

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**“MONTAJE ELECTROMECAÁNICO DE UN REACTOR DE 20 MVAR
EN LA SUBESTACIÓN GUADALUPE”**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR:

NÉSTOR DE LOS RÍOS GONZÁLES

PROMOCIÓN

1995-I

LIMA – PERÚ

2006

MONTAJE ELECTROMECAÁNICO DE UN REACTOR DE 20 MVAR
EN LA SUBESTACIÓN GUADALUPE

A mis Padres, Hermanos y Esposa en
agradecimiento a su constante apoyo y
confianza.

SUMARIO

El presente Informe de Suficiencia se aboca a describir las actividades desarrolladas durante el Montaje Electromecánico de un Reactor de 20 MVA. en una celda 220 kV existente de la subestación Guadalupe, el cual tuvo que efectuarse para reemplazar a otro equipo de similares características, que tuvo que ser trasladado a la Subestación Piura Oeste para cubrir una contingencia en el Sistema Interconectado.

Durante el desarrollo del informe se incide en las especificaciones y características técnicas del equipamiento eléctrico, así como en los procedimientos de montaje, pruebas y recursos necesarios, determinando así los requerimientos técnicos necesarios para efectuar un adecuado montaje del equipo de alta tensión, para su correcta operación en el Sistema Interconectado Nacional.

ÍNDICE

PRÓLOGO	1
CAPÍTULO I	
ASPECTOS GENERALES	3
1.1 Generalidades	3
1.2 Aspectos Generales de la Empresa	3
1.2.1 Responsabilidades	
1.2.2 Infraestructura	4
1.2.3 Estructura Orgánica	4
1.2.4 La Unidad de Transmisión Norte	5
1.3 Planteamiento del Problema	9
1.4 Objetivo	10
1.5 Alcance	10
1.6 Ubicación Geográfica	10
1.7 Base Legal	10
CAPÍTULO II	
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS	12
2.1 Generalidades	12
2.2 Reactor 20 MVAR	12
2.2.1 Especificaciones Técnicas del Reactor 20 MVAR	12
2.2.2 Equipos y Accesorios del Reactor de 20 MVAR	14
2.3 Sistemas de Protección del Reactor de 20 MVAR	16
2.3.1 Descripción de los Dispositivos de Protección	16
2.3.2 Características de los Equipos de Protección Instalados	27
2.4 Equipamiento de la Subestación Guadalupe	28
2.4.1 Descripción del Equipamiento Existente	28
2.4.2 Especificaciones Técnicas de los Equipos de la Celda del Reactor	37
CAPÍTULO III	
MONTAJE ELECTROMECAÁNICO DEL REACTOR	39

3.1	Generalidades	39
3.2	Especificaciones Técnicas del Montaje Electromecánico	39
3.2.1	Descripción	39
3.2.2	Procedimiento	39
3.2.3	Pruebas de Puesta en Servicio	44
3.2.4	Cronograma de Montaje	44
3.3	Programación y ejecución del Montaje Electromecánico del Reactor	44
3.3.1	Actividades Principales del Programa	45
3.3.2	Ejecución del Montaje Electromecánico	45
3.4	Pruebas	58
3.4.1	Pruebas del Equipo	58
3.4.2	Pruebas del Aislamiento	60
3.4.3	Resultados de las Pruebas	87
CAPÍTULO IV		
RECURSOS Y PRESUPUESTO DEL MONTAJE ELECTROMECAÁNICO		88
4.1	Generalidades	88
4.2	Recursos	88
4.2.1	Recursos Humanos	88
4.2.2	Recursos Materiales	89
4.3	Metrado y Presupuesto	90
CONCLUSIONES		93
ANEXO A		95
PLANOS DEL PROYECTO		
ANEXO B		97
INFORME FOTOGRÁFICO		
ANEXO C		115
ACTA DE ENERGIZACIÓN E INICIO DE LA OPERACIÓN EXPERIMENTAL		
ANEXO D		118
PROTOCOLO DE PRUEBAS DEL REACTOR DE 20 MVAR		
BIBLIOGRAFÍA		129

PROLOGO

El presente Informe de Suficiencia tiene como finalidad dar las pautas y consideraciones técnicas, orientadas hacia la aplicación práctica que posibiliten un adecuado montaje electromecánico de un reactor de alta tensión, para su correcta operación en el Sistema Interconectado Nacional.

Con la realización de este proyecto se busca tener un mejor control de las tensiones en barras en la zona norte del Sistema Interconectado Nacional.

El contenido del informe se divide en cuatro capítulos, definidos de la siguiente manera:

Capítulo I: En el presente capítulo se hace una reseña de la empresa de Transmisión Eléctrica Centro Norte (ETECEN), el planteamiento del problema, los objetivos, alcances del trabajo realizado y las normas legales aplicables.

Capítulo II: Aquí se detallan las especificaciones técnicas del reactor de potencia, la relación de accesorios del reactor, los dispositivos de protección y las características técnicas de los equipos instalados en la celda existente de la subestación Guadalupe. Así como también se realiza una descripción de los dispositivos de protección con que cuenta un reactor de potencia.

Capítulo III: Aquí se detallan los procedimientos generales a seguir para realizar el montaje electromecánico de un reactor de potencia, el planeamiento realizado y se realiza una descripción de las actividades realizadas en la ejecución del montaje electromecánico del reactor.

Además, se hace una descripción de las pruebas de campo y laboratorio necesarias para la evaluación del estado del equipo.

Capítulo IV: En este último capítulo se detalla todos los recursos humanos, equipos, herramientas y materiales que se emplearon para ejecutar el montaje electromecánico del reactor de 20 MVAR, así como también se muestran los gastos incurridos en la ejecución de este proyecto.

Finalmente se emitieron conclusiones como consecuencia de la ejecución del proyecto en mención.

Expreso mi agradecimiento:

Al Ing. César Moreno Cueva, Jefe de la Unidad de Transmisión Norte - ETECEN, por brindarme la oportunidad de participar en la supervisión del proyecto en mención.

Al personal técnico del area de Mantenimiento de la Unidad de Transmisión Norte - ETECEN, que de una u otra forma colaboró con esta realización.

A todos aquellos que colaboraron en la elaboración de este trabajo, gracias.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 Generalidades

En el presente capítulo se hace una reseña de la empresa de Transmisión Eléctrica Centro Norte (ETECEN), el planteamiento del problema, los objetivos, alcances del trabajo realizado y las normas legales aplicables.

1.2 Aspectos Generales de la Empresa

ETECEN es una empresa estatal de derecho privado. Quedó legalmente constituida el 26 de enero de 1994 con la suscripción de la escritura pública de constitución social, e inicio sus operaciones de manera autónoma el 1 de mayo del mismo año; de acuerdo con la política de privatización de las empresas públicas, la Empresa de Transmisión Eléctrica Centro Norte S.A., se formó sobre la base de los activos de las empresas Electroperú S.A. y Electrolima S.A.

1.2.1 Responsabilidades

Los servicios básicos que ofrece ETECEN son el transporte de energía y potencia, a través de sus líneas de 60, 138 y 220 kV; la conexión al SICN a través de las líneas secundarias de transmisión y de las celdas de conexión ubicadas en las subestaciones; y la transformación de energía mediante el uso de transformadores de potencia en sus subestaciones.

De acuerdo al actual marco legal (D.L. N° 25844, Ley de Concesiones Eléctricas y el D.S. N° 009-93-EM, Reglamento de la Ley) ETECEN tiene las siguientes responsabilidades:

- Efectuar los estudios y/o construcción de las obras en los plazos señalados en los respectivos contratos de concesión.
- Conservar y mantener sus obras e instalaciones en condiciones adecuadas para su operación eficiente, de acuerdo a lo previsto en su contrato de concesión.
- Aplicar los precios regulados que se fijen de conformidad con las disposiciones de la Ley de Concesiones Eléctricas.

- Operar sus instalaciones de acuerdo a las disposiciones del Comité de Operación Económica del Sistema, COES.
- Permitir la utilización de sus sistemas por parte de terceros, quienes deberán asumir los costos de ampliación a realizarse en caso necesario y las compensaciones por el uso.
- Proteger y resguardar sus instalaciones, con el propósito de garantizar el servicio de electricidad.

1.2.2 Infraestructura

ETECEN tiene a su cargo las operaciones de transmisión eléctrica dentro del Sistema Interconectado Nacional (Ver plano N° MR-01 en el Anexo A) y su área de influencia se extiende desde la ciudad de Marcona por el sur hasta la ciudad de Tumbes por el norte y por el centro hasta la subestación de Campo Armiño, además de las líneas que interconectan las subestaciones de Paragsha, Huánuco, Tingo María y Aucayacu.

ETECEN posee la red de transmisión eléctrica más extensa del país. En el Sistema Interconectado Nacional (SIN), opera y mantiene 30 subestaciones y 4.468 Km. de líneas de transmisión soportadas por 8.756 estructuras. (Ver plano N° MR-02 en el Anexo A)

En subestaciones cuenta con la siguiente infraestructura:

- 20 subestaciones de 220 kV.
- 5 subestaciones 138 kV.
- 1 subestación de 60 kV.
- 4 subestaciones de 220 kV (de propiedad de Terceros).

La capacidad de transformación total es de 1.502,80 MVA, de las cuales 1.345,80 MVA corresponden a las subestaciones de la costa y 157 MVA a las subestaciones de la sierra y la selva del país.

También dispone de equipos de compensación de potencia reactiva, con un total de 235 MVAr inductivos y 254,4 MVAr capacitivos.

En cuanto a líneas de transmisión; ETECEN cuenta con 32 líneas de transmisión, 10 de ellas en doble terna.

También opera cuatro líneas de transmisión de 220 kV de propiedad de terceros, que suman 314 Km. de longitud soportadas por 821 estructuras.

