Nro.3	Diámetro de estrobo Versus carga admisible	31
Tabla Nro.4	Factor de corrección de la carga admisible de los estrobos según el ángulo de izaje β .	31
Tabla Nro.5	Valores mínimos admisible de la rigidez dieléctrica del aceite según las diferentes normas más usuales.	45

Lista de Fotos

		Pág.
Foto Nro.1	Levantamiento de la parte activa de un transformador de potencia.	30
Foto Nro.2	Parte activa de un transformador de potencia.	33
Foto Nro.3	Montaje de accesorios del transformador de potencia.	35
Foto Nro.4	Transformador de potencia después de concluido el montaje.	41
Foto Nro.5	Detalle del conexionado de tierra de los pararrayos de un transformador de potencia.	41.

P R O L O G O

En la vida profesional muchas veces hay que intervenir en campos donde no se cuenta con mucha información técnica al respecto. Este es el caso de los trabajos de puesta en servicio de transformadores de potencia.

Como es sabido, es de suma responsabilidad tratar con transformadores de gran potencia y de altas tensiones que forman parte importante de un sistema de energía eléctrica. Tanto el montaje como la puesta en servicio de dichos equipos requieren de un procedimiento adecuado, cuidadoso y que cumpla con los requerimientos técnicos. Estos procedimientos son mejorados en base a la experiencia y a la constante revisión de los resultados de dichos métodos. Es así que, los aportes de las experiencias adquiridas por los grandes fabricantes de transformadores son determinantes para poder elaborar una metodología adecuada.

En la actualidad, en nuestro medio no se ha divulgado algún trabajo específico sobre la forma y consideraciones a tener en cuenta cuando se realiza la puesta en servicio de un transformador de potencia. Desde que egresé (Enero 82) hasta la fecha he trabajado en este campo, motivo por el cual me he permitido elaborar el presente trabajo.

Agradezco la confianza y colaboración de la COMPANIA ASEA BROWN BOVERI INDUSTRIAL S.A., así como a mi asesor el Ingeniero Manuel Carranza por sus consejos y directivas importantes en este campo. De otra parte ha sido de gran ayuda el haber tenido la oportunidad de trabajar con ingenieros extranjeros especialistas en puestas en servicio de transformadores de potencia.

C A P I T U L O I

RESEÑA DE DISPOSITIVOS DE CONTROL

1.1.1 Termómetro de aceite

Por ser los transformadores de potencia equipos integrados por componentes fijos, no hay movimiento o desplazamiento entre ellos por lo tanto, no es posible concebir, desgaste o roturas de esos componentes, por efectos de roce o tensión mecánica durante el funcionamiento normal de todos los equipos.

En consecuencia, la mayoría de las fallas que ocurren en los transformadores, tienen su origen en el sobrecalentamiento de sus partes energizadas. Este a su vez generalmente se debe a una de las causas siguientes

Sobrecargas prolongadas a las cuales son sometidos dichos equipos.

Deficiencias en el sistema de refrigeración del transformador.

Por esta razón es muy importante controlar la temperatura del aceite y del bobinado. Normalmente los transformadores de mediana y gran potencia cuentan con un termómetro de aceite que a su vez por lo menos tienen dos contactos.

Cuando se pone en servicio un transformador de potencia se debe de controlar que el termómetro de aceite esté a nivel (para el caso de los indicadores que tienen contactos de mercurio). Se verifica el ajuste de actuación de los contactos de mercurio, los cuales deben coincidir con las indicaciones del fabricante del transformador, para lo que utilizarán como mínimo uno para la indicación de alarma, y otro para ordenar la desconexión. Luego ajustar la aguja de máxima con la indicación de temperatura para que a partir de ese momento se efectúe el control.

Se adjunta en el apéndice, (A 3.1) principio de funcionamiento, características técnicas, formas de medir la temperatura en transformadores de potencia boletín 34c y 51 de AB KIHSTRONS MANOMETERFABRIK (AKM).

1.1.2 Relé de imagen térmica

Un parámetro importante a controlar en los transforma

dores de potencia es la temperatura del devanado del transformador. A éste indicador se le llama "relé de imagen térmica", que tiene la misión de reproducir indirectamente esta medida en el punto más caliente.

Ver en el apéndice (A 3.1) principio de funcionamiento y características técnicas Boletín 355 de AB KIHSTROMS MANOMETERF ABRIK (AKM)

Cuando se va a poner en servicio un transformador se debe controlar que el relé de imagen térmica esté a nivel (para el caso de los indicadores que tienen contactos de mercurio). se verifica el ajuste de actuación de los contactos de mercurio los cuales deben coincidir con las indicaciones del fabricante del transformador, para lo que se utilizarán como mínimo un contacto para la indicación de alarma, y otro para ordenar la desconexión. En los transformadores que tengan refrigeración forzada (para el caso de ventiladores) se utilizará otro contacto para el arranque automático de estos. Luego ajustar la aguja de máxima con la de indicación de temperatura para que a partir de ese momento se efectúe el control.

1.1.3 Relé Buchholz

Una protección adecuada para todos los transformadores de cierta importancia, contra los defectos que se desarrollan en el interior de la cuba es la que proporciona el relé Buchholz.

Esta basada en el hecho que cualquier defecto en las partes energizadas del transformador provoca inmediatamente un desarrollo de gases más o menos intenso, debido a la descomposición de los aislantes sólidos y líquidos bajo la acción del calor y de las chispas.

El relé se presenta en forma de un pequeño recipiente inserto en la tubería ligeramente inclinada que une la cuba del transformador con el depósito de expansión, colocado en posición más elevada; a través de esta tubería pasa la totalidad de los gases desarrollados en caso de defectos en el transformador.

En el interior hay dos flotadores, uno situado en la parte superior y gira sobre un eje, el segundo más voluminoso, esta colocado frente del tubo de aducción del aceite y gira también alrededor de otro eje, cada flotador lleva un contacto conectado a los bornes pasantes colocados en la cubierta.

En caso de defectos leves, las burbujas gaseosas se almacenan bajo la cubierta y provocan un descenso gra

dual del nivel de aceite y con él, el del flotador más pequeño que se encuentra en la parte superior, su contacto respectivo se cierra en un cierto momento, accionando una señal de alarma acústica y óptica.

Por medio de un grifo colocado en la cubierta superior del relé Buchholz se puede vaciar el gas y estudiar su composición; si es incombustible se trata en general de aire infiltrado, después de purgar el relé, el servicio puede continuar, al menos por el momento y sin peligro, si es un gas combustible significa que se ha venido formando un defecto interno y es necesario, por consiguiente, separar con toda rapidez el transformador de la red. El desarrollo lento de gas no tiene efecto sobre el flotador de mayor volumen, a menos que la cantidad de gas atrapado sea muy grande. En caso de avería grave el aceite del tubo embiste con fuerza al flotador grande y provoca el vuelco de este y el cierre de su contacto haciendo aperturar seguidamente los interruptores que protegen el transformador dejándolo aislado.

El relé Buchholz, cuyo precio es despreciable en comparación con la de un transformador, es un medio selectivo de protección extraordinariamente eficaz.

En el apéndice (A 3.2), se muestra el caso del relé Buchholz marca COMEN Montorso - XI 25-50-80-100.

1.1.4 Indicador de nivel de aceite

Los indicadores de nivel de aceite más usados en nuestro medio para los transformadores de potencia son los del tipo de acoplamiento electromagnético que constan de un robusto cuerpo de metal que tienen un imán permanente, encerrado en un soporte y puede girar libremente 120°C. Un flotador manda esta rotación, de esta manera se obtiene que por cada variación de nivel del líquido hay una correspondiente rotación del imán, que arrastra en su movimiento el disco magnético señalizador, con indicaciones correspondientes a los niveles que el aceite tendría que alcanzar a las siguientes temperaturas en grados centígrados 20, + 20, + 85. Estos indicadores de nivel de aceite tienen dos contactos normalmente abiertos que se cierran, uno cuando el nivel de aceite en el transformador es el mínimo aceptable y otro cuando el nivel de aceite en el transformador es el máximo aceptable.

En el apéndice (A 3.3), se muestra el indicador de nivel marca COMEN Montorso - VI, L10, L14, L22, L34.

1.1.5 Desecador de aire

Son depósitos pequeños, transparentes de sales de óxido sílico químicamente puro con indicador de cobalto. A través de estos ha de pasar el aire aspirado a consecuencia de las contracciones térmicas de la masa de aceite.

El gel sílico sirve para absorber la humedad del aire notándose el grado de saturación conseguido por la coloración de este.

AZUL	:	Seco
ROSA	:	Humedo

En el apéndice (A 3.4), se muestra el desecador de aire marca COMEN Montorso - VI - 4002.

1.1.6 Válvula de seguridad

La válvula de seguridad cumple un rol importante cuando por causas accidentales, la presión en el interior del tanque del transformador aumenta causando peligro de explosión.

La característica de estas válvulas es el de poder descargar al exterior en 3 a 5 milisegundos, el aumento de presión interna creado por efecto de alguna anomalía.

Estas deben seleccionarse de tal forma que al presentarse el aumento de presión en el interior de la cuba actúen antes de que se deformen las planchas metálicas que conforman el tanque del transformador.

Normalmente los transformadores de potencia cuentan con válvulas de seguridad que tienen un contacto normalmente abierto, que cuando estas actúan, el contacto se cierra y manda a la desconexión del interruptor que energiza al transformador y a una señal de alarma.

En el apéndice (A 3.5), se muestra la válvula de seguridad marca WESTINGHOUSE.

1.1.7 Regulador de tensión

El sistema de regulación de tensión en los transformadores de potencia, se realiza variando el valor de la relación de transformación, a través de un conmutador de taps que por lo general está conectado en el arrollamiento de A.T. (menor corriente). Existen dos tipos de conmutadores; en vacío y bajo carga.

El conmutador en vacío se acciona estando el transformador completamente desenergizado.

El conmutador bajo carga se puede accionar estando el transformador en operación.

Normalmente en los transformadores de potencia existen una batería o panel de regulación de tensión, que consta de dos botones pulsadores para subir o bajar la tensión, un foco de señalización de operación, un botón de desconexión de emergencia, un voltímetro, un indicador remoto de posición de tap, un regulador automático de tensión, el cual a su vez recibe la señal de tensión y corriente de la red, para luego compararla con los valores de referencia prefijados, si es diferente, manda automáticamente a cambiar de tap hasta que la tensión de entrada sea igual a la de referencia, de esta manera se mantiene la tensión de salida constante. Además cuenta con temporizadores de tal forma que si la variación de tensión en la entrada persiste por el tiempo prefijado se produce la regulación de tensión.

1.1.8 Mando a motor del conmutador bajo carga

El mando a motor sirve para conseguir la posición deseada del conmutador.

Por lo general el control sigue el principio de "paso a paso", por ejemplo, para pasar el conmutador de una posición a otra adyacente se inicia el movimiento del mando a motor con solo una orden y el cambio se realiza sin interrupción.

El sobrepasar las posiciones extremas se evita con limitadores eléctricos y mecánicos. Además elementos de control y seguridad facilitan el servicio.

El mando a motor puede ser equipado con motores de varias potencias de manera que cualquier combinación de conmutadores pueda ser accionada por el mando a motor.

Características técnicas a tener en cuenta para el mando a motor

Para el motor

Tensión nominal (trifásica)

Intensidad nominal.

Frecuencia.

- Número de vueltas de la manivela para una conmutación.

- Número máximo de posiciones.

La cabina se encuentra adosada al transformador y tiene dos partes, la caja y la tapa.

Las cuales deben ser estancas al chorro de agua.

Ver en el apéndice (A 3.6) figura del mando a motor MA7 de Maschinenfabrick Reinshausen.