1.2.3 Estructura Orgánica

ETECEN cuenta con cuatro gerencias de línea, todas dependientes de la Gerencia General. (Ver Fig. 1.1)

- Gerencia de Transmisión

- Gerencia de Coordinación del Sistema
- Gerencia de Proyectos
- Gerencia de Administración y Finanzas
- Gerencia de Desarrollo Empresarial

Para la operación y mantenimiento del Sistema Interconectado Centro Norte (SICN) ETECEN cuenta con seis Unidades de Transmisión, las cuales son:

- Unidad de Transmisión Norte, con sede en la ciudad de Chiclayo,
- Unidad de Transmisión Norte Medio, con sede en la ciudad de Chimbote;
- Unidad de Transmisión Lima, con sede en la ciudad de Lima;
- Unidad de Transmisión Sur Medio, con sede en la ciudad de Pisco;
- Unidad de Transmisión Sierra Centro, con sede en la ciudad de Huancayo,
- Unidad de Transmisión Sierra Norte, con sede en la ciudad de Huánuco.

Además se cuenta con unidades de apoyo, tales como:

- Unidad de Ingeniería de Mantenimiento, con sede en la ciudad de Lima;
- Unidad de Telecomunicaciones, con sede en la ciudad de Lima.

ETECEN cuenta con personal capacitado e idóneo para el desempeño de cada uno de los puestos existentes en la organización, en esa dirección ETECEN busca el permanente desarrollo y actualización de conocimientos y destrezas de la planta técnica y administrativa.

1.2.4 La Unidad de Transmisión Norte

La Unidad de Transmisión Norte tiene bajo su responsabilidad la Operación y el Mantenimiento del Sistema de Transmisión de la zona norte del país (Ver Plano N° MR-03 en el Anexo A).

Esta Unidad tiene a su cargo el montaje electromecánico del Reactor de 20 MVAR en la subestación Guadalupe.

Para el cumplimiento de sus funciones cuenta con un total de treinta y cinco trabajadores (Ver Fig. 1.2), y está dividida en seis áreas operativas y dos áreas de apoyo, las cuales son:

- Oficina de Mantenimiento
- Oficina de Apoyo Administrativo
- Subestación Piura Oeste (SEPO)
- Subestación Chiclayo Oeste (SECHO)
- Subestación Guadalupe (SEGUA)

- Subestación Talara (SETAL)
- Subestación Zorritos (SEZOR) y
- Líneas de Transmisión.

Esta unidad de transmisión tiene como principales centros de carga a las ciudades de Cajamarca, Pacasmayo, Guadalupe, Chiclayo, Lambayeque, Piura, Paita, Sullana, Talara y Tumbes.

Las principales características de los equipos e instalaciones a cargo de la Unidad de Transmisión Norte, se muestran en las Tablas N° 1.1, 1.2 y 1.3.

TABLA N° 1.1 Capacidad de Transformación de la Unidad de Transmisión Norte

Nombre	Sigla	Potencia Instalada (MVA)	Relación de Transformación (kV)	Año de Instalación
Guadalupe	SEGUA	2 x 30/30/10	220/60/10	1986/1996
Chiclayo Oeste	SECHO	2 x 50/50/0.25	220/60/0.38	1986/1997
Piura Oeste	SEPO	2 x 50/50/30	220/60/10	1996/1999
Talara	SETAL	1 x 75	220/13.2	1997
Zorritos	SEZOR	1 x 50/50/10	220/60/10	1999

TABLA N° 1.2 Compensación Reactiva de la Unidad de Transmisión Norte

Subestación	Equipo	Código	Tensión Nominal	Capacidad (MVAR)			Año de Fab.
				SVC		Reactor	
				Ind.	Cap.		
SEPO	Reactor	R-7	220 kV	-	-	20	1986
SECHO	SVC	SVC-2	60 kV	30	30	-	1996
SEGUA (*)	Reactor	R-5	220 kV	-	-	20	2001
SETAL (**)	Reactor	R-10	220 kV	-	-	20	2001

* Equipo a ser instalado en el presente proyecto

** Equipo a ser instalado en diciembre del 2001

TABLA N° 1.3 Líneas de Transmisión 220 kV de la Unidad de Transmisión Norte

Línea de Transmisión	Conductor			Estructuras		Año Puesta Serv.
	Long. (Km)	Cap. (MVA)	Sección (mm ²)	Tipo	Cant.	
L234 SETNOR –SEGUA	103.35	152	400	Metal	241	1986
L236 SEGUA – SECHO	84.14	152	400	Metal	194	1986
L238 SECHO – SEPO	211.74	152	400	Metal /Madera	572	1992
L248 SETAL – SEPO	103.80	152	400	Madera	289	1997
L249 SETAL - SEZOR	137.20	152	400	Metal /Madera	339	1999

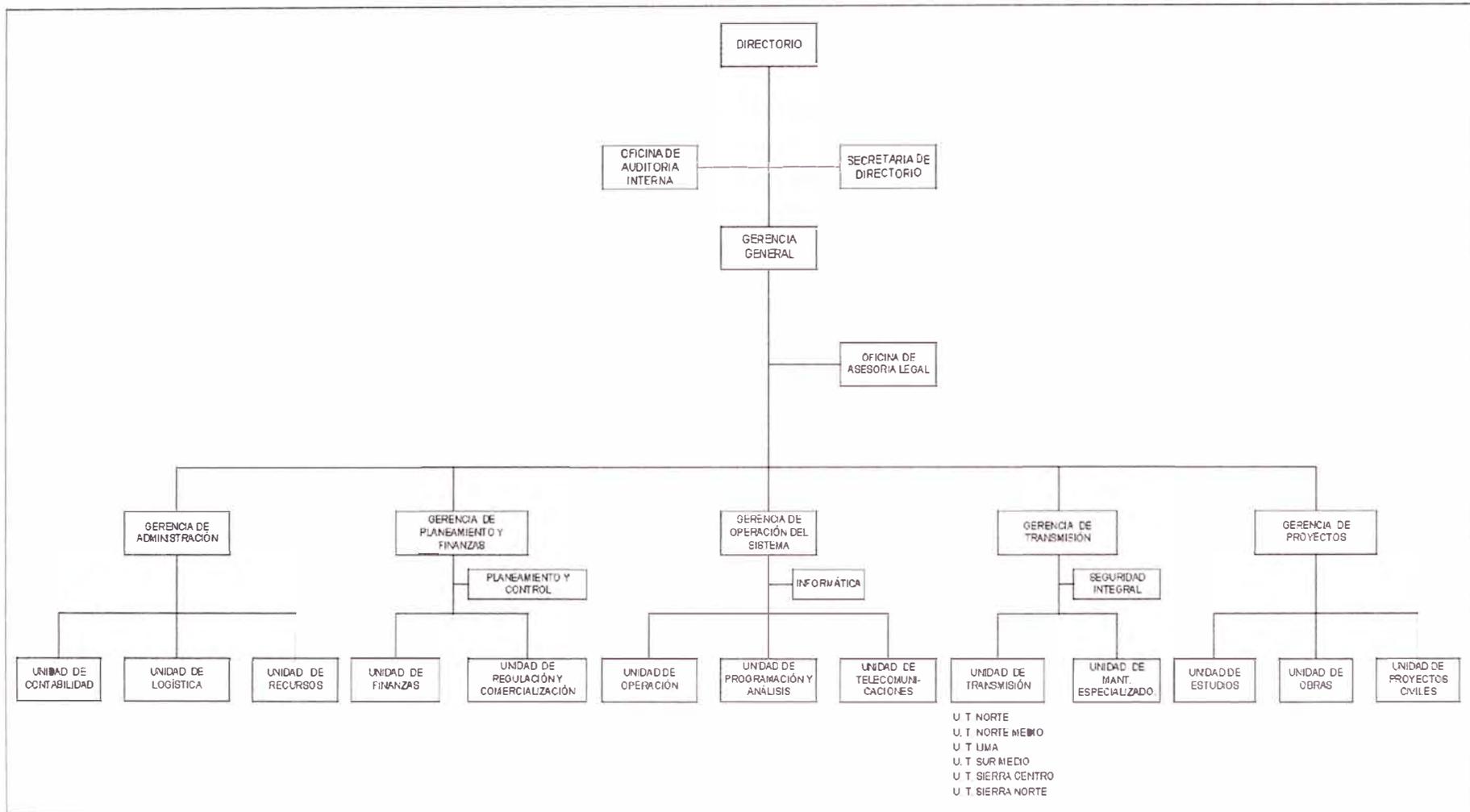


Fig. 1.1 Organigrama de ETECEN

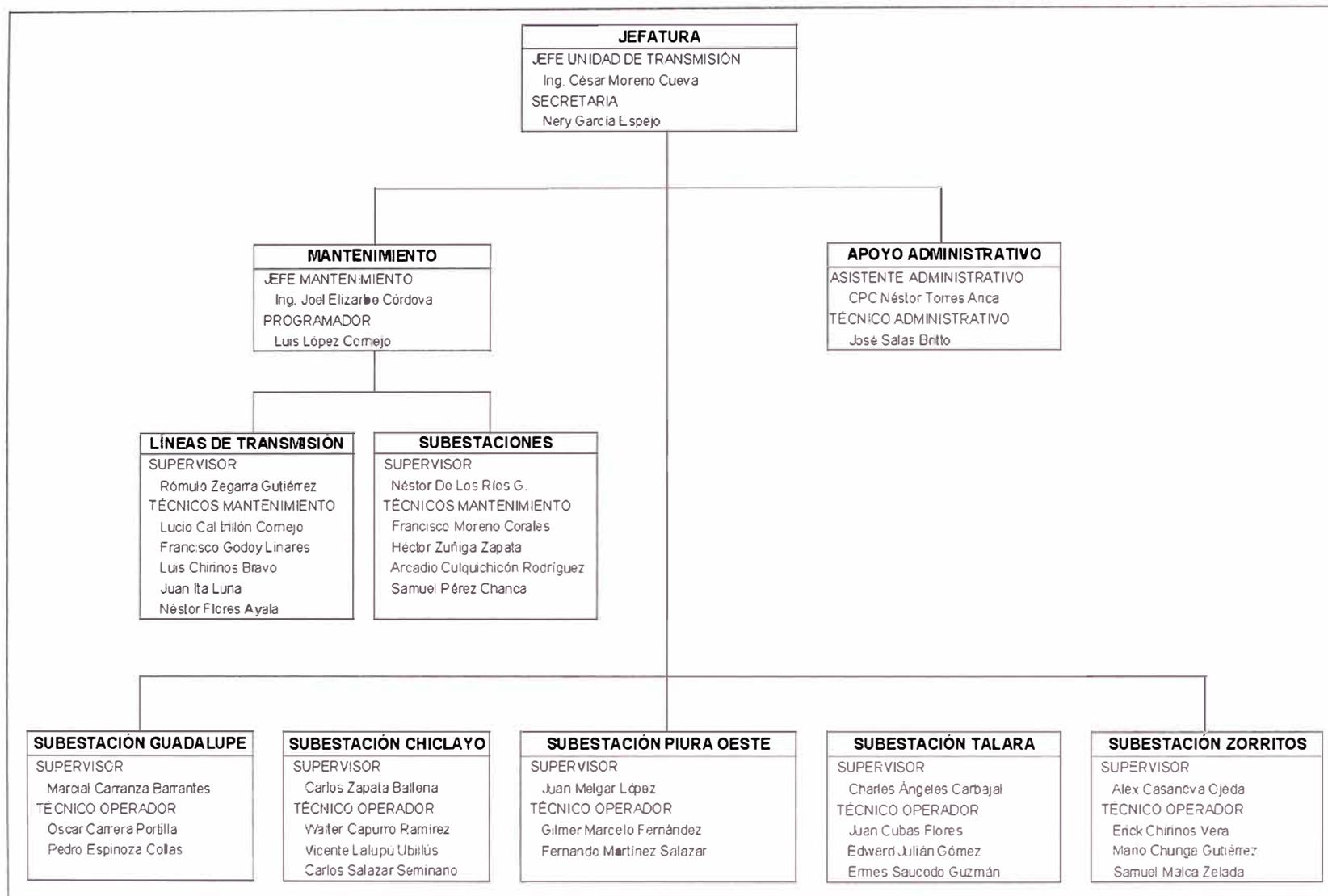


Fig. 1.2 Estándar de Recursos Humanos de la U.T. Norte

1.3 Planteamiento del Problema

El 06 de setiembre de 1998 sale fuera de servicio el reactor de 20 MVAR de la subestación 220 kV Piura Oeste por falla interna del equipo, esto implicaba la paralización permanente del equipo. Ante tal contingencia el Centro de Control de ETECEN, realizó el análisis de la compensación reactiva de la zona Norte, concluyendo que para un adecuado control de las tensiones de barras del área Norte del País, se requiere contar con los dos reactores de 20 MVAR en las Subestaciones de Guadalupe y Piura Oeste, siendo de mayor importancia debido a la configuración radial del sistema de transmisión, la compensación reactiva en la subestación Piura Oeste. Por lo cual se recomendaba el traslado del reactor 20 MVAR de la subestación Guadalupe a la subestación Piura Oeste.

Por tal motivo el 17 de enero de 1999 se realizó el desmontaje del reactor 20 MVAR marca Westinghouse de la subestación Guadalupe, del 25 al 28 de enero de 1999 fue transportado hacia la subestación Piura Oeste, El día 30 de enero de 1999 fue desmontado el reactor de 20 MVAR marca ITALTRAFO deteriorado de la subestación Piura Oeste y transportado hacia la subestación San Juan - Lima. El 05 de febrero de 1999 se culminó con el montaje y se puso en servicio en la subestación Piura el reactor trasladado, mejorando parcialmente con esto el control de las tensiones de barras del área Norte.

El reactor 20 MVAR retirado fue desmontado e inspeccionado internamente en los talleres de la Unidad de Transmisión Lima, detectándose el cortocircuito del núcleo hacia la masa común (tierra), lo cual conllevaría a un alto costo de reparación. Por lo cual la Empresa tomó la decisión de adquirir un nuevo equipo para reemplazar al Reactor deteriorado, el cual sería montado en la subestación Guadalupe y que el montaje electromecánico del equipo se realizaría con personal propio, por lo cual encargó a la Unidad de Transmisión Norte la ejecución del proyecto.

La subestación Guadalupe se encontraba sin compensación reactiva lo que hacía que las tensiones en barra permanezcan altas, teniéndose el riesgo de disparo por la protección de sobre tensión de barras 220 kV, como sucedió el día 16 de febrero de 1999 a las 04:35 horas por una sobre tensión en la barra "A" de la subestación Guadalupe que ocasionó la desconexión del SIN Norte. Con la finalidad de no causar otras fallas similares se deshabilitaron los disparos de la protección de sobretensión de barras de la subestación hasta la adquisición y montaje de un nuevo reactor.

Estos hechos ocurridos hacían importante la pronta adquisición del equipo, por lo cual mediante Licitación Pública N° LP-10-99/2 se solicitó el "Suministro, Transporte,

Pruebas, Supervisión y Puesta en Servicio de Reactor de 20 MVAR para la subestación Guadalupe.”

Mediante el contrato N° CM3N-004-2000 la empresa ALSTOM fabricó un Reactor de 20 MVAR con las características especificadas por ETECEN.

Las razones expuestas, plantean por si mismas la importancia del trabajo a realizar en la subestación Guadalupe.

1.4 Objetivo

El objetivo del presente informe es dar las pautas técnicas necesarias para efectuar el adecuado montaje de un Reactor de Potencia de 20 MVAR en una subestación de alta tensión, consistente en:

- Especificaciones técnicas del equipo
- Procedimientos del montaje electromecánico y pruebas
- Recursos empleados
- Presupuesto

1.5 Alcance

El presente proyecto comprende la ejecución de las obras electromecánicas para la instalación de un Reactor de 20 MVAR, en una celda 220 KV existente en el patio de llaves de la Subestación Guadalupe.

A continuación se enumeran los principales alcances del proyecto:

- Montaje electromecánico de equipo Reactor de 20 MVAR.
- Pruebas finales.

1.6 Ubicación Geográfica

El proyecto de montaje de un Reactor de 20 MVAR, 220 kV se desarrolla en la subestación Guadalupe; instalación operada por la empresa ETECEN y que forma parte del Sistema Interconectado Nacional.

La subestación Guadalupe se encuentra ubicada en el departamento de La Libertad, provincia de Pacasmayo, distrito de Guadalupe, a la altura del Km 2.3 de la carretera a Cajamarca, a una altitud de 36 msnm, sus coordenadas UTM. Son: coordenada Norte 9192495 y coordenada Este 670315.

1.7 Base Legal

El presente informe se ha basado en la siguiente normatividad:

D.L. N° 25844 – Ley de Concesiones Eléctricas

D.S. N° 009-93-EM.- Reglamento de la Ley de Concesiones Eléctricas

D.S. N° 020-97-EM - Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos

D.S. N° 009-1999-EM - Base Metodológica para la aplicación de la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos

Código Nacional de Electricidad Tomo I - Prescripciones Generales

R.M. N° 157-1988-EM/DGE - Reglamento de Seguridad e Higiene Ocupacional del Subsector Electricidad.

CAPÍTULO II

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS

2.1 Generalidades

En el presente capítulo se detallan las especificaciones técnicas del reactor de potencia, equipos y accesorios, dispositivos de protección y características técnicas de los equipos instalados en la celda existente del reactor. Así como también se realiza una descripción de los dispositivos de protección con que cuenta los reactores de potencia.

2.2 Reactor de 20 MVAR

La Inductancia Shunt de 20 MVAR, fue fabricado por la empresa Alstom en el país de Turquía en el año 2000.

2.2.1 Especificaciones Técnicas del Reactor 20 MVAR

Las características técnicas del reactor 20 MVAR adquirido para montar en la subestación Guadalupe son las siguientes:

Potencia Nominal	20 000 kVAR enfriamiento OA	
Definición de Potencia	IEC-76	
Tensión Nominal	225 kV	
Corriente Nominal	51,3 A (OA)	
Grupo de Vectores	YN	
Reactancia	$X1 = 2\ 351\ \Omega / \text{fase}$	
Nivel de Aislamiento (kV Eficaz)	AT	AT-N
• Máxima Tensión de Producción U_m :	245	24
• Tensión de Alterna Nominal AC	395	50
• Tensión de Impulso Nominal LI	950	125
Perdidas de Corto Circuito		
• Potencia	20 MVAR	
• Tensión	225 kV	
• Perdidas en cortocircuito	47 000 W	

Frecuencia Nominal	60 Hz
Temperatura	
• Temperatura ambiente	50 °C
• Temperatura máxima para ambiente	50 °C
• Temperatura amb. para arrollado	50 °C
• Temperatura Control Aceite CT-031	
Alarma	65 °C
Alarma	95 °C
Disparo	105° C
• Temperatura Control Arrollamiento CT-0333	
Alarma	65 °C
Alarma	95 °C
Disparo	105 °C
Transformadores de corriente	
• T1, T3, T3	
Capacidad (VA)	25 VA
Relación (A/A)	150/ 1 – MR
Exactitud	Cl. 1
• T4, T5, T6, T7, T8, T9	
Capacidad (VA)	15 VA
Relación (A/A)	150 / 1 – MR
Exactitud	5P20
• T10	
Capacidad (VA)	10
Relación (A/A)	150 / 2
Exactitud	
Pesos:	
• Peso Total	51 000 Kg.
• Peso parte activa	19 500 Kg.
• Peso para el transporte (sin aceite)	33 000 Kg.

Estos datos lo podemos observar en la placa característica del equipo (Ver plano N° MR-04 en el Anexo A).