1.1.9 Aceite dieléctrico

El aceite para transformadores es un aceite mineral cuidadosamente secado y purificado. Debe además tener una baja temperatura de congelación, la temperatura de inflamación de sus vapores debe ser la más alta posible, la viscosidad no ha de superar un cierto valor para no obstaculizar su circulación en los radiadores, no debe formar depósitos de lodos nocivos, aún después de un largo período de funcionamiento (1).

El proceso de oxidación de los aceites dieléctricos depende, entre otros, de los factores siguientes

- a) La naturaleza o composición del aceite.
- b) La cantidad de oxígeno disponible para la reacción de oxidación.
- c) La presencia del agua y otros catalizadores de oxidación en los equipos donde se les utiliza.
- d) El nivel de temperatura al cual es sometido el aceite dieléctrico durante su utilización.

Como referencia se muestra la siguiente tabla .

(1) (Pág. 51m. Giuseppe Castelfranchi.
Instalaciones Eléctricas.

NUMERO DE NEUTRALIZACION VERSUS TEMPERATURA

Temperatura de operación del equipo	Vida útil del aceite dieléctrico (años)
60 grados centrigados	20
70 grados centrigados	10
80 grados centrigados	5
90 grados centrigados	2.5
100 grados centrigados	1.25
110 grados centrigados	7 meses

Tiempo estimado para que el número de neutralización del aceite alcance una acidez equivalente a 0.25 mg. KOH/g. Con lo cual se considera que existe el 70% de probabilidad de que el equipo tenga presencia de lodo

TABLA Nro.1

Con el transcurso de los años se ha ido optimizando la cantidad de aceite utilizado en los transformadores de potencia.

Se muestra la siguiente tabla

Volúmen de aceite dieléctrico utilizado en los transformadores de potencia por kVA.

ano	galones / KVA.	0/0
1915	2.00	100
1930	1.00	50
1945	0.50	25
1960	0.33	16.6
1973	0.16	8
1978	0.11	6

TABLA Nro. 2

Uno de los parámetros más importantes a controlar en el aceite es el valor de la rigidez dieléctrica. Los inhibidores de oxidación impiden que la reacción se vuelva exponencial mientras ellos permanezcan en el aceite.(2).

1.2.0 Relé diferencial

Estos relés tienen por objeto comparar dos corrientes, a la entrada y a la salida de un circuito. Deben funcionar cuando las corrientes en cuestión cesan de ser iguales; ello se verifica cuando a consecuencia de una avería en el tramo de protección considerado, una parte o toda la corriente entrante se deriva a consecuencia del defecto.

El relé es selectivo por cuanto protege un determinado tramo de línea y una determinada máquina, pero no interviene cuando se producen incidentes que tienen lugar fuera de su campo de acción.(3).

Además, detectan con una selectividad absoluta los defectos mencionados a continuación que se producen en la sección protegida, es decir, en la parte de la instalación comprendida entre los dos juegos de transformadores de corriente que alimentan al relé

Cortocircuitos bipolares y tripolares.

Defectos a masa en transformadores con punto neutro puesto a tierra directamente o a través de una resistencia ohmica reducida.

Cortocircuito entre espiras en los transformadores.

En el apéndice (A 3.7), se adjunta catálogo CH-ES61-65- Ø35 RELE DIFERENCIAL tipo D200 de BROWN BOVERI.

(2) (Pág. 6, 7 y 12 Publicación Puramin C.A. Mantenimiento preventivo de transformadores de potencia)

(3) (Pág. 114, Giuseppe Castelfranchi Instalaciones Eléctricas).

C A P I T U L O I I

RECEPCION EN EL LUGAR DE MONTAJE

En la fabricación del transformador de potencia se toma toda clase de cuidados y se emplea un tiempo de fabricación relativamente largo a fin de darle una máxima seguridad de servicio y una larga "duración de vida".

Todos los trabajos que se efectúen a continuación deberán realizarse en tal forma que el transformador guarde las cualidades que tenía al dejar la fabrica. Una vez concluida la fabricación y las pruebas finales se procede a prepararlo para su despacho y posterior transporte a la obra.

Los transformadores se transportan según su tamaño, peso o deseo del usuario, con llenado parcial de aceite o llenos completamente de nitrógeno. Los transformadores que en orden de servicio, sobrepasan las medidas del peso permisible de transporte, se expiden sin radiadores, conservador, bornes de conexión y solo parcialmente llenos de aceite, en algunos casos llenos completamente con nitrógeno.

Sin embargo para todos los casos de transformadores de potencia es recomendable como regla general transportarlos sin radiadores y sin bornes de conexión visibles, puestos que estos elementos constituyen las partes más frágiles del transformador.

Los transformadores que se transportan parcialmente llenos de aceite se despachan con aceite desgasado y seco bajo vacío hasta unos 20 a 30 cms. debajo de la tapa de la cuba, según el tipo de este. En todo caso lo suficiente para que cubra toda la parte activa. En algunos casos como protección contra la entrada de humedad, se llena el espacio comprendido entre el nivel de aceite y la tapa, con nitrógeno seco en comunicación con la atmosfera a través de un desecador de aire de Silicagel.

Para el caso de transformadores muy grandes que sobrepasan el peso admisible de transporte aun con el llenado parcial de aceite descrito anteriormente, se transportan sin aceite. Para evitar que la parte activa absorba humedad, se llena la cuba con nitrógeno seco a la cual se le conecta una botella de nitrógeno, fijada a ésta y equipada con válvulas de reducción, sobrepresión y manómetros para que, durante todo el transporte, se conserve una sobrepresión del gas dentro de la cuba del transformador. Estas válvulas es-

tan ajustadas para que llenen a 1.2 atm y vaciar a una presión de 1.4 atm. Las botellas de nitrógeno tienen, según las necesidades, un volumen de 8 a 40 litros bajo una presión de 150 a 200 atm. Su contenido en humedad no debe exceder de un máximo de 250 p.p.m. y el gas deberá contener como máximo un 0.3% de su volumen de impurezas. Para transportes a corta distancia y con supervisión adecuada de transformadores que no sobrepasan tensiones nominales de 300 kV; se puede también conectar un desecador de aire de Silicagel al transformador lleno de nitrógeno, que seca el aire aislado a cada cambio de temperatura ambiente.

A la llegada al punto de destino del transformador con sus accesorios, se inspeccionaran los daños visibles.

2.1.1 Tanque del transformador con la parte activa

Dependiendo de la importancia, algunos transformadores están provistos de un aparato registrador de choques, se consultará este aparato a la llegada al lugar de destino. Con choques que excedan de 4g. (Cuatro veces la aceleración de la gravedad) hay que contar con desperfectos internos.

Antes de comenzar con el proceso de descarga del transformador en el lugar de montaje hay que parar el dispositivo del indicador de choques.

Para el caso de los transformadores que han sido llenados parcialmente con aceite y para los que han sido llenados totalmente con Nitrógeno, que cuentan con una botella de Nitrógeno y manómetro adosados a la cuba se deberá comprobar que la presión interior sea mayor que la atmosférica (presiones positivas), si esto es así significa que los aislantes están secos y se puede proceder al montaje si no hay presión positiva en la cuba ni en la botella de nitrógeno, existe el peligro de que el aceite o la parte activa del transformador hallan captado humedad.

En caso de que la cuba del transformador para el transporte, este provisto de un desecador de aire de Silicagel se controlará que más de la mitad presente coloración azul. De lo contrario puede haber captado humedad la parte activa o el aceite, por lo que sería necesario efectuar otros controles para determinar el grado de humedad de los aislantes.

Para los transformadores que se entregan parcialmente llenos de aceite, que no cuentan con un colchón de nitrógeno ni desecador de aire es recomendable efectuarle una prueba de rigidez dieléctrica del aceite antes de efectuar el montaje y relleno de aceite respectivo.

2.1.2 Diversos componentes desmontables del transformador

Conjuntamente con la cuba, vienen en embalaje separado los demás componentes del transformador como son los radiadores, conservador, ruedas, ventiladores (para el caso de transformadores ONAF), panel de regulación de tensión (para el caso de transformadores con regulación bajo carga) un juego completo de empaquetaduras, demás accesorios pequeños como son el desecador, relé Buchholz, etc. y los repuestos solicitados de antemano. Todos estos elementos deberán ser descargados y colocados en un lugar bajo techo cubiertos de las lluvias.

2.1.3 Bornes de A.T., B.T. y aceite para el relleno del transformador

Además como elementos separados que vienen conjuntamente con la cuba del transformador están los bornes de A.T., B.T., y el aceite para el relleno del transformador.

Los bornes de A.T. y en algunos casos de B.T., vienen adecuadamente embalados para que estos no se muevan, cubiertos con materiales pequeños para amortiguar los golpes y con bolsas deshumedecedoras de Silicagel. Se deberá tener especial cuidado con la descarga de estos elementos puesto que son de porcelana y muy frágiles, los cuales se deberán almacenar en un lugar apropiado para que no capten humedad hasta el momento de su instalación.

El aceite que se va a utilizar para el relleno del transformador viene en cilindros metálicos, los cuales deberán ser guardados en posición horizontal, bajo sombra en un lugar seco hasta su utilización. Hay que hacer notar que el aceite mineral para transformadores es altamente higroscópico por lo que no puede ser guardado por mucho tiempo sin utilizarlo. En obra

se debe revisar que los cilindros no tengan perforaciones de lo contrario deberán ser retirados y no utilizados.

C A P I T U L O III

MONTAJE EN OBRA

Cuando un transformador con sus accesorios llega al lugar de la instalación, es deseable efectuar el montaje lo más pronto, sin embargo no siempre esto es posible, por lo que en algunos casos hay que almacenar temporalmente sus accesorios de acuerdo a las recomendaciones del capítulo anterior.

Para efectuar el montaje en obra se debería contar de antemano con todas las herramientas y equipos adecuados y necesarios del caso.

A continuación damos un listado al respecto :

Para desplazamientos horizontales y verticales considerables.

- * Trailer (cama baja) altura - 60 cm.
- * Grúa:

Para desplazamientos horizontales y verticales menores

- * Tecles
- * Tirfo
- * Estrobos
- * Gatos
- * Polines
- * Vigas estructurales I (o rieles)
- * Planchas metálicas.
- * Tacos de madera.

Para efectuar el montaje en si

- * Máquina de refiltrar.
- * Espinterómetro
- * Juego completo de empaquetaduras nuevas (de los accesorios a instalarse)
- * Templadores
- * Soga de nylon.
- * Estrobos
- * Martillos
- * Desarmadores (grandes)
- * Guías de varilla redonda
- * Llave Stilson (grande, 16")
- * Llave Francesa (grande, 16")
- * Juego de llaves de boca
- * Juego de llaves de corona

- * Juego de llaves de dados
- * Juego de llaves exagonales
- * Cintas adhesivas y aislantes varios
- * Solventes (thinner SS25, etc)
- * Trapo industrial (no waype).

Equipos auxiliares opcionales (no siempre es necesario)

- * Máquina de soldar (con electrodos de soldaduras)
- * Cortadora oxiacetilénica.
- * Focos
- * Linterna
- * Extinguidor
- * Pintura
- * Aceite para la máquina de refiltrar.

3.1.1 Tanque del transformador y parte activa.

Todo transformador está previsto de anillos y cáncamos para poder alzar la cuba con la parte activa.

Los gatos hidráulicos solo deben emplearse en los sitios previstos para tal fin.