2.2.2 Equipos y Accesorios del Reactor de 20 MVA

A continuación se detalla la relación de accesorios del reactor de potencia. Para su ubicación durante la instalación es necesario contar con los planos de montaje. (Ver los Planos MR-05 y MR-06 en el Anexo A)

<u>Pos.N°</u>	<u>Descripción</u>
AA001	Válvula de compuerta para descargar el tanque
AA021	Válvula de salida para muestra de aceite arriba
AA022	Válvula de salida para muestra de aceite punto medio
AA023	Válvula de salida para muestra de aceite punto abajo
AA026	Válvula de salida del recipiente de expansión para el tanque principal
AA145	Válvula de compuerta para descargar recipiente de expansión del tanque principal
AA200	Válvula de compuerta entre tanque principal y su recipiente de expansión
AA355	Válvula de compuerta del tanque, para tratamiento de aceite, salida
AA356	Válvula de compuerta del tanque, para tratamiento de aceite, retorno
AB005	Purga del recipiente de expansión para el tanque principal
AB006	Purga del recipiente de expansión para el conmutador bajo carga
AB230	Válvula mariposa para radiador
AB240	Salida residual de aceite del tanque M52x2
AB600	Purga de aire del radiador
AB630	Drenaje del radiador
AC600	Radiadores
AE001	Rueda
AT001	Secador de aire del recipiente de expansión del tanque principal
BB069	Domo para aislador pasante
BB085	Recipiente de expansión para el tanque principal
BB120	Bolsa de aire dentro del recipiente de expansión del tanque principal
BQ010	Alojamiento para termómetros asociados
BQ011	Alojamiento para termómetros de reserva
BQ029	Punto de aplicación para elevación del transformador
BQ030	Dispositivo de suspensión del transformador
BQ031	Lugar de izamiento para la parte activa
BQ033	Lugar de izamiento para el recipiente de expansión

BQ039	Argollón de tracción
BQ150	Consola para recipiente de expansión
BR050	Consola para recipiente de expansión
BR107	Tubería entre tanque principal y su recipiente de expansión
BR114	Tubería entre secador de aire y recipiente de expansión del tanque principal
BR130	Tubería entre recipiente de expansión del tanque principal y el POS. D001 (AT)
BR321	Tubería colectora de muestra de gas
BZ007	Acceso para montaje de aislador pasatapa
BZ009	Acceso para montaje de puesta tierra del núcleo
BZ020	Abertura para limpieza de recipiente de expansión del tanque
BZ102	Conexión para evacuar el recipiente de expansión
BZ115	Dispositivo de bloqueo
BZ120	Dispositivo de muestra de gas para relé Buchholz (Tanque principal)
BZ133	Terminal de puesta tierra del núcleo
BZ150	Placa del fabricante
BZ151	Placa característica
BZ160	Plano sinóptico de las tuberías y accesorios
CF050	Relé Buchholz para el tanque principal
CF101	Relé Buchholz para el control de la bolsa de aire
CL060	Indicador de nivel de aceite del recipiente de expansión conservador del tanque principal
CL069	Nivel de aceite +20 °C, dentro del recipiente de expansión del tanque principal
CP081	Válvula de alivio de sobrepresión del tanque principal
CT021	Termómetro de resistencia del tanque
CT022	Termómetro de resistencia del tanque
CT031	Termómetro indicador para temperatura máxima del aceite del tanque principal
CT033	Termómetro de indicador de imagen térmica para arrollado (AT)
GD001	Aislador Pasante (AT) GOM 1050 LF 125060-F
GD002	Aislador Pasante (AT-N) GOB 325/800 LF 170002-A
GD025	Aislador Pasante para puesta a tierra del núcleo

GF046	Caja de bornes terminal del transformador de corriente (AT)
GF070	Caja de conexiones para puesta a tierra del núcleo
GH009	Armario de control

2.3 Sistemas de Protección del Reactor de 20 MVA

2.3.1 Descripción de los Dispositivos de Protección

Una de las causas principales de fallas en un reactor de potencia, son los defectos del aislamiento producidos por el calentamiento excesivo de los arrollamientos.

Este calentamiento es originado por las sobrecargas permanentes o temporales, tolerables en un funcionamiento normal, pero que frecuentemente repetidas conducen a un envejecimiento del aislamiento y por lo tanto a cortocircuitos entre espiras y/o entre fases.

Por ello, es indispensable en un reactor de potencia contar con dispositivos de protección que permitan detectar estos defectos de orden térmico.

Estos dispositivos de protección son: los indicadores de temperatura, el relé Buchholz, los transformadores de corriente, la válvula de sobrepresión, el conservador e indicador de nivel de aceite y el deshumecedor.

A continuación pasaremos a detallar cada uno de ellos.

a. Indicadores de Temperatura

Son elementos de protección térmica, llamados también termómetros, que detectan las temperaturas del aceite y de los arrollamientos. Al indicador de la temperatura de los arrollamientos también se le conoce con el nombre de relé de imagen térmica.

a.1 Indicador de la Temperatura del Aceite

Es un instrumento que nos proporciona la temperatura del aceite en el punto más caliente del transformador de potencia, es decir en la parte superior del tanque.

Este indicador utiliza el principio de la expansión volumétrica de un líquido, como un medio de operar los mecanismos de indicación y control del instrumento. Estos cambios están relacionados con los cambios de temperatura.

Este instrumento cuenta con las siguientes partes principales:

- Cavidad llena de aceite (elemento sensor).
- Conducción flexible (tubo capilar).
- Fuelle de medida
- Fuelle de compensación
- Transmisión
- Aguja

- Plato movable
- Contactos de mercurio
- Borneras.

El indicador de temperatura del aceite, como podemos apreciar en la Fig. 2.1, tiene un elemento sensor situado en una cavidad llena de aceite existente en la tapa del transformador (1), este elemento sensor está conectado a la caja del instrumento mediante una conducción flexible (2) que consta de dos tubos capilares; uno de estos tubos está unido al fuelle de medida (3) del instrumento, mientras que el otro lo está al fuelle de compensación (4). (Ver Fig. 2.2)

El sistema de medida está lleno de un líquido que cambia de volumen al variar la temperatura. El fuelle de compensación actúa sobre el fuelle de medida mediante la transmisión (5), con lo que se compensan las variaciones de la temperatura ambiente.

Mediante la transmisión (5) el movimiento del fuelle de medida es transmitido tanto a la aguja (9) como al plato movable (10), que está provisto de los contactos de mercurio (11) y (12); estos contactos en número de dos pueden ajustarse en forma totalmente independiente uno de otro a las temperaturas de apertura y cierre deseados; los contactos están conectados a unas borneras interiores (13). El instrumento tiene una aguja de máxima a la que la aguja indicadora de temperatura arrastra consigo, al variar la temperatura.