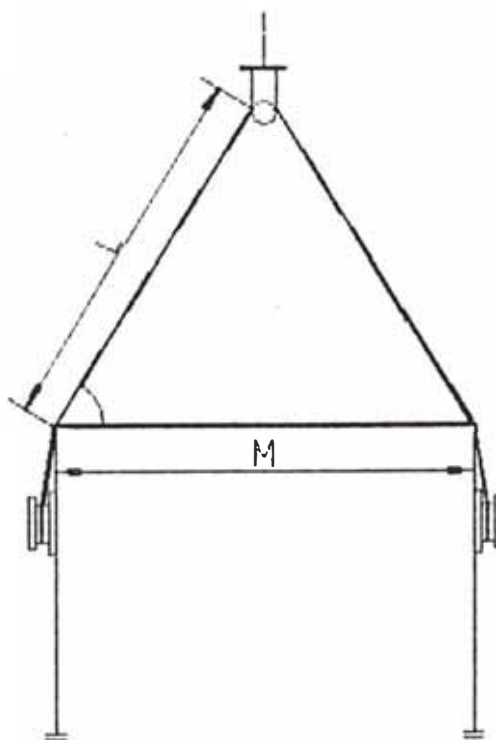


FIG 1

El levantamiento por medio de gatos debe realizarse simultáneamente y por igual en por los menos dos puntos de alzamiento vecinos. Las bridas y grifos de vaciado no deben utilizarse en ningún caso como puntos de apoyo aunque el transformador esté vacío.

El transformador se alzarán solamente por los sitios indicados en el plano "Croquis de dimensiones". Los cables no formarán en ningún caso un ángulo menor de $\alpha = 60^\circ$ con la línea horizontal. La distancia L debe ser por lo tanto igual o mayor a la M.

Una vez que llegue la cuba y parte activa del transformador al lugar del montaje se procede a efectuar la descarga y ubicarlo en el lugar de operación, teniendo en cuenta las recomendaciones antes mencionadas.

A continuación damos una metodología en caso que los desplazamientos verticales y horizontales para ubicar el cuerpo del transformador en el sitio, se efectúen mediante maniobras:

Se parte que la plataforma del trailer (cama baja) debe ubicarse al costado de la loza de cemento donde se va a descargar el transformador.

Se procede a levantar el transformador por medio de 4 gatas de capacidades apropiadas en los lugares especiales que tiene dicho transformador para tales fines. Las gatas deberán estar apoyadas sobre la plataforma del camión.

Se atravieza dos vigas estructurales I de dimensiones apropiadas, a lo ancho del transformador.

Se baja el transformador para que se apoyen sobre éstas vigas.

Se prepara el terreno colocando tablonces de madera para que se apoyen las gatas y así poder levantar nuevamente el transformador a través de las vigas I.

Una vez levantado el transformador a través de éstas vigas se retira la plataforma del camión.

Se baja nuevamente las gatas y se coloca el transformador sobre 2 rieles auxiliares para así poder efectuar los desplazamientos horizontales necesarios

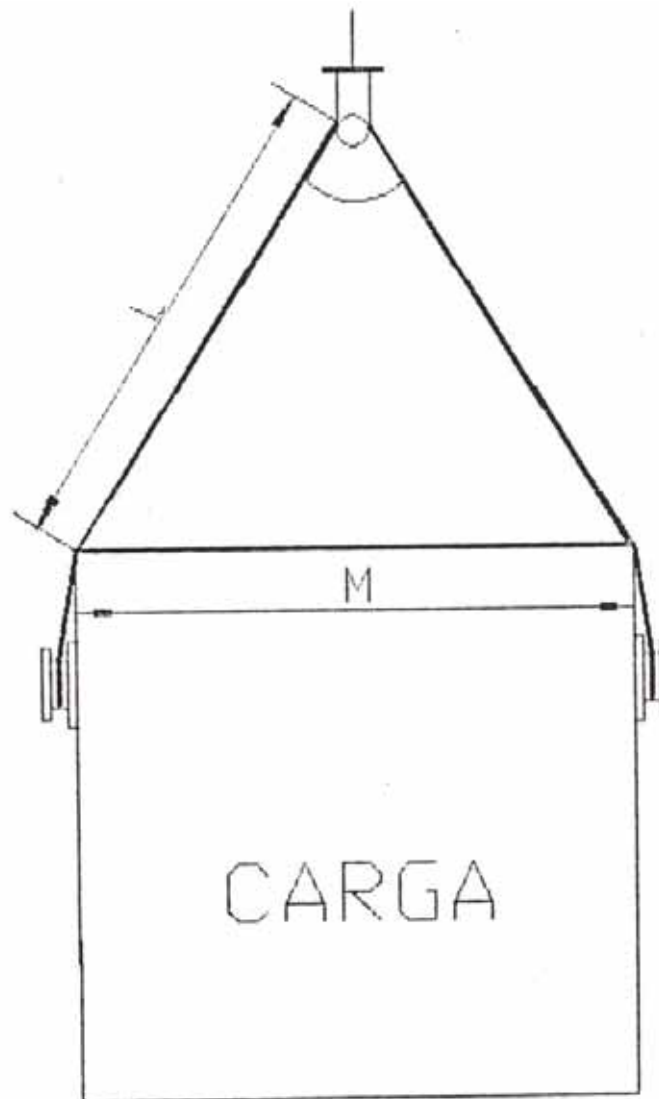




FOTO Nro. 1

Grúa adecuada para levantar el tanque con la parte activa del Transformador.

Diámetro del estrobo metálico (mm ϕ)	Carga (Kg.)
8	590
10	920
12	1,330
14	1,820
16	2,370
18	2,980
20	3,700
22	4,470
24	5,320
26	6,230
28	7,230
30	8,300
32	9,450
34	10,670
36	11,910
38	13,330
40	14,770
42	16,280
44	17,830
46	19,500
48	21,330
50	23,000
52	25,000
54	26,830
56	29,000
58	31,000
60	33,170
62	35,500
65	39,000

TABLA NRO. 3

Angulo β	Factor de corrección
0	1.000
10	1.004
20	1.015
30	1.035
40	1.065
50	1.103
60	1.155

TABLA NRO. 4

(Datos obtenidos del manual de
Mitsubishi Electric Corporation
" Power Transformers ").

Después de que la cuba del transformador se encuentra ubicada en su sitio definitivo de instalación, se procede a sacar una muestra de aceite para efectuarle un análisis de rigidez dieléctrica.

3.1.2 Montaje de los componentes propios del transformador y relleno de aceite.

Para el montaje de cada accesorio rigen las prescripciones correspondientes.

Durante el montaje de los accesorios se procederá de forma tal que la absorción de humedad se reduzca a un mínimo. Para todos aquellos trabajos que hagan necesario abrir el transformador por periodos de más de ocho horas, se tomarán las disposiciones adecuadas para que constantemente circule aire seco en el espacio comprendido entre el nivel superior del aceite y la tapa de la cuba. Se seguirá el mismo procedimiento cuando el nivel del aceite sea tan bajo que parte de los aislantes queden al aire libre. Los accesorios que haya que proteger especialmente contra la humedad como bornes, transformadores de corriente etc., son enviados algunas veces llenos de aire seco o con bolsas de Silicagel. Hay que instalarlos inmediatamente después de quitarles las envolturas de protección. Los accesorios como radiadores, conservador, tuberías se controlarán especialmente antes de su instalación sobre huellas de agua condensada y en caso necesario se llevarán cuidadosamente con aceite caliente.

3.1.2.1 Radiadores

Casi en su totalidad los transformadores de potencias mayores a 5 MVA cuentan con radiadores desmontables, los cuales constituyen uno de los puntos más débiles del transformador, siendo los primeros en dañarse ante cualquier golpe que éste sufra. El conjunto de radiadores del transformador está constituido por varios paquetes de éstos, cada uno de los cuales tiene una brida superior y otra inferior, que para efecto del transporte son tapadas con una brida ciega y embalados en cajones de madera.

Como se mencionó en el capítulo anterior, los radiadores antes de montarlos se les debe efectuar una inspección visual con la finalidad de comprobar que no haya fisuras, daños físicos considerables, y sobre todo trazas de humedad.

En caso que se encontrasen gotas de agua es necesario efectuarles un lavado con aceite caliente.

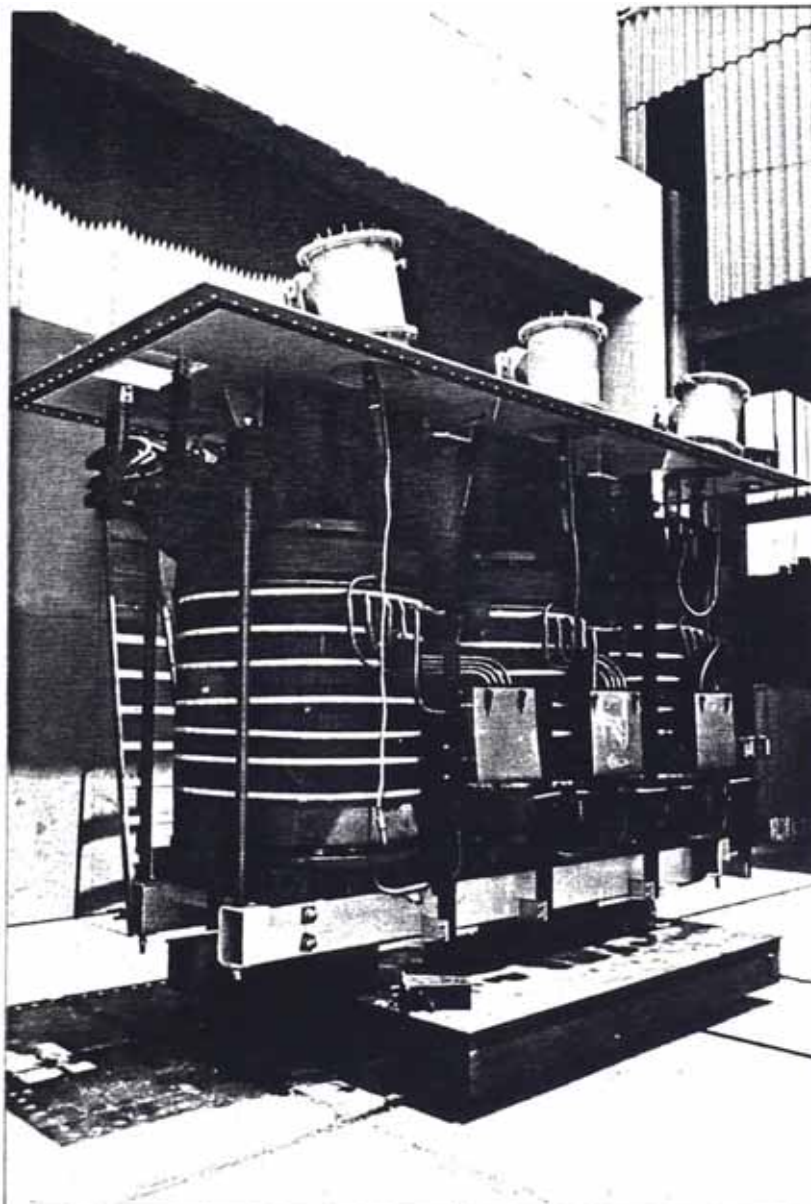


FOTO Nro. 2

Parte activa de un Transformador de potencia. Se debe tener en cuenta que por ningún motivo la parte activa debe permanecer al aire libre como figura en la foto por más de 8 horas. Las condiciones ambientales deberán ser las adecuadas.

Normalmente los radiadores tienen en la parte superior dos orejas para su izaje, las cuales se utilizarán para levantarlos y hacer coincidir los huecos de sus bridas con los de las bridas del transformador.

Previamente se les ha sacado las bridas ciegas al transformador y retirado las empaquetaduras existentes, luego se limpia bien la superficie con un trapo impregnado de thinner, se colocan las empaquetaduras nuevas e inmediatamente se efectúa el montaje ajustando los pernos de las bridas.

Para los transformadores parcialmente llenos de aceite es recomendable empezar ajustando la brida inferior debido a que las válvulas de cierre no son herméticas y que la demora ocasione que el aceite comience a fluir mojando la empaquetadura e impidiendo al final un cierre hermético. Con la válvula de la parte superior de la cuba no hay problema porque normalmente el nivel de aceite se encuentra por debajo de esta.

Para montar los radiadores hay que tener en cuenta la posición, en los extremos deben de ir los radiadores que están preparados para instalar los ventiladores, (Refrigeración forzada ONAF).

3.1.2.2 Conservador, desecador y Buchholz

Después de haber montado los radiadores, procedemos a montar el tanque conservador, en igual forma antes de instalarlo se les inspecciona para comprobar que no exista humedad, agua o daños físicos.

Normalmente el relé Buchholz va instalado junto con la cuba del transformador y tapado con una brida ciega; no es retirado para el transporte.

Con una grúa adecuada (2 Ton. aprox., brazo largo) se iza el conservador para instalarlo en el transformador, éste debe ir apoyado en sus soportes de fijación, para luego conectar las bridas del relé Buchholz y de la tubería de by-pass si es que existe.

Es necesario igualmente como en el caso de los radiadores utilizar un juego de empaquetaduras nuevas para las bridas y tubos de unión por donde circula el aceite.

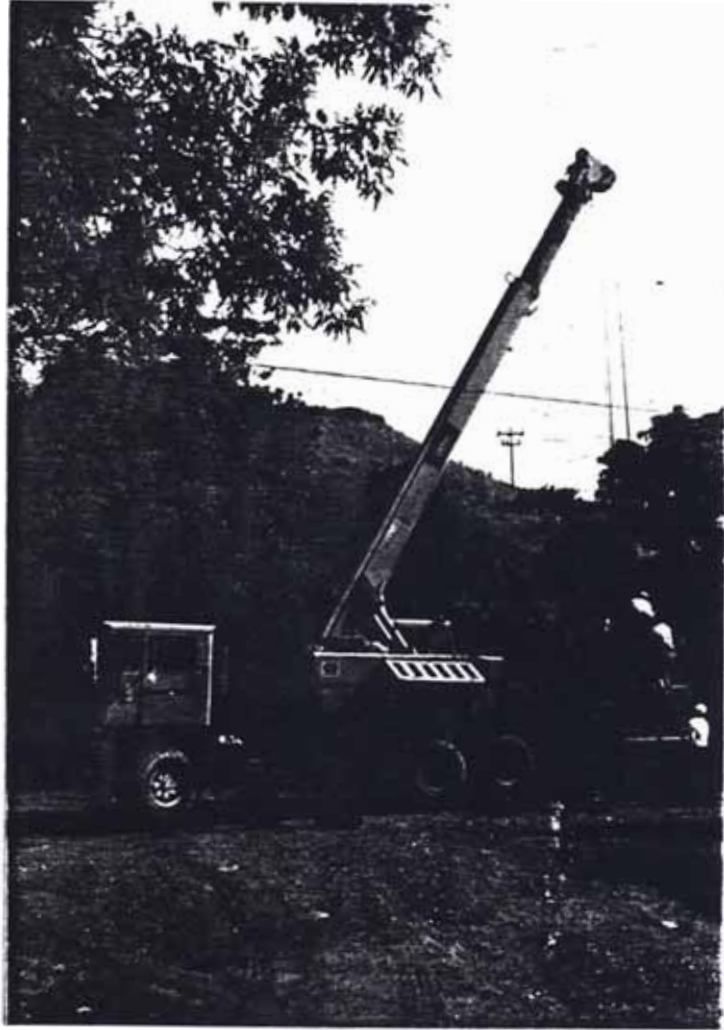


FOTO Nro. 3

Inicio del Montaje de los accesorios del Transformador, radiadores, conservador, bornes etc.

Una vez instalado el tanque conservador, se procede a instalar el desecador de aire en la parte roscada correspondiente; se debe tener cuidado de colocar aceite en el desecador y que el Silicagel esté de color azul.

Se debe verificar el correcto montaje del relé Buchholz, la aguja debe estar en la dirección de la cuba hacia el tanque conservador.

3.1.2.3 Bornes de A.T., B.T. y aceite de relleno

Normalmente el montaje de los bornes de A.T. y/o B.T. se debe efectuar al final, después de haber montado los radiadores y el conservador por el hecho de que éstos son los más frágiles, ya que de otra manera correrían mayor riesgo de romperse por choque accidental con alguna parte metálica o con algún cable.

La parte activa del borne está constituida por un cuerpo de papel impregnado con resina y envuelto en una armadura condensador para guiar el campo. Este cuerpo se enrolla directamente sobre un tubo metálico central como soporte.

La brida de fijación sujeta el cuerpo aislante resultando una unión estanca al aceite. El revestimiento de porcelana está formado por uno o varios elementos.

Las juntas son de corcho aglomerado con caucho, tipo neoprene. Los elementos de porcelana están presionados contra la brida por medio de muelles. Un aceite de alta viscosidad (Ej. Esso Univolt 180), rellena totalmente el espacio entre el cuerpo y el revestimiento de porcelana proporcionándole una protección hermética contra la atmósfera. En la brida existe un dispositivo para permitir la purga de gases del transformador.

Generalmente los bornes de tensión mayores de 145 kV están provistos de una toma de medida que sirve para la comprobación de la capacidad eléctrica y del factor de pérdida (para esto la brida del borne debe conectarse a tierra).

Los bornes permiten un montaje vertical o inclinado.

Un < 73 kV : 60°

Un < 100 kV · 30°

Bajo pedido especial puede ser reemplazado el aceite de relleno por una masa comprimible no inflamable. Entre otras ventajas resulta así posible la utilización del borne a una posición cualquiera.

Para el montaje del borne se determina un procedimiento que se utiliza generalmente cuando éste es de procedencia europea.

El cable conductor se suelda al perno del borne que se suministra con el aislador. Un hueco transversal en el extremo superior de éste perno, facilita el montaje, de ésta forma se puede pasar una cuerda de nylon para poder introducir el conductor en el borne de porcelana, posteriormente se coloca la empaquetadura de goma y la tuerca de fijación que se ajusta fuertemente, finalmente se coloca el protector metálico que es roscado para que el terminal exterior haga de contratuerca (8).

Después de haber montado todos los accesorios se procede a llenar el transformador con aceite hasta que alcance su nivel de servicio. Si el transformador se ha despachado para efectos del transporte con aceite hasta 20 o 30 cms. debajo de la tapa de la cuba, de tal forma que todos los aislantes queden cubiertos de aceite, el llenado del aceite restante se hará sin vacío. Se utilizará solamente aceite preparado.

El llenado de aceite se hará siempre que sea posible, a través del grifo superior y en ningún caso utilizando el grifo de la parte inferior de la cuba. Durante el llenado se abrirán todas las tuercas de escape. El llenado de los radiadores se hace a través del transformador, abriendo la válvula inferior del radiador y todas las tuercas de escape.

Será necesario verter aceite en el transformador para evitar que baje el nivel en su interior. El aceite de llenado no tendrá una temperatura inferior a 0 C. Es recomendable temperatura de llenado del orden de 40 C. a 60 C. Los conservadores de expansión provistos de membrana se llenarán hasta su nivel máximo para purgar el aire, bajando luego el nivel hasta que corresponda al de la temperatura del aceite del transformador.

Si parte de los aislantes (Parte Activa) quedaron fuera del baño de aceite durante el transporte o el montaje, se vaciará todo el aceite y se llenará bajo vacío. Un transformador lleno parcialmente de aceite no debe ser sometido al vacío.

Para efectuar el llenado en transformadores con una tensión de servicio superior a 73 kV., no es suficiente utilizar filtros prensas para lo que se utilizarán máquinas de refiltrar que tengan vacío, filtro y calefacción (7).

3.1.3 Montaje de los relés de protección del transformador

Para efectos del transporte el relé de imagen térmica y el termómetro con contactos de aceite van embalados en cajones de madera, los cuales se tienen que montar en obra y adosados a la cuba del transformador por medio de pernos y flejes de fierro flexibles (en caso que tengan contactos de mercurio).

Además se deberá efectuar la conexión eléctrica de éstos instrumentos, puesto que los contactos están cableados a una caja de bornes de donde se toman las señales respectivas.

Para efectos del transporte, también se desconectan las conexiones del indicador del nivel de aceite y relés Buchholz; los cuales se deben de conectar nuevamente. Lo que no se desconecta en la mayoría de los casos son las conexiones de los transformadores de corriente que van incorporados a los bushings del transformador de potencia y la válvula de seguridad que va sobre la tapa.

3.1.4 Montaje del sistema de ventilación forzada y panel de regulación de tensión

Los ventiladores y el tablero de regulación (en la mayoría de los casos) llegan a la obra en embalaje separado. El transformador de potencia viene preparado con bridas sobre los radiadores para instalar los ventiladores y conectar los cables correspondientes, los

(7) (Publicación B07H 902035 de Brown Boveri España).

que de antemano ya han sido preparados y cableados hacia la batería de mando de ventiladores, que generalmente va adosada al transformador. Otro de los conexiones que hay que hacer en la obra es el del arranque y parada automática de los ventiladores, para lo cual hay que utilizar uno o dos contactos del relé de imagen térmica o del termómetro de temperatura de aceite. El cable alimentador a la batería de mando de ventiladores debe de ser del calibre adecuado para el sistema de fuerza de los motores, el mando y las resistencias de anticondensación.

Para efectuar éste conexionado se debe utilizar los siguientes planos:

Esquema de conexionado del sistema de ventilación.

Caja de bornes del transformador de potencia.

se adjunta un juego de dichos esquemas.

Con respecto al tablero de regulación, generalmente va instalado en la Sala de Control de la Sub-estación, desde la cual se controla la posición del tap del conmutador, la tensión en el lado de B.T., la señalización por disparo del interruptor termomagnético del mando amotor, además generalmente en ese tablero van instalados el regulador automático de tensión y el dispositivo automático de marcha en paralelo, lo que implica efectuar un conexionado con cables de control entre éste tablero y la caja de bornes del transformador, la caja de mando a motor del conmutador del transformador, la celda de llegada de B.T., la celda de medida (transformador de tensión) y tablero de distribución de donde se toman las tensiones auxiliares. Para efectuar éstos conexiones se tiene que utilizar los siguientes esquemas:

Esquema de conexionado del panel de regulación de tensión.

Esquema de conexionado del mando a motor del transformador de potencia.

Caja de bornes del transformador de potencia.

Celda de llegada B.T. del transformador de potencia (el plano debe mostrar la nomenclatura y posición de los contactos auxiliares del interruptor).

A manera de ejemplo se adjunta un juego de éstos planos.