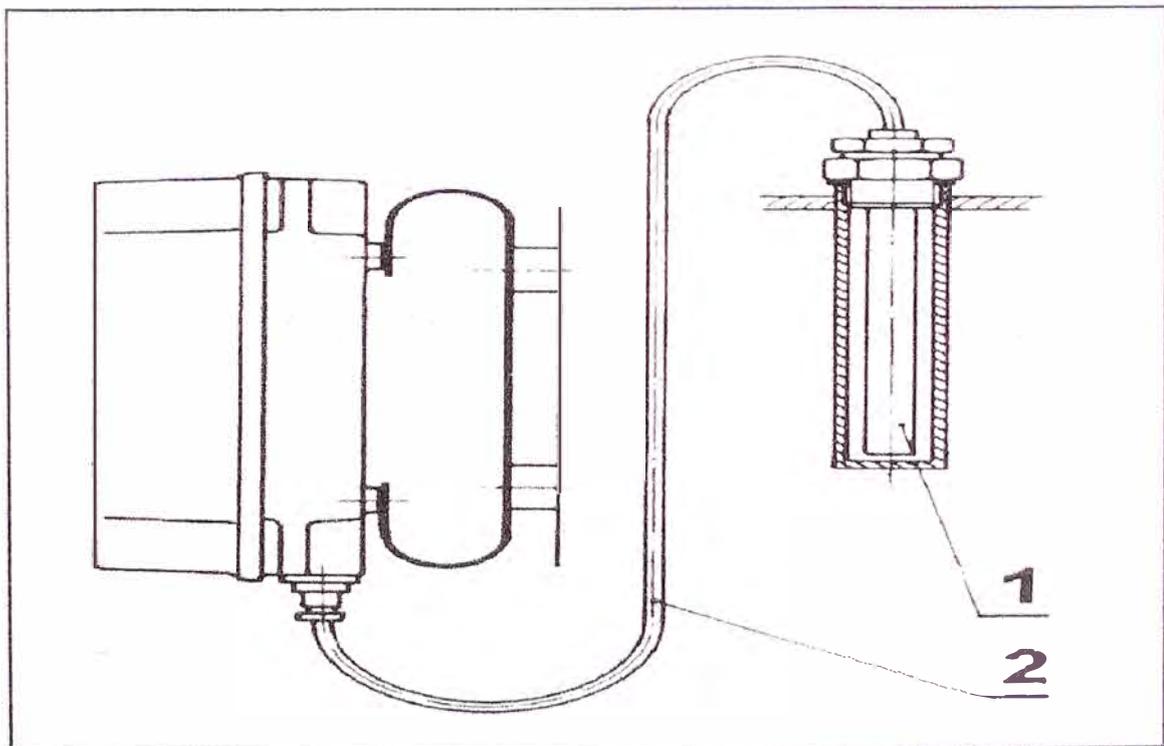


Fig. 2.1 Indicador de temperatura de aceite

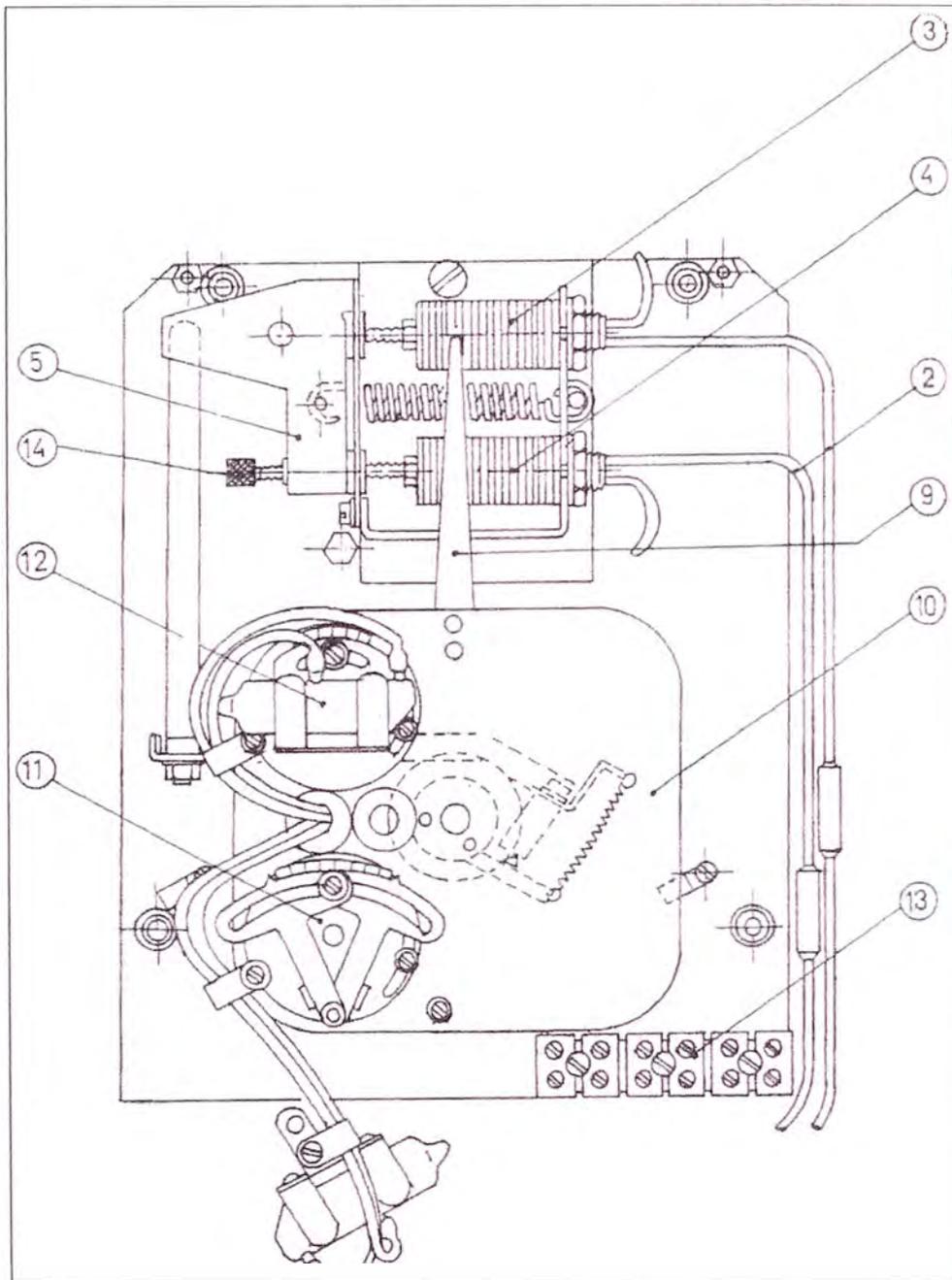


Fig. 2.2 Mecanismo interno de un indicador de temperatura

a.2 Indicador de la Temperatura del Arrollamiento

Este indicador tiene por finalidad medir la temperatura en el punto más caliente del arrollamiento de un reactor. Pero como es difícil medir directamente se ha ideado un instrumento que permite reproducirla indirectamente. El indicador de la temperatura del arrollamiento es básicamente un indicador de la temperatura del aceite, pero con la diferencia que se le ha adicionado una resistencia eléctrica para calentamiento. También utiliza el principio de la expansión del líquido en función de los cambios de temperatura.

Entre las partes constitutivas de este instrumento tenemos:

- La cavidad llena de aceite o pozo termométrico (elemento sensor).
- Conducción flexible (tubos capilares)
- Fuelle de medida
- Fuelle de compensación
- Transmisión.
- Resistencia de calentamiento
- Resistencia de calibración
- Conductores de conexión eléctrica
- Aguja indicadora
- Plato movable
- Contactos de mercurio.
- Borneras.

El indicador de la temperatura del arrollamiento (Ver Fig. 2.3) a diferencia del indicador de la temperatura del aceite, cuenta con una resistencia de calentamiento (6), que es recorrida por una corriente proporcional a la corriente de carga del reactor. Mediante conductores (8) esta resistencia se conecta a las borneras (13) que son resistentes al calor y a la humedad.

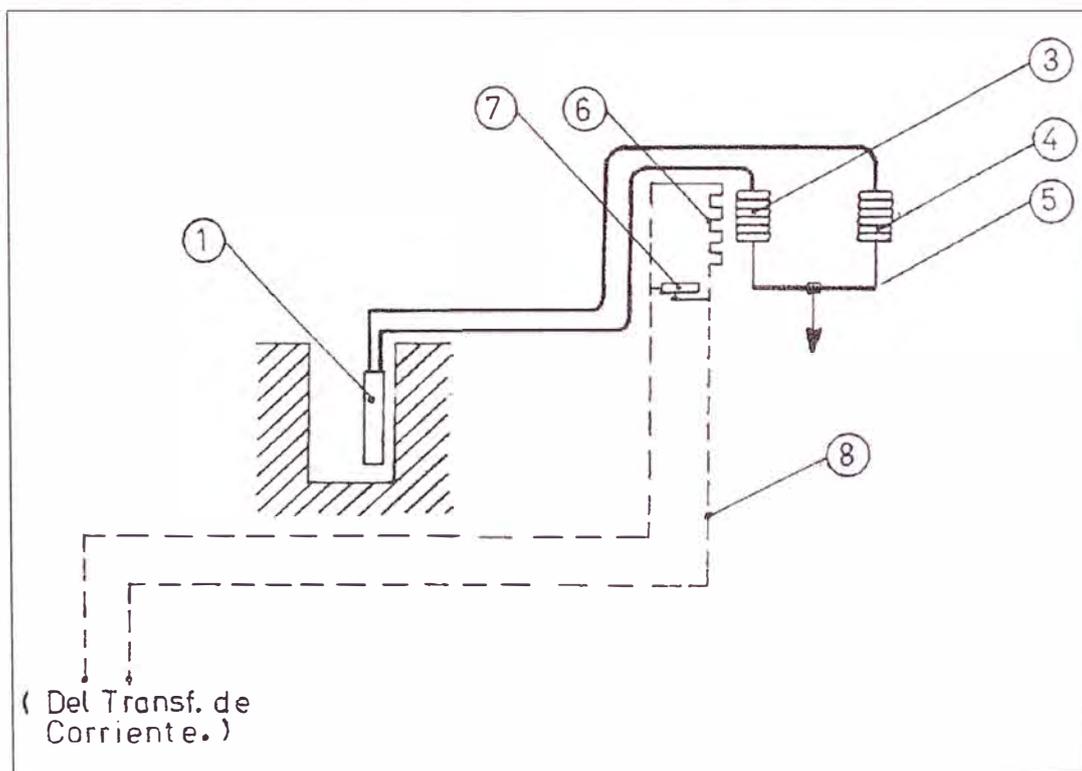


Fig. 2.3 Indicador de temperatura del arrollamiento

La resistencia de calentamiento se encuentra conectada en shunt con una resistencia de calibración (7) y ambas son alimentadas por un transformador de intensidad instalado en el circuito de la corriente de carga del reactor. De esta forma la elevación de temperatura de la resistencia de calentamiento se corresponde con la elevación de temperatura del devanado respecto de la temperatura del aceite. De otro lado, el elemento sensor está en la capa del aceite más caliente del reactor, por lo que detecta la temperatura de la capa superior del aceite. En consecuencia el instrumento marca la temperatura en el punto más caliente del arrollamiento.

Este instrumento está previsto de tres contactos de mercurio que pueden ajustarse en forma totalmente independiente unos de otros.

b. Relé Buchholz

La protección térmica de transformadores y/o reactores de mediana y gran potencia con dispositivos de expansión (conservador de nivel de aceite), también se efectúa con relé a gas. Este relé es utilizado ampliamente como uno de los elementos más activos de protección de transformadores y reactores.

La idea del relé a gas, conocido comúnmente como relé Buchholz, se basa en el hecho de que cualquier accidente que ocurra en el interior del reactor está precedido por una serie de fenómenos sin gravedad, a veces imperceptible, pero que a la larga conducen a la destrucción del equipo, como son los sobrecalentamientos que actúan destructivamente sobre el aislamiento de la parte donde este se produce; como resultado de ello aparecen ciertas cantidades de productos de desintegración gaseosos originados por la vaporización del aceite, que se desprende con mayor o menor velocidad según la intensidad del proceso térmico. El gas formado asciende y sale al aire a través del conservador de aceite. En el recorrido del gas, entre la tapa del tanque y el conservador de aceite del transformador, se instala el relé Buchholz.

El color de estos gases da una buena indicación sobre el lugar en donde se ha producido el defecto, como por ejemplo:

- Gases de matiz claro: indican que proceden de la destrucción de papel
- Gases de matiz amarillo: proceden de la deteriorización de piezas de madera
- Gases negros o grises: proceden de la descomposición del aceite.

Sin embargo, la naturaleza de la falla sólo puede precisarse mediante un análisis de los componentes del gas, cuyos resultados por lo general indican:

- La presencia de arcos a través del aceite entre partes constructivas del transformador.

- La presencia de arcos con destrucción de aislantes.
- La presencia de un punto caliente en un arrollamiento.

Este relé también actúa cuando el nivel de aceite disminuye por fugas en el tanque del transformador.