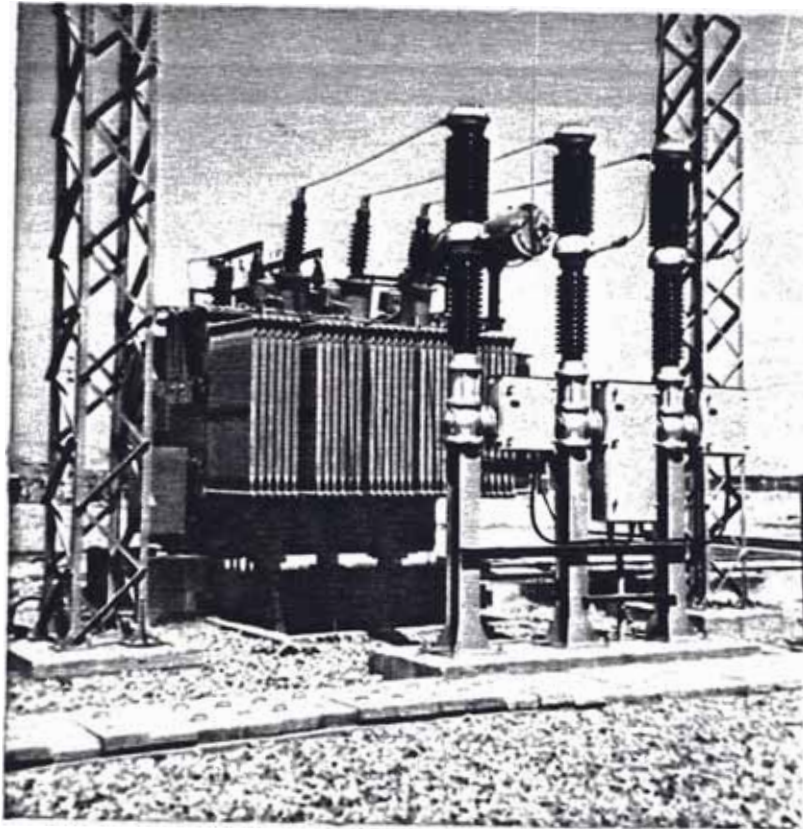


FOTO Nro. 4

Transformador de Potencia después de concluído el montaje.

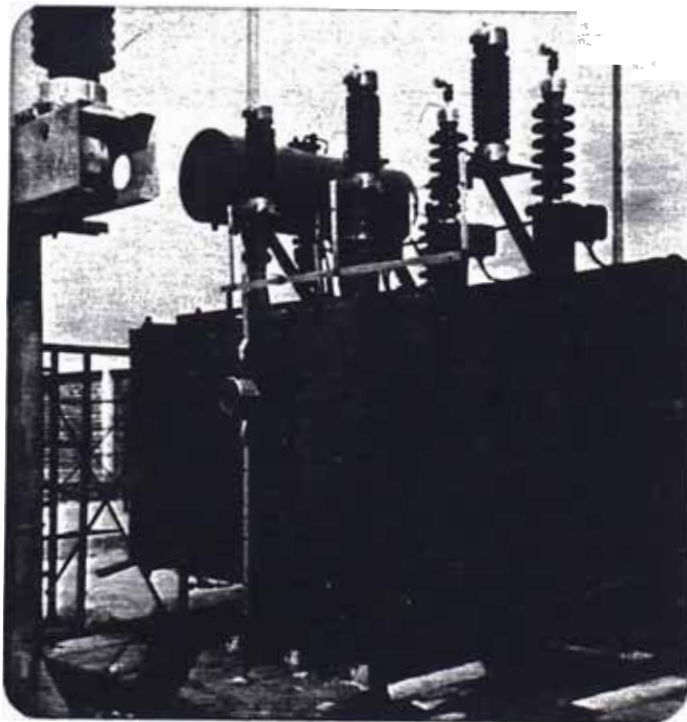


FOTO Nro. 5

Transformador de Potencia, detalle del conecionado de tierra de los pararrayos.

C A P I T U L O I V

PRUEBAS PREVIAS

Las pruebas previas a efectuarse en los transformadores de potencia, tienen por finalidad garantizar que todos sus elementos estén en orden, verificar el funcionamiento, ajustes y posiciones adecuadas de los relés, conmutadores, reguladores, válvulas y todos los otros componentes. Además se deberá revisar en la Sub-estación, los interruptores, paneles de señalización de protecciones, de regulación automática de tensión y la batería de ventiladores. Se debe tener la idea exacta sobre la filosofía que se empleó para proteger al transformador y así poder verificar su correcta actuación y operatividad.

4.1.1 Controles después de haber concluido el montaje

Después de haber terminado el montaje del transformador es necesario controlar y hacer el protocolo de lo siguiente:

Placa de características correcta.

Conexionado de los cables de fuerza y fijación del transformador.

Estanquidad. Hermetismo.

Nivel de aceite del transformador

Nivel de aceite del conmutador (en los casos que hayan conmutadores bajo carga con cuba independiente a la del transformador).

Comprobación que el desecador de aire pueda respirar libremente.

Nivel de aceite en el desecador de aire y color del Silicagel correcto (azul).

Válvula de seguridad en orden.

Correcta posición de las cuñas de desnivel.

Válvulas de radiadores y del relé Buchholz abiertas.

Puesta a tierra de la cuba del transformador correcta.

Punto neutro a tierra (en el caso que corresponda).

Purga de aire en todos los puntos de los bornes de A.T., B.T., relé Buchholz y radiadores.

Caudal de agua sin obstrucciones (para el caso de transformadores con intercambiador de calor).

Verificación del funcionamiento manual y automático del sistema de ventilación forzada.

Verificación del sentido de giro de los ventiladores o bomba de aceite (según el caso).

Control de la correcta coincidencia de la posición del tap, ~~de~~ que figura en la caja de mando a motor, con la indicación que figura en la mirilla del conmutador que se encuentra sobre la tapa del transformador de potencia.

Se debe efectuar una prueba de rigidez dieléctrica del aceite, teniendo en consideración las recomendaciones que a continuación se dan sobre la manera de como sacar la muestra de aceite; los métodos empleados para efectuar el análisis y los valores mínimos aceptables según las diferentes normas más usuales.

Procedimientos a seguir para la extracción de muestras de aceite

Estando el transformador fuera de servicio, se deberá seguir los siguientes pasos:

- 1) Limpiar cuidadosamente el grifo por el cual se va a realizar la extracción con thinner, o similar chequeando que no queden residuos de óxido, ni suciedad de ninguna clase, secar con un trapo limpio y seco.
- 2) Cerciorarse que el envase sea de vidrio obscuro completamente libre de cualquier otra sustancia que pudiera contaminar el aceite extraído.
- 3) Enjuagar 2 o 3 veces el envase convenientemente elegido con el mismo aceite del transformador que se desea probar.
- 4) Llenar el envase directamente del grifo de vacío, no permitir la intervención de ningún elemento extraño durante el llenado, hasta completar aproximadamente un galón.

- 5) Una vez lleno el envase, asegurarse que la tapa esté totalmente limpia para proceder con el cerrado hermético del mismo.

NOTA:

Tener especial cuidado, cuando se manipule con dieléctricos nocivos como el Askarel, Piralene, etc.

En el paso 3) enjuagar el envase con thinner (en lugar de hacerlo con Askarel).

Rigidez dieléctrica

a) Ensayo CEI

De acuerdo con las recomendaciones de la CEI Nro. 156, se prueba la rigidez del aceite entre electrodos a bolas de 12,5 mm. de diámetro y 2.5 mm. de distancia de ruptura o con electrodos semiesféricos (llamados discos VDE), igualmente con 2,5 mm. distancia de ruptura de chispa. Se llenará el recipiente de prueba limpio, vertiendo el aceite a (15-25°C) lentamente (para evitar burbujas) y se efectuará inmediatamente el ensayo. Se aumentará regularmente la tensión de 2 kV/seg. hasta la descarga 6 veces seguidas. Después de cada descarga se limpiará el espacio entre los electrodos de restos quemados por medio de un bastoncito de vidrio de 2 mm. de diámetro, haciendolo ir y venir lentamente entre los electrodos.

Como valor de rigidez se tomará la media aritmética de los 6 valores de descarga obtenidos (suma de los seis valores dividida entre 6). Ninguno de los 6 valores de descarga debe ser menor que un 85% del resultado medio.

En caso contrario se deberá repetir la prueba con una nueva muestra de aceite.

b) Ensayo ASTM - D 1816

Este método es comparable al de CEI. El ensayo se lleva a cabo con semiesferas VDE y distancias de ruptura de 0,08 "o de 0,04".

Para cada muestra de aceite se harán 6 ensayos que, con excepción del priemro, se utilizarán para determinar el valor medio de la descarga.

c) Ensayo ASTM - D - 877

Para éste método se utilizan electrodos planos con cantos vivos de 1" de diámetro y 0,1" de distancia de ruptura. Se emplean 5 muestras de aceite con una descarga para cada una.

En los métodos arriba descritos se aumentará siempre la tensión hasta lograr la ruptura. Los valores obtenidos sin alcanzar la descarga, no tienen interés alguno.

En caso de necesidad se puede disminuir la distancia entre los electrodos a fin de alcanzar la ruptura. La rigidez dieléctrica es aproximadamente proporcional a la distancia de ruptura entre los valores de 1,5 y 2,5 mm.

La rigidez dieléctrica no es ningún criterio sobre el envejecimiento del aceite. La rigidez dieléctrica se mejora filtrando y secando el aceite (5).

Tensión máx. DE SERVICIO del transf. kV.	Transformadores nuevos			Transformadores en serv.		
	CEI 156 kV/2,5 Ø,1" mm.	ASTM D-1816 kV/Ø,Ø8"	ASTM D-877 kV/	CEI - 156 kV/2,5 Ø,1" mm.	ASTM D-1816 kV/Ø,Ø8"	ASTM D-877 kV/
Hasta 36	> 5Ø	> 4Ø	> 28	> 4Ø	> 32	> 25
37 - 17Ø	> 55	> 45	> 29	> 45	> 36	> 26
171 - 3ØØ	> 6Ø	≥ 5Ø	> 3Ø	> 5Ø	> 4Ø	> 28
más de 3ØØ	> 65	> 55	> 32	> 55	≥ 45	> 3Ø

TABLA Nro. 5

(5) (Publicación B07W 9Ø2Ø5 S de Brown Boveri - España).

Si el ensayo del aceite no cumpliera con las especificaciones descritas, será necesario secar y desgasar el aceite, haciendole circular por una instalación de tratamiento que cuente por lo menos con filtro, calefacción y vacío. Seguidamente se repetirá el ensayo de rigidez, si alguno de los valores medidos, incluso en pruebas repetidas se desvía en más de 15% de los valores especificados, es señal de que la parte activa se ha humedecido o que el aceite se ha ensuciado.

De ser así no se hará la puesta en servicio en ningún caso, antes de haber descubierto y remediado el porque de la baja rigidez dieléctrica del aceite (6 y 7).

Se efectuará una prueba de aislamiento al transformador con un megómetro de tensión no menor de 2,500 V.c.c. para equipos con tensión de operación hasta 30 kV y 5,000 V.c.c para equipos con tensión de operación mayor a 30 kV (9). La finalidad de realizar ésta prueba es la de poder detectar fallas francas, debido a algún daño que pueda haber sufrido durante el transporte o montaje.

La prueba contemplará lo siguiente:

A.T. - - Tierra

B.T. Tierra

A.T. B.T.

Exámen de la relación de transformación y grupo de conexión, lo que puede hacerse mediante un puente tipo circuito potenciométrico Hartman & Braun (de ajuste de cero) o aplicando tensión reducida al primario del transformador de tal forma que se obtenga valores que se puedan medir directamente en el secundario del transformador (este último método no es exacto pero si puede dar una idea válida como prueba de campo).

(4)(Publicaciones ROTN 90203 S y
ROTN 90205 S de Brown Boveri - España)

(6) (Norma DGE 014-PS-1 Pág. 7).

Contraste del termómetro de temperatura con un termómetro patrón (Preferible de mercurio). Esto se realizará; calentando en un recipiente separado agua e introduciendo la termocúpula del termómetro del transformador así como el termómetro de mercurio patrón, efectuandose el contraste para diferentes puntos de temperatura (10).

Se efectuará una inspección para verificar el buen estado de la pintura.

4.1.2) Protecciones y señalizaciones

Se efectuará un control del cableado entre el equipo y la "caja de bornes" de todas las protecciones incluyendo de los transformadores de corriente que se encuentren incorporados en los bornes de A.T. y B.T.