El relé a gas es construido de fusión de aluminio resistente a la corrosión y humedad; las partes constitutivas de este instrumento son las siguientes (Ver la Fig. 2.4):

- Una válvula para descarga del gas
- Una válvula para prueba neumática de los circuitos de alarma y desconexión, con tapón de cierre.
- Un dispositivo para prueba mecánica de los circuitos de alarma y desconexión, con tapón de cierre.
- Una caja de bornes hermética con cuatro aisladores de nylon para los circuitos eléctricos internos; 1-2 desconexión, 3-4 alarma.
- Un tapón de vaciado del aceite (ubicado en la parte inferior)

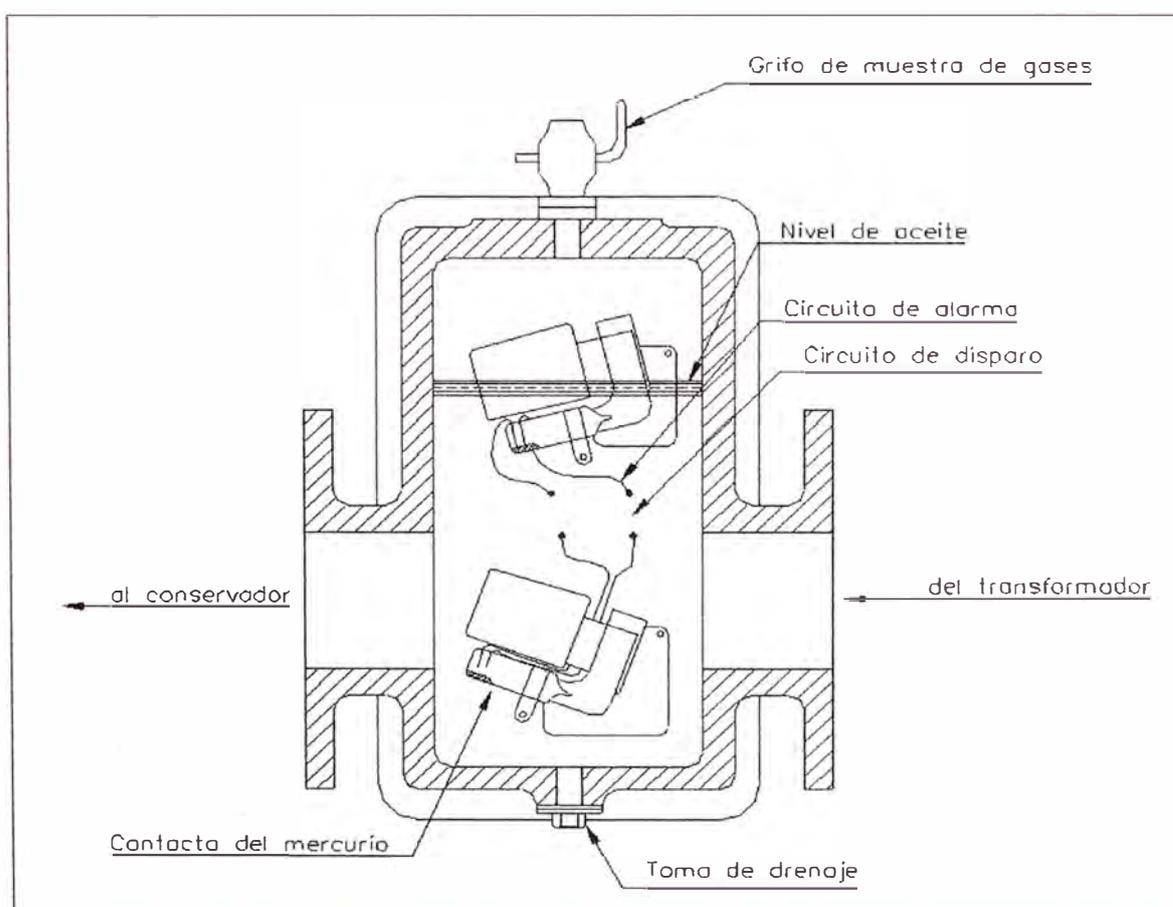


Fig. 2.4 Relé Buchholz

- Dos flotadores con sus respectivos interruptores magnéticos de 220 Vca. y 2A.

En el relé se encuentra marcada una flecha que indica la dirección para el montaje adecuado (desde el tanque al conservador) y que permitirá el eficiente funcionamiento de los interruptores magnéticos, los que actuarán como se indica:

El interruptor de alarma actúa:

- Con volumen de gas de 250 cm³ al interior del relé.
- Con disminución del volumen de aceite al interior del relé de 250 cm³

El interruptor de desconexión actúa:

- Después del funcionamiento del contacto de alarma al aumentar la cantidad de gas y disminuir el volumen de aceite.
- Cuando la velocidad del flujo de aceite entre el tanque y el conservador supera los 100 centímetros por seg.

El Relé Buchholz es un aparato compacto de poco volumen provisto de bridas de empalmes con sus respectivas válvulas de entrada y salida.

Lleva dos flotadores, uno de alarma y otro de desconexión y un receptáculo de los gases contenidos en el aceite; una mirilla colocada en el receptáculo permite examinar el gas y determinar la naturaleza del defecto, por el color y la cantidad de este. Una válvula de purga permite recoger este gas acumulado para posteriormente ser analizado.

El flotador de alarma se encuentra en el plano superior del relé y su posición dependerá del nivel de aceite en el receptáculo, mientras que la posición del flotador de desconexión, que se encuentra en el plano inferior del relé, dependerá de la intensidad del flujo de gas y aceite que circula del tanque al conservador.

Por la característica de instalación y operación este dispositivo es capaz de capturar cualquier burbuja que asciende al conservador y ser así el elemento más eficaz para detectar fallas que escapan a la sensibilidad de otros elementos de protección.

c. Transformadores de Corriente

Los reactores de potencia cuentan con transformadores de corriente instalados en el interior e impregnados con el aceite aislante de éste y cuyos terminales se comunican al exterior por medio de bornas especialmente diseñadas para este fin. (Ver Fig. 2.5)

Los transformadores de corriente tienen dos funciones importantes:

- Aislar los circuitos de control y medida de los circuitos de potencia de alta tensión, proporcionando protección para los equipos de control y medida, así como para los operarios que deben trabajar con ellos.

- Reducir las grandes corrientes nominales de los circuitos de potencia modernos a una base común, permitiendo la normalización de la medida en 1 Amperio. Estos valores de corriente reducidos deben ser tomados proporcionalmente a los valores de corriente del circuito primario para asegurar así exactas mediciones y apropiadas operaciones de los relés.

Los transformadores de corriente en general se dividen de acuerdo a su servicio en:

- Transformadores de corriente de medida y
- Transformadores de corriente de protección.

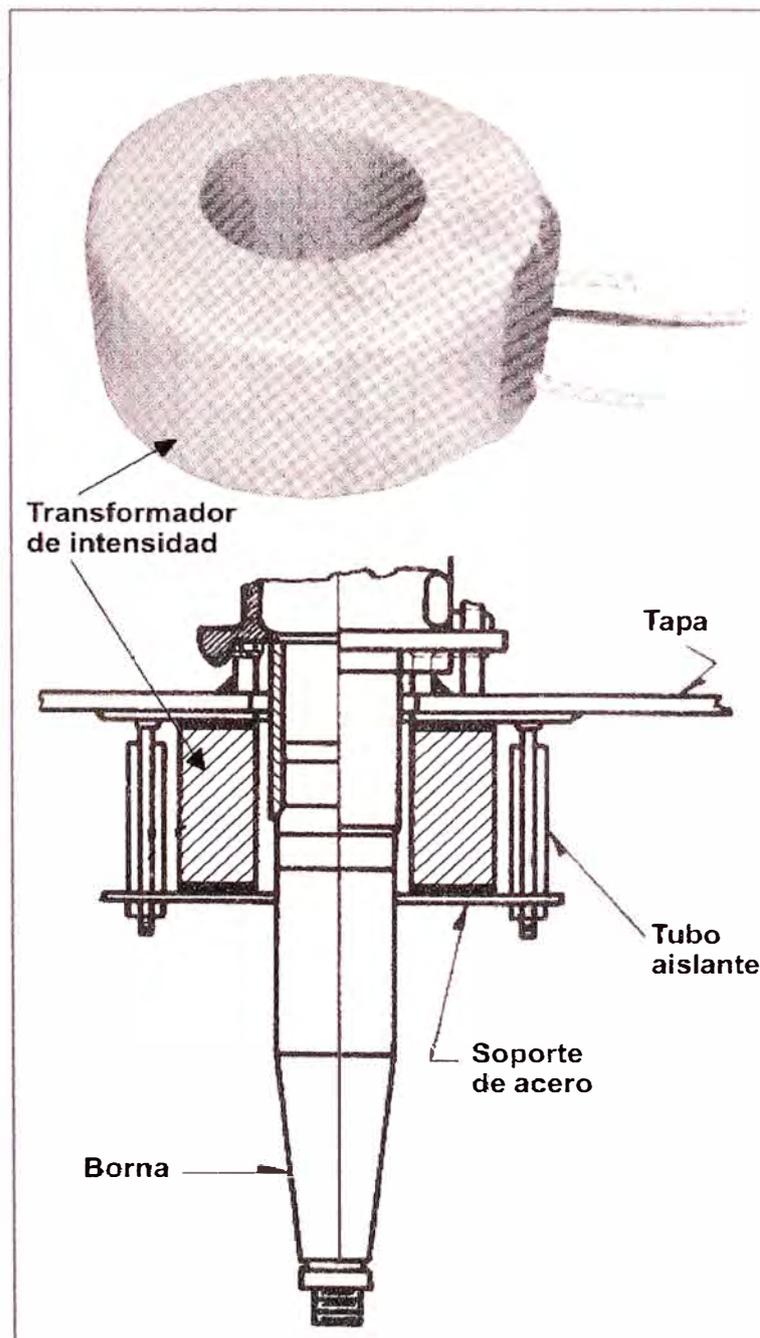


Fig. 2.5 Transformador de Corriente Toroidal

Dado que los transformadores de medida son utilizados para medir directamente los valores de corriente y potencia, es muy importante que tanto los errores de ángulo de fase y de relación se minimicen. Los transformadores para servicio de protección son utilizados para operar relés en circuitos de protección y control; para tales aplicaciones los errores mencionados pueden ser tolerados.