Se efectuará una prueba de polaridad a todos los transformadores de corriente que se encuentran incorporados en los bornes del transformador de potencia. A continuación se muestra un esquema del circuito utilizado para esta prueba en un transformador de conexión Y N d 5.

Para realizar esta prueba hay que utilizar los siguientes planos:

Caja de bornes
Croquis de dimensiones
Esquema de conexiones
Ubicación de cúpulas de transformadores de corriente.

- 1) Se cortocircuitan los bornes de B.T. y se conectan a tierra
- 2) Verificar que la carcasa del transformador este a tierra
- 3) Se conecta un voltímetro de corriente continua en la "caja de bornes" que corresponden a los secundarios de los transformadores de corriente del lado de A.T., estando este en la Escala de 12 milivoltios.

ESQUEMA DE CONEXIONADO PARA LA PRUEBA DE POLARIDAD
A LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE DEL LADO DE A.T.

YNd15

A.T. B.T.

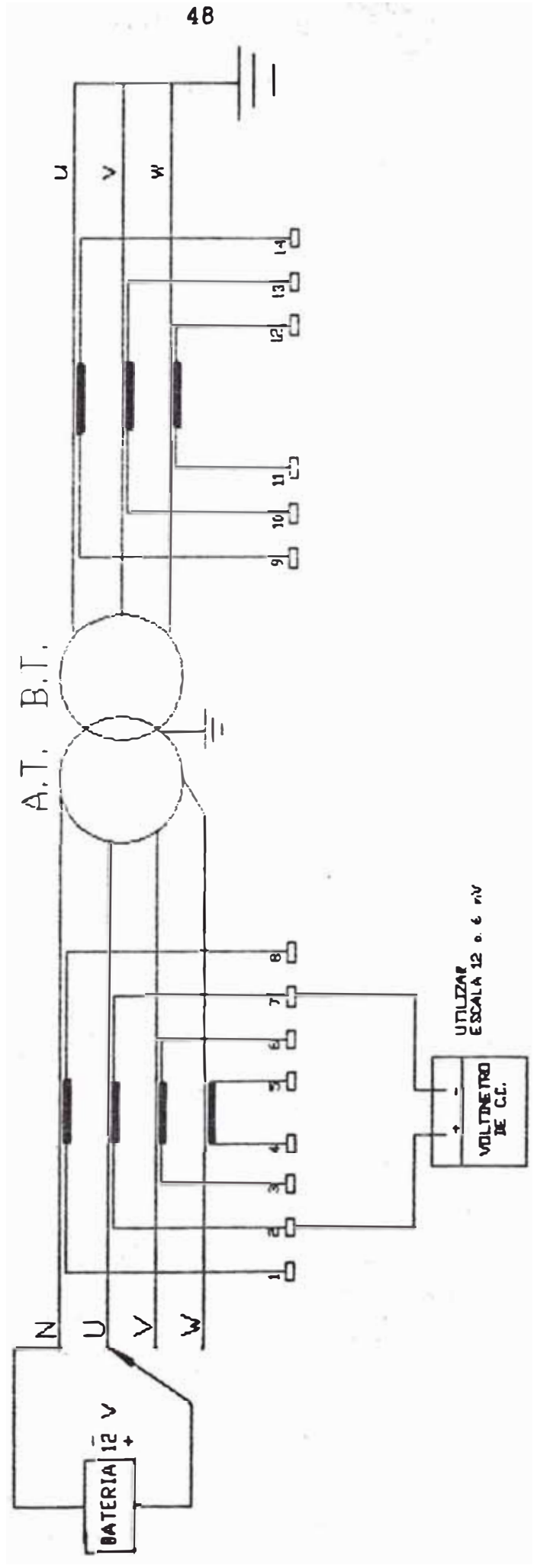


FIG 4

- 4) Utilizando una batería de 12 V.c.c. manteniendo un borne conectado y el otro haciendo contacto momentáneo mediante pulsos rápidos se comprueba la polaridad de la siguiente manera:
- a) El negativo de la batería se conecta al borne "N" del transformador
 - b) Con el positivo de la batería se hacen las conexiones intermitentes en el borne "U" del transformador
 - c) El voltímetro se conecta; el positivo en el Nro. 2 de la caja de bornes y el negativo en el Nro. 7.
 - d) Si al efectuar el pulso, la aguja del voltímetro se deflecha en sentido normal de uso, significa que la polaridad del transformador de corriente ubicado en el borne "U" es correcta.
Si se deflecha en sentido contrario significa que la polaridad de ese transformador esta errada.
- 5) En forma análoga se comprueba la polaridad de los demás transformadores de corriente en el lado A.T., siempre utilizando el borne neutro del transformador como conexión fija y los pulsos se efectúan en los otros bornes "V" y "W". Cuando se quiera comprobar la polaridad en el borne neutro "N" la conexión fija se efectúa en cualquiera de los bornes "U", "V" o "W" y los pulsos se dan en el borne neutro.
Esta prueba se basa en el hecho de que el transitorio de tensión (Onda) que se crea al conectar una fuente continua en una bobina de un transformador y que cuya duración es muy corta, origina un flujo alterno que induce una tensión en el secundario de este.
Además para esta prueba hay que contar con un voltímetro protegido con un dispositivo automático de rearme; puesto que el transitorio puede originar una deflección de la aguja del voltímetro tan grande que pueda dañar el instrumento.
Si no se efectúa los cortocircuitos mencionados en la prueba; puede darse el caso que la aguja del voltímetro no registre ningún movimiento; esto sucede sobre todo en transformadores de gran potencia. El transitorio tiene una corta duración y habrían otros caminos para el flujo magnético a través de los otros bobinados.

ESQUEMA DE CONEXIONADO PARA LA PRUEBA DE POLARIDAD
A LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE DEL LADO DE B.T.

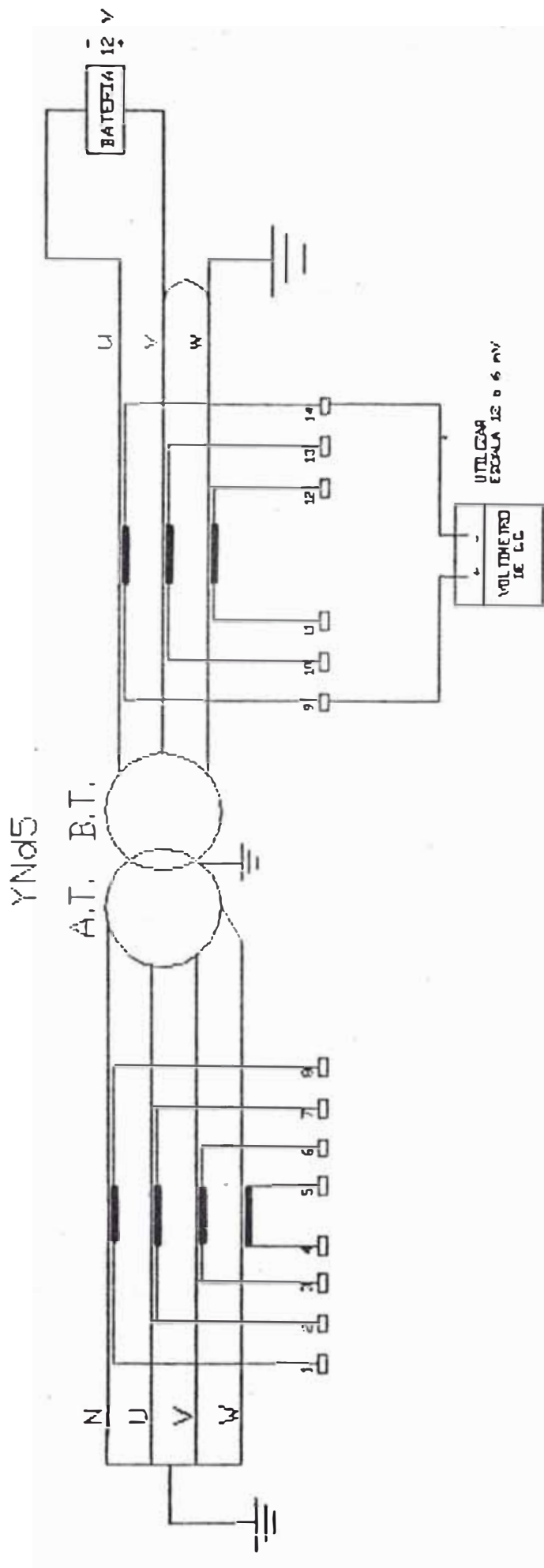


FIG 5

- 1) El procedimiento es análogo al anterior, en el momento de efectuar el pulso; si la deflexión de la aguja en el voltímetro es en sentido normal quiere decir que la polaridad del transformador de corriente ubicado en el borne "U" es correcta.
- 2) Para verificar la polaridad del transformador de corriente del borne "V" se mantiene el cortocircuito entre los bornes "V" y "W" de B.T., el positivo de la batería se conecta al borne "U" y el negativo al borne "V", el positivo del voltímetro se conecta al borne Nro. 10 de la caja de bornes y el negativo al borne Nro. 13, si la aguja del voltímetro se deflexa en el sentido normal significa que la polaridad es correcta.
- 3) Para verificar la polaridad del transformador de corriente del borne "W" se cortocircuita los bornes "U" y "V" del transformador de potencia y se conectan a tierra, el positivo de la batería se conecta al borne "V", y el negativo al borne "W"; el positivo del voltímetro se conecta al borne Nro.11 de la caja de bornes y el negativo al borne Nro. 12, si la aguja del voltímetro se deflexa en el sentido normal significa que la polaridad es correcta.

Se comprobará la correcta actuación de las protecciones del transformador mediante excitación directa en los equipos de protección (relé Buchholz, válvula de seguridad, termómetro de aceite etc.), para esto todos los circuitos de protección, de control y mando deben estar conectados para comprobar que la señalización es la correcta y que efectivamente los interruptores abran con la señal de actuación.

Los equipos de protección usuales del transformador de potencia son:

- Relé Buchholz Transformador
- Relé Buchholz Conmutador
- Termómetro de Aceite
- Relé de Imágen térmica
- Válvula de seguridad
- Indicador de nivel de aceite (mínimo y máximo)

Para efectuar esta prueba las tensiones auxiliares deben estar conectadas y se utilizarán los planos de cajas de bornes, croquis de dimensiones y planos funcionales de los tableros de protección y mando del transformador.

La recomendación general de los fabricantes de transformadores sobre la conexión de las protecciones es la siguiente:

Relé Buchholz transformador.- mando de un contacto a una señal de alarma en caso que el daño sea leve y mando de otro contacto a desconexión o desenergización total del transformador en caso que el daño sea grave.

Relé Buchholz conmutador.- generalmente solo tienen un contacto para desconexión o desenergización total del transformador.

Relé de Imágen térmica y termómetro de Aceite.- mando de un contacto a una señal de alarma como prevención de sobrecarga y otro contacto de desconexión en caso que la temperatura aumente y se encuentre en el límite máximo permitido por el diseño del transformador.

Válvula de seguridad.- generalmente tiene un solo contacto para la desconexión o desenergización total del transformador, cuando esta protección actúa significa que ha existido un defecto muy grave en el transformador.

Indicador de nivel de Aceite.- tiene dos contactos uno que indica que se ha llegado al nivel de aceite mínimo permisible, y que generalmente debe desconectar o desenergizar el transformador y otro que indica que el nivel de aceite ha llegado al nivel máximo permisible, que generalmente da una señal de alarma preventiva.

Se comprobarán las características (curvas de actuación) de todos los relés secundarios de protección del transformador (sobrecorriente, sobrecarga, sobretensión, subtensión etc.), desconectándolos del circuito y utilizando un equipo de pruebas especial para este tipo de relés.

En el apéndice se muestran los catálogos de los siguientes relés de protección:

A3.8 - Relé de Sobre-Voltaje, marca BBC, tipo USM.

A3.9 - Relé de Sub-Voltaje, marca BBC, tipo VG.

A3.10- Relé de Sobre-Corriente, marca BBC, tipo ICM.

En igual forma mediante excitación directa se comprobará la correcta actuación de los relés secundarios mencionados en el punto anterior que generalmente están ubicados en el tablero de protección de la Sala de Control.

4.1.3) Sistema de Protección diferencial

Se deberá efectuar todo lo necesario para comprobar que el sistema de protección diferencial se encuentra bien conectado y en buenas condiciones de operación.

A continuación se dan los pasos que se deben realizar para un buen control del sistema.

- a) Se probará el relé diferencial desconectándolo del circuito y utilizando una maleta de pruebas para relés secundarios.

Comprobar la polaridad de todos los transformadores de corriente que intervienen en el circuito diferencial, tanto de los transformadores primarios como de los intermedios.

- b) Control estricto del cableado de todo el sistema diferencial (incluido al conexionado de los transformadores de corriente intermedios).

- c) Se realiza una prueba de comprobación del correcto conexionado del sistema diferencial aplicando tensión reducida por el lado de A.T. estando cortocircuitado el lado de baja tensión después de los transformadores de corriente que se utilizan para esta protección. Luego se comprueba que todas las corrientes que circulan por el sistema, incluido la del punto por donde va a circular la corriente diferencial del relé son iguales a las calculadas.

A continuación se muestra el circuito para esta prueba y los valores aproximados que se deben medir; para el ejemplo se ha considerado el caso de un transformador de 12.5 MVA, 60/10 kV, conexión Y d 5, $T_{cc} = 10\%$.

CALCULO APROXIMADO DE LAS CORRIENTES QUE DEBEN PASAR POR EL SISTEMA

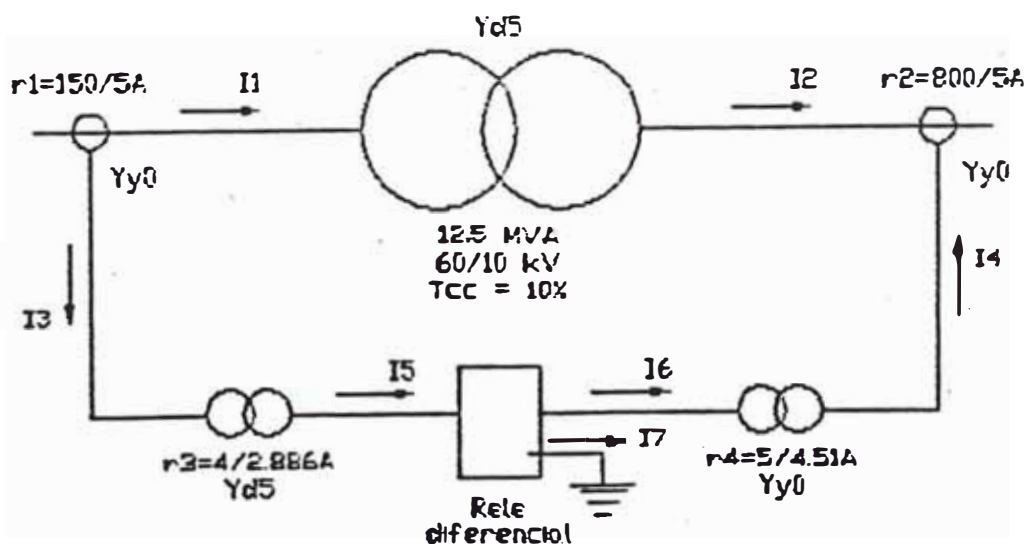
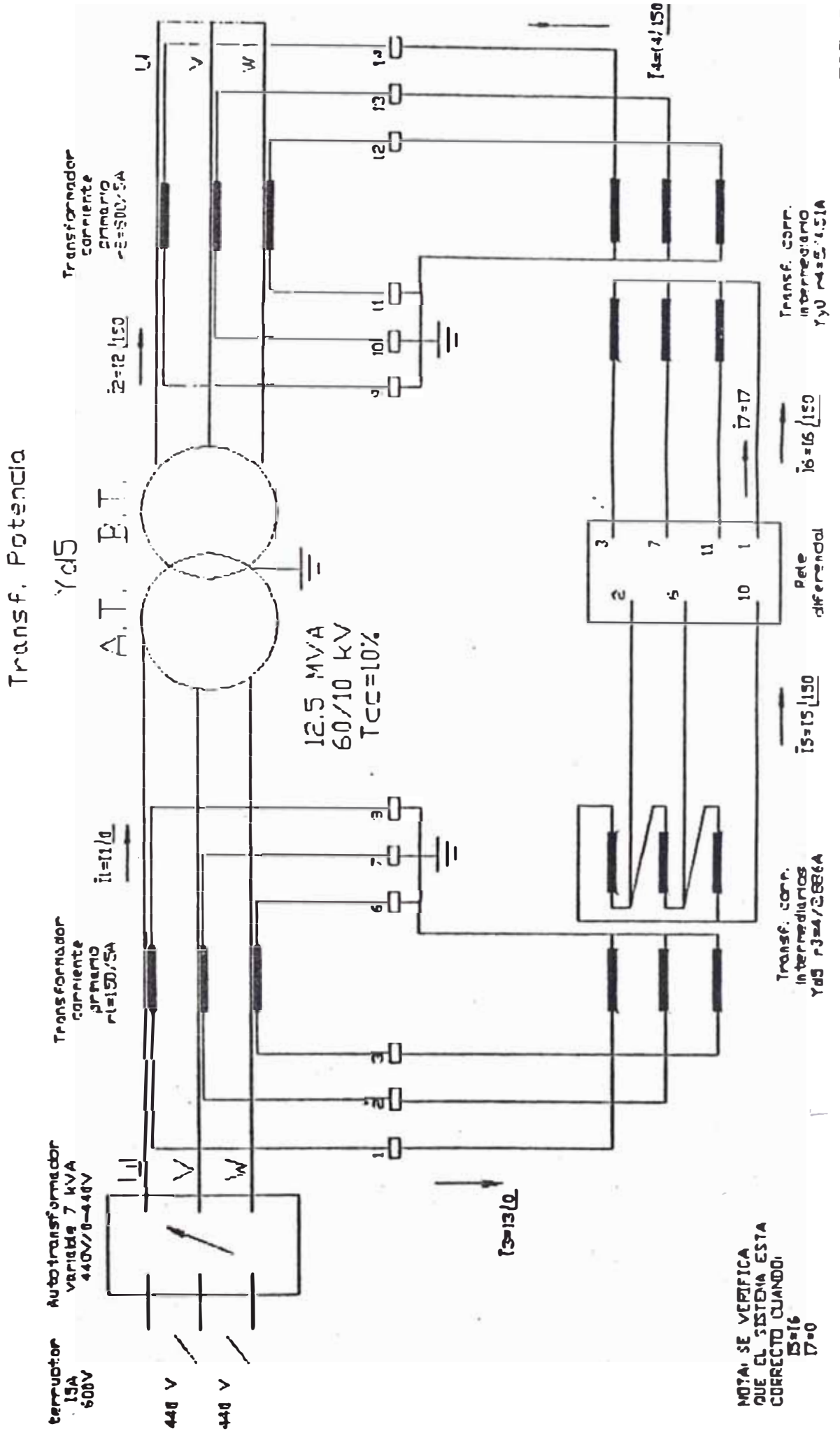


FIG 6

CIRCUITO DE PRUEBA DEL SISTEMA DIFERENCIAL



NOTA: SE VERIFICA QUE EL SISTEMA ESTA CORRECTO CUANDO:
 $I_5 = I_6$
 $I_7 = 0$

FIG 7

Aplicando 440V. en el lado de 60 kV y cortocircuitando el lado de 10 kV

$$V_{cc} = 6 \text{ kV} \quad I_n = 120.28 \text{ A}$$

$$0.44 \text{ kV} \quad X$$

$$I_1 = 8.82 \text{ A}$$

$$I_2 = 8.82 \times 6 = I_2 = 52.92 \text{ A}$$

NOTA: Para el cálculo de I_1 no se ha considerado la impedancia de los cables de conexión por lo que el valor real debe ser algo menor.

$$I_3 = \frac{I_1}{r_1} = \frac{8.82}{30} = 0.294 \text{ A}$$

$$I_3 = 294 \text{ mA.}$$

$$I_4 = \frac{I_2}{r_2} = \frac{52.92}{160} = 0.33075$$

$$I_4 = 330.75 \text{ mA.}$$

$$I_5 = \frac{I_3}{r_3} \times \sqrt{3} = \frac{294}{1.386} \times \sqrt{3} = 367 \text{ mA.}$$

$$I_5 = 367 \text{ mA.}$$

$$I_6 = I_4 \times r_4 = 330.75 \times 1.10865$$

$$I_6 = 367 \text{ mA.}$$

$$\Rightarrow I_7 = I_5 - I_6 = 367 \angle 150^\circ - 367 \angle 150^\circ = 0$$

$$I_7 = 0$$

Las mediciones se tienen que realizar en todos los puntos y en las tres fases del sistema para verificar que las corrientes medidas son balanceadas y similares a las calculadas.

Los criterios básicos a considerar en la protección diferencial son:

- 1) Los transformadores de corriente intermediarios sirven para corregir el error de relación debido a los valores nominales de los transformadores de corriente primarios y el error de ángulo debido al grupo de conexión del transformador de potencia.
- 2) La conexión de los transformadores de corriente intermediarios deberán ser de tal forma que en el lado donde el transformador de potencia esta conectado en estrella los transformadores intermediarios se conectarán en triángulo, con la finalidad de filtrar las armónicas de corriente y en el lado donde el transformador de potencia esta conectado en triángulo los transformadores intermediarios se podrán conectar en estrella puesto que el filtro lo hace el mismo transformador de potencia.
- 3) Las conexiones de tierra se deben efectuar solo en los lugares que indica el catálogo del relé, en caso contrario asegurarse de no haber conectado a tierra puntos de diferente tensión.

4.1.4) MANDO A MOTOR DEL CONMUTADOR BAJO CARGA

Se realiza las siguientes pruebas:

A) Con tensión auxiliar

MANDO

Local	Distancia -----
Subir Tensión	Subir Tensión
Bajar Tensión	Bajar Tensión

Disparo de emergencia

Bloqueos de posiciones extremas de taps.

B) Manualmente

Conmutación sin inconvenientes

Bloqueos de posiciones extremas de taps

Bloqueo del mando eléctrico cuando esta insertada la palanca de maniobras

Estas pruebas deben de complementarse con las de energización.

C A P I T U L O V

PRUEBAS DE ENERGIZACION

5.1.1) Pruebas con Tensión Regulada

Esta es una prueba que tiene mayor importancia en transformadores de gran potencia y de altas tensiones.

Para esto hay que contar con un generador adecuado de tal forma que se pueda elevar gradualmente la tensión y mantenerla por espacio de aproximadamente 3 minutos por punto, hasta obtener la tensión nominal del transformador de potencia. En la mayoría de casos el generador esta conectado a un transformador elevador de transmisión de potencia, de acuerdo a la configuración del sistema. La regulación de tensión debe permitir un ajuste relativamente fino de tensión en un rango grande para poder tomar lecturas y apreciaciones en varios puntos.

La finalidad de esta prueba es la de poder verificar que los instrumentos de medición estan operando bien, que no existan descargas de corriente en cualquier zona (cortocircuitos etc.) y la de poder verificar la correcta operación del transformador de potencia.