Han sido instalados transformadores de corriente de medida y de protección en el lado de alta tensión del reactor de potencia, dispuestos, dos de protección, uno de medida en cada fase y un devanado de medida en una fase que alimenta al relé de imagen térmica.

- Un transformador trifásico de medida: 150 - 1 Amp, 25 VA, CL 1, 60 c/s
- Dos transformadores trifásicos de protección: 150 - 1 Amp, 25 VA, 5P20, 60 c/s
- Un transformador monofásico de medida: 150 - 2 Amp, 25 VA, CL 3, 60 c/s

d. Válvula de Sobrepresión

La válvula de sobrepresión es un dispositivo para desfogue de presión que juega un rol importante en la protección de transformadores y reactores de potencia.

Si en el reactor ocurriera una falla o cortocircuito se produciría un arco que instantáneamente vaporizaría al aceite, causando un rápido crecimiento de la presión de los gases. Si la presión no es rebajada adecuadamente dentro de unos milésimos de segundo, el tanque del transformador reventará esparciendo el aceite inflamado sobre una amplia área. El daño y la posibilidad de riesgo de incendio en consecuencia son obvios, y es imperativo que se tomen medidas para prevenir ello.

El reactor de potencia utiliza una válvula de sobrepresión, diseñada de tal manera que la detección y desfogue del incremento de presiones peligrosas son efectuadas inmediatamente, ocurriendo la apertura total de la válvula dentro de 2 milisegundos.

Sus características son las siguientes:

- La válvula de sobrepresión debe ser montada en posición horizontal
- La presión de apertura es de 0.7 bar \pm 0.07 bar.
- A prueba de vacío: clase de protección IP 55.
- Capacidad de contacto: 10 A / 220 Vca.

La válvula de sobrepresión es esencialmente una válvula de resorte, teniéndolo como único medio de proveer la amplificación instantánea de la fuerza actuante. (Ver Fig. 2.6)

La unidad es montada en la tapa del transformador de potencia por medio de orejas en la brida (12), con su respectiva empaquetadura (13). El disco de la válvula se efectúa

cuando la presión actúa contra el área definida por la empaquetadura en anillo (15) excediendo la presión de apertura para los resortes (18). Como el disco (14) se mueve ligeramente hacia arriba, entonces la presión del transformador rápidamente será expuesta al área del plato delimitado por el diámetro de la empaquetadura (16), resultando una fuerza muy grande y causando inmediatamente la apertura total de la válvula con la consiguiente compresión del resorte (18).

La presión del transformador es rápidamente reducida a los valores normales y el resorte (18) regresa a su posición inicial de cierre de válvula. Un pín de color claro (19) se moverá durante la apertura de la válvula, saliendo por un agujero situado en la cubierta de la válvula (17), este pín es claramente visible desde una gran distancia, indicando que la unidad ha funcionado, una vez pasada la sobrepresión este pín debe ser introducido manualmente. En la cubierta se encuentra además un interruptor alarma (2) que se conecta a un elemento de señalización, el cual actúa en el momento que la válvula abre, y que tiene una palanca (21) para rearme.

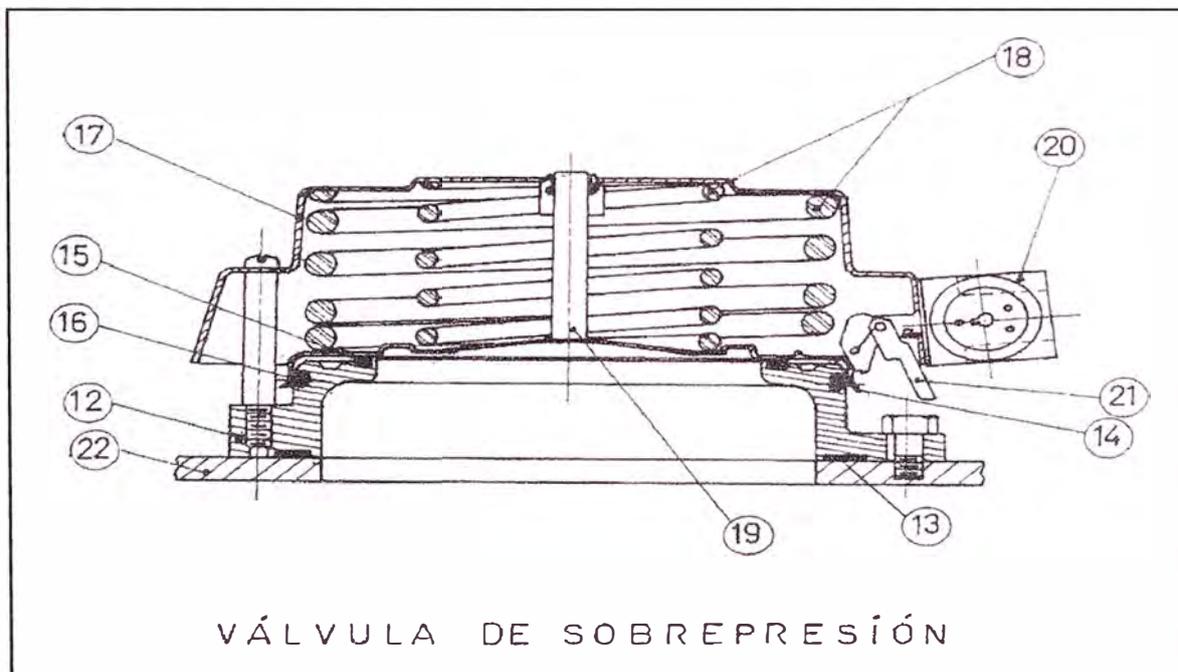


Fig. 2.6 Válvula de sobrepresión

Se recomienda utilizar una válvula de sobrepresión de este tipo, cuando el transformador sea de más de 5000 KVA de potencia.

e. Conservador e Indicador de Nivel de Aceite

El conservador también puede considerarse como un elemento de protección incorporado ya que sirve para eliminar el contacto directo del aceite caliente, en el tanque

del reactor, con el aire húmedo del medio ambiente a fin de evitar una oxidación intensa y dándole al mismo tiempo la posibilidad de dilatarse. Por lo general es un recipiente de forma cilíndrica y ubicado sobre el tanque del reactor, a lo largo de su parte estrecha, comunicándose entre sí por medio de un tubo ligeramente inclinado con la horizontal.

El conservador debe tener suficiente capacidad como para garantizar la presencia permanente de aceite en el reactor, bajo cualquier régimen y temperatura de funcionamiento.

El indicador de nivel de aceite, es un elemento de protección incorporado que se utiliza para controlar la presencia de aceite en el conservador y que se encuentra ubicado en la pared lateral del mismo. Son del tipo flotador con indicador de dial.

El control de nivel se efectúa mediante un sistema flotador que está conectado magnéticamente con la aguja del indicador de dial; está provisto de dos contactos normalmente abiertos de 230 Vac-15 A, que cierran al nivel máximo y al nivel mínimo. Para ser más visible la lectura, el dial tiene un cuadrante de color blanco que indica el nivel alcanzado y que se desplaza sobre un fondo de color rojo.

f. Desecador de Aire Tipo Silicagel

Los desecadores de aire del tipo "Silicagel" se destinan para secar el aire que entra en reactores en baño de aceite, cuando descienden su carga y su temperatura.

El desecador va lleno de gravilla de gel de sílice, la cual puede absorber humedad en una proporción igual al 40% de su propio peso. En principio su color es rosado, y cuando se va saturando de humedad adquiere color blanco. El cambio de coloración puede observarse a través de la mirilla. Cuando el silicagel cambie de color, es preciso efectuar su regeneración, siendo conveniente efectuar este cuando sube la carga y el reactor expulsa aire de modo que ese impide la entrada de aire húmedo en el reactor. Se aconseja no dejar este sin protección durante el periodo de regeneración; por lo que se debe insertar uno de repuesto mientras dura la regeneración, que se realiza extendiendo la gravilla sobre una placa, formando una capa de 5 cm. de espesor como máximo y colocándola en un horno ventilado para secarla por el calor a una temperatura entre 130 y 150 °C; después de 8 a 10 horas, la gravilla recobra su color inicial apta para colocarla de nuevo en el desecador. Se aconseja regenerar el silicagel hasta tres veces antes de sustituirlo por otro nuevo.

El desecador está construido de modo que se puede dejar transcurrir un lapso de tiempo de 12 meses entre cada operación de regenerado. Este tiempo es naturalmente, aproximado y depende de las condiciones de humedad atmosférica y de las variaciones de

carga; para clima tropical puede tomar un tiempo aproximadamente igual a la mitad del que sería preciso en otro caso.

Con objeto de que el silicagel no pierda su capacidad absorbente, este queda aislado del ambiente exterior, mediante una columna de aceite que solo permite la entrada o salida de aire en el desecador, cuando el aceite del reactor se ha dilatado o contraído, debido a la variación de temperatura, función de la carga del reactor.

Es recomendable que las juntas del aparato sean completamente estancas, para evitar que el transformador absorba aire húmedo a través de ellas, con lo cual el desecador resultaría superfluo.

Si el silicagel absorbiera algo de aceite, pierde su capacidad absorbente y este no puede expulsarse con ayuda de calor, sino únicamente lavando con alcohol metilado y secado; tratamiento mediante el cual el silicagel recobra su capacidad original de absorción.