De existir alguna anomalía grave, con los primeros puntos de la prueba 5% Un, 10% Un, 15% Un, esta se detectaría, no permitiendo un daño mayor por esta causa.

Con esta prueba se puede probar la actuación de los relés de subtensión y sobretensión. Para efectuarla es necesario bloquear el relé de subtensión e incrementar la tensión hasta llegar a un 10% por encima de la tensión nominal, donde se comprobará la operatividad del relé de sobretensión.

Una vez lograda la tensión nominal, esta se disminuye hasta comprobar la actuación del relé de subtensión.

5.1.2) Panel de Regulación de Tensión

Después de haber pasado la prueba con tensión regulada, se procede a realizar la energización del transformador en forma brusca, para lo cual todo el sistema de estar en orden.

Una vez energizado el transformador de potencia se toman lecturas de las tensiones que se registran en

los aparatos de medición. Estando el transformador con tensión nominal y sin carga se procede a comprobar el correcto funcionamiento del panel de regulación de tensión según lo siguiente:

Verificación del correcto funcionamiento del indicador de posiciones remoto, comparando con lo indicado en la caja del mando a motor del conmutador.

Verificación del correcto funcionamiento del regulador automático de tensión para lo cual se efectuará lo siguiente:

- * Ajustar el valor de referencia en el regulador de tal forma que la tensión de salida del transformador sea la nominal y colocar el conmutador auxiliar del panel en posición "automático".
- * Verificar que el regulador actúa hasta lograr la tensión prefijada en el transformador, desapareciendo la indicación de los focos de bajar o subir tensión.
- * Pasar el conmutador auxiliar a posición "manual" para elevar la tensión de salida del transformador de potencia utilizando los pulsadores de mando eléctrico. Luego debe aparecer en el regulador la indicación de "bajar tensión".
- * Cambiar la posición del conmutador auxiliar a "automático", para que después de pasar el tiempo de retardo prefijado en el regulador; a través de este se ejecute un cambio de tap en el transformador de potencia. Si con este cambio la tensión de salida del transformador no es la requerida, el foco que indica bajar tensión seguirá prendido y se repetirá lo enunciado anteriormente hasta lograr la tensión de salida deseada, desapareciendo las indicaciones de subir y bajar tensión.
- * Luego se efectúa la misma operación pero bajando la tensión de salida del transformador en forma manual para que después el regulador se encargue de corregir dicha tensión hasta lograr la prefijada.

C A P I T U L O VI
AJUSTES FINALES
(Protocolos de Pruebas)

SUMARIO DE PROTOCOLO DE PRUEBAS

CLIENTE :

ORDEN DE COMPRA

SUBESTACION

-
- 1) Transformador de Potencia
 - 2) Transformadores de Corriente
 - 3) Relé Diferencial
 - 4) Relé de Sobrecorriente
 - 5) Relé de Sobrecarga
 - 6) Relé de Sobretensión
 - 7) Relé de Subtensión
 - 8) Tablero de Mando y Protección
 - 9) Regulador Automático de Tensión
 - 10) Energización gradual.

PROTOCOLO DE PRUEBAS

EQUIPO : Transformadores de Potencia
CLIENTE :
O/C. .
SUBESTACION

DATOS CARACTERISTICOS

MARCA : RELC. TRANSF :
TIPO . POTENCIA :
Nro. FAB. . NIVEL DE AISLAM. AT
FREC. : NIVEL DE AISLAM. BT :
TIPO CONM. : T.C.C. .
GRUPO CONEXION
AÑO DE FABRICACION .

EXAMENES Y/O CONTROLES

Inspección Visual

Prueba de actuación de protecciones por simulación mecánica en relés o equipos.

* Relé Buchholz : Alarma/señalización
Disparo/señalización
* Válvula Seguridad . Disparo/señalización
* Temp. Aceite : Alarma/señalización
. Disparo/señalización
* Ind.nivel de aceite . Nivel/Mínimo/Disparo
Nivel Máximo/alarma
* Relé imagen térmica alarma/señalización
Disparo/señalización

Revisión de fugas de aceite

Revisión de anclajes del transf.

Revisión del conexionado de fuerza
Revisión del conexionado de tierra
Verificación del desecador de aire
Purga de aire en bornes, radiadores y relé Buchholz
Verificación del correcto estado de válvulas del transf.
Control del nivel de aceite
Verificación de la relación de transformación y grupo de conexión
Contraste del termómetro de temperatura

PRUEBAS ELECTRICAS

Medida de aislamiento con Megger 5000 VDC

A.T.	Vs. Masa	-
B.T.	Vs. Masa	
A.T.	Vs. B.T.	

Prueba de rigidez dieléctrica del aceite

Prueba del sistema de refrigeración forzada

Prueba de polaridad en Transf. Corriente

Conexionado del relé diferencial :

Control de la correcta coincidencia de la posición del tap, que figura en la caja de mando a motor, con lo que indica la mirilla del conmutador :

Prueba de energización .

Verificación del estado de la pintura .

Realizado por:

Aprobado :

Fecha :

PROTOCOLO DE PRUEBAS

EQUIPO · Transformadores de Corriente
CLIENTE
O/C. ·
SUBESTACION

DATOS CARACTERISTICOS

MARCA · RELC. TRANSF
TIPO FRECUENCIA
Nro. FAB. POTENCIA
AÑO FAB NIVEL AISLAMIENTO
· CLASE PRECISION

CHEQUEOS Y/O CONTROLES

Verificación de puesta a tierra.
Control de caja de bornes.
Exámen del conexionado.

PRUEBAS ELECTRICAS

Prueba de la polaridad.

Realizado por:
Aprobado ·
Fecha ·

PROTOCOLO DE PRUEBAS

EQUIPO : RELE DIFERENCIAL
CLIENTE :
O/C.
SUBESTACION
CIRCUITO

DATOS CARACTERISTICOS

MARCA :
TIPO :
Nro. FAB
AÑO FAB. :

EXAMENES Y/O CONTROLES

Inspección visual
- Ajustes

g : ----- %
V : ----- %

PRUEBAS ELECTRICAS

- Verificación del sistema diferencial.

Table with 3 columns: Fase 1, Fase 2, Fase 3. Each column has sub-columns AT, BT, INS. Values are A under each.

Realizado por:

Aprobado

Fecha

PROTOCOLO DE PRUEBAS

EQUIPO RELE DE SOBRECORRIENTE
CLIENTE
O/C. :
SUBESTACION
CIRCUITO

DATOS CARACTERISTICOS

MARCA :
TIPO
Nro. FAB
AÑO FAB.

EXAMENES Y/O CONTROLES

- Inspección visual
- Ajustes .

PRUEBAS ELECTRICAS

Posición	Valor de Ajuste	Corr. Aplicada	Tact. Seg.	Señal Optica	Contactos
----------	-----------------	----------------	------------	--------------	-----------

1					
2					
3					
Pick Up					

Realizado por:

Aprobado :

Fecha

PROTOCOLO DE PRUEBAS

EQUIPO · RELE DE SOBRECARGA
CLIENTE
O/C.
SUBESTACION
CIRCUITO

DATOS CARACTERISTICOS

MARCA
TIPO ·
Nro. FAB ·
AÑO FAB. ·

EXAMENES Y/O CONTROLES

Inspección visual :
Ajustes ·

PRUEBAS ELECTRICAS

Posición	% de t°C del Ajuste prefija- do	Tens.Aplicada V	Tact. Seg.	Señal Optica	Contactos
1					
2					
3					
Pick Up					

Realizado por:

Aprobado :

Fecha

PROTOCOLO DE PRUEBAS

EQUIPO RELE DE SOBRETENSION
CLIENTE
O/C.
SUBESTACION
CIRCUITO

DATOS CARACTERISTICOS

MARCA :
TIPO :
Nro. FAB
AÑO FAB. :

EXAMENES Y/O CONTROLES

Inspección visual
Ajustes :

PRUEBAS ELECTRICAS

Posición	Valor de Ajuste	Tens. Aplicada	Tact. Seg.	Señal Optica	Contactos
1	V	V			
2					
3					
Pick Up					

Realizado por:

Aprobado :

Fecha

PROTOCOLO DE PRUEBAS

EQUIPO : RELE DE SUBTENSION
CLIENTE :
O/C.
SUBESTACION
CIRCUITO

DATOS CARACTERISTICOS

MARCA
TIPO
Nro. FAB :
AÑO FAB. :

EXAMENES Y/O CONTROLES

- Inspección visual
Ajustes

PRUEBAS ELECTRICAS

Posición Valor de Ajuste Tens. Aplicada Tact. Señal Contactos
V V Seg. Optica

1
2
3
Pick Up

Realizado por:

Aprobado

Fecha

PROTOCOLO DE PRUEBAS

EQUIPO Tablero de Mando y Protección
CLIENTE ·
O/C. ·
SUBESTACION
CIRCUITO

DATOS CARACTERISTICOS

MARCA ·
TIPO ·
Nro. FAB.
AÑO FAB ·

EXAMENES Y/O CONTROLES

Inspección visual.
Indicadores de posición.
Puesta a tierra.

PRUEBAS ELECTRICAS

Señalizaciones.
Disparos.
Mandos.

Realizado por:
Aprobado
Fecha

PROTOCOLO DE PRUEBAS

EQUIPO . Regulador de tensión

CLIENTE

SUBESTACION

MARCA

TIPO .

Nro. FAB. .

INSPECCION VISUAL:

EXAMEN DE CABLEADO:

RANGO DE VALORES DE REFERENCIA: V. a _____ V

VALOR REAL MEDIO: _____ V.
(SEÑAL DE TENSION)

EXAMEN DE TIEMPO DE RETARDO:

EXAMEN BLOQUEO DE TENSION:

EXAMEN DE FUSIBLE:

EXAMEN DE FUNCIONAMIENTO
(MANUAL-AUTO)

EXAMEN DE LA SENSIBILIDAD:

Realizado por:

Aprobado

Fecha :

PROTOCOLO DE PRUEBAS

ENEGIZACION GRADUAL DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA

CLIENTE :

O/C. :

SUBESTACION :

CIRCUITO :

DATOS CARACTERISTICOS DEL TRANSFORMADOR

Marca . Relac. Transf.

Tipo Potencia

Nro. FAB. : Tcc.

Frec. . Grupo de Conx.

Tipo Conmu. Año de Fabr.

% Un	<u>Tensión A.T.</u>			<u>Tensión B.T.</u> $\frac{1}{2}$		
	<u>Fase 1</u>	<u>Fase 2</u>	<u>Fase 3</u>	<u>Fase 1</u>	<u>Fase 2</u>	<u>Fase 3</u>
5						
10						
15						
20						
40						
60						
80						
100						
110						

Realizado por:

Aprobado

Fecha

A 2 B I B L I O G R A F I A

- Título : Le Transformateur de Puissance.
Autor : CEM, 1982.
- Título : Estaciones Transformadoras y de Distribución.
Autor : G. Toppetti, México 1981.
- Título : Instalaciones Eléctricas.
Autor : Giuseppe Castelfranchi.
- Título : Norma DGE 014-85-1.
Autor : Ministerio de Energía y Minas - Perú.
- Título : Transformadores mayores de 6 MVA.
Autor : Brown Boveri, publicación HUTW.
- Título : Transformadores de Potencia.
Autor : Mitsubishi Electric Corporation, publicación IB-66252A, IB-66124-A.
- Título : Bornes de Alta Tensión.
Autor : Micafil, publicación J 42265, bornes CT-24-245 KV.
- Título : Mantenimiento preventivo de Transformadores de Potencia.
Autor : Puramin C.A.
- Título : Manual de las instalaciones de distribución de energía eléctrica.
Autor : Brown Boveri Aktiengesellschaft, Mannheim Essen, 1983.