2.3.2 Características de los Equipos de Protección Instalados

A continuación se detalla, las características de los dispositivos de protección del reactor de potencia.

a. Relé Buchholz (Ver Fig. 2.7)

Marca : EMB

Tipo DR 80-09-26

b. Relé Buchholz para bolsa de aire (Ver Fig. 2.8)

Marca : ELMEK

Tipo BRR 25 F50

c. Válvula de alivio de presión (Ver Fig. 2.9)

Marca : Qualitrol

Tipo 208-007-04

d. Termómetro del aceite (Ver Fig. 2.10)

Marca : AKM

Tipo 34 2 05-15-6,0

e. Termómetro del arrollamiento (Ver Fig. 2.11)

Marca : AKM

Tipo 34 4 01 15-6,0

f. Termómetro de resistencia temperatura del aceite (Ver Fig. 2.12)

Marca : AKM

Tipo 44 664-105

g. Indicador de nivel de aceite (Ver Fig. 2.13)

Marca : Qualitrol

Tipo 042-032-02

h. Deshidratador de silica (Ver Fig. 2.14)

Marca : ALSTOM

Tipo L 2

2.4 Equipamiento de la Subestación Guadalupe

2.4.1 Descripción del Equipamiento Existente

La Subestación Guadalupe fue construida con el proyecto de la Línea de Transmisión 220 kV Trujillo - Guadalupe - Chiclayo y fue puesta en servicio en el año 1986, con una potencia instalada de 30 MVA.

La mayor parte de su equipamiento con el que empezó a operar en el SICN, fue de procedencia española.

En el año 1997, se realizó el reemplazo de los interruptores en 220 kV existentes marca Westinghouse por otros de marca ABB de tecnología sueca, debido a que los anteriores presentaban muchas dificultades técnicas para su operación y mantenimiento.

En el año 1998 se amplió la capacidad de transformación de la subestación con la instalación de una celda de Transformador de 30 MVA, 220/60/10 kV.

La subestación tiene una configuración de doble barra en el nivel de tensión 220 kV, con 02 celdas de salida de línea, dos celdas para dos transformadores de potencia, una celda para un reactor de potencia y una celda de acoplamiento. (Ver planos N° MR-07 y MR-08 del Anexo A)

De las dos celdas de salida de línea, una corresponde a línea que viene del sur e interconecta con la subestación Trujillo Norte, y la otra permite la interconexión con la subestación Chiclayo Oeste.

Las celdas de transformación comprenden cada una de ellas de un transformador de potencia trifásico de marca Westinghouse y el otro marca ABB de 30/30/10 MVA, ONAF, 220/60/10 kV, con conmutador bajo carga. La celda del reactor se encuentra inoperativa, debido a que el reactor existente fue trasladado a la subestación Piura Oeste.

En el nivel de tensión 60 kV, la subestación cuenta con una barra simple y cuatro celdas de salida de línea, dos de las celdas nos interconectan con la central Hidroeléctrica Gallito Ciego, una celda de línea sirve para alimentar las cargas de la ciudad de Pacasmayo

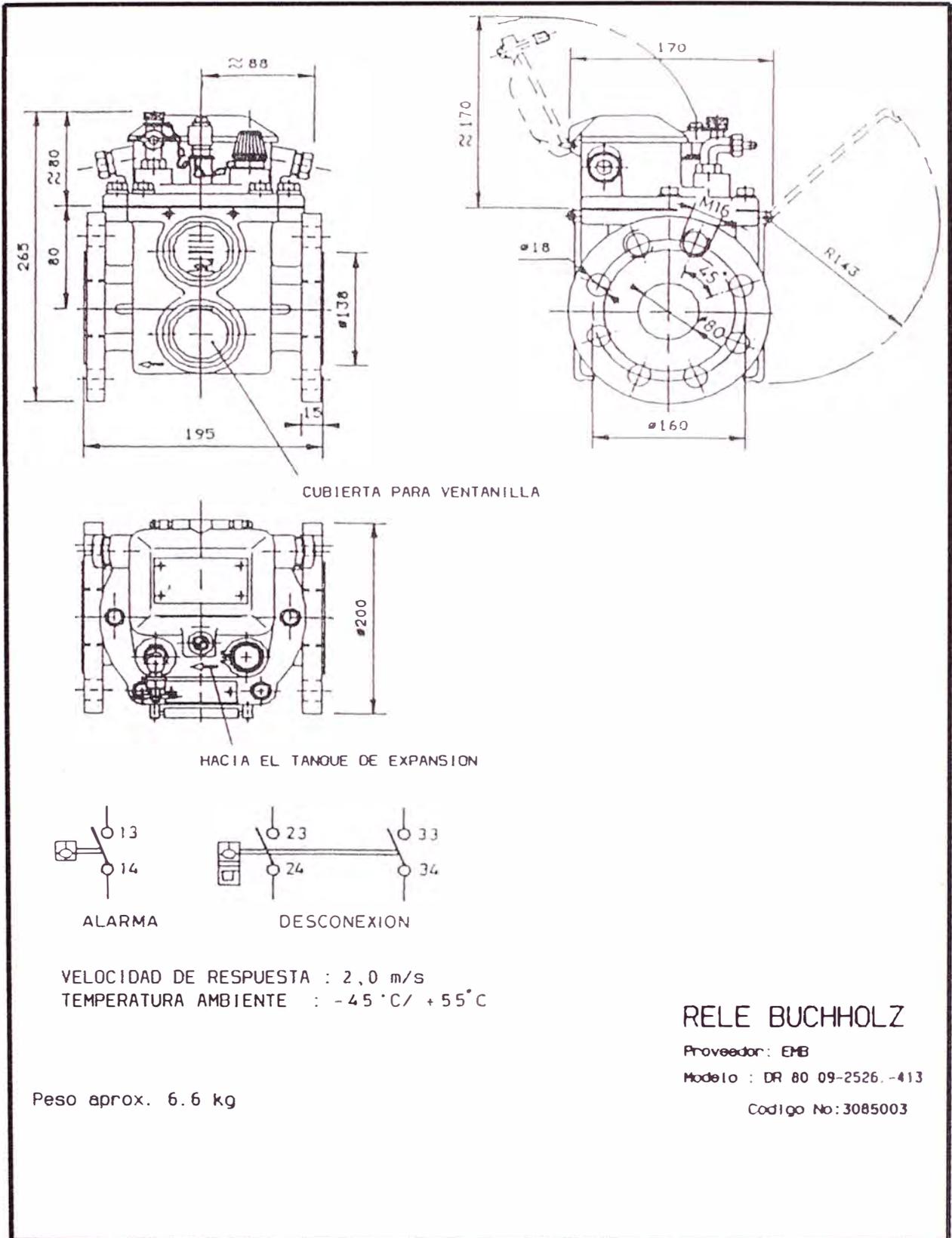


Fig. 2.7 Relé Buchholz

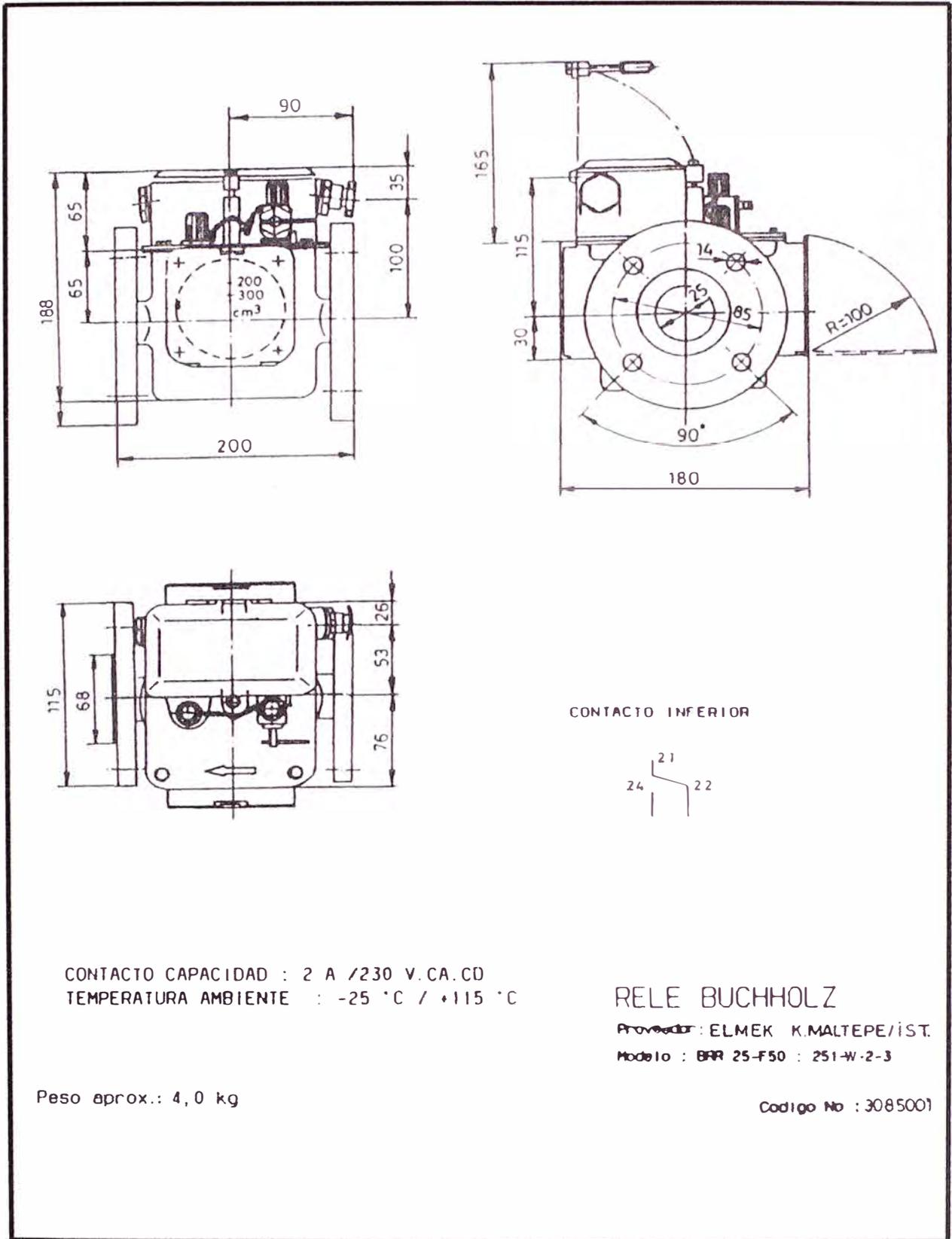


Fig. 2.8 Relé Buchholz para Bolsa de Aire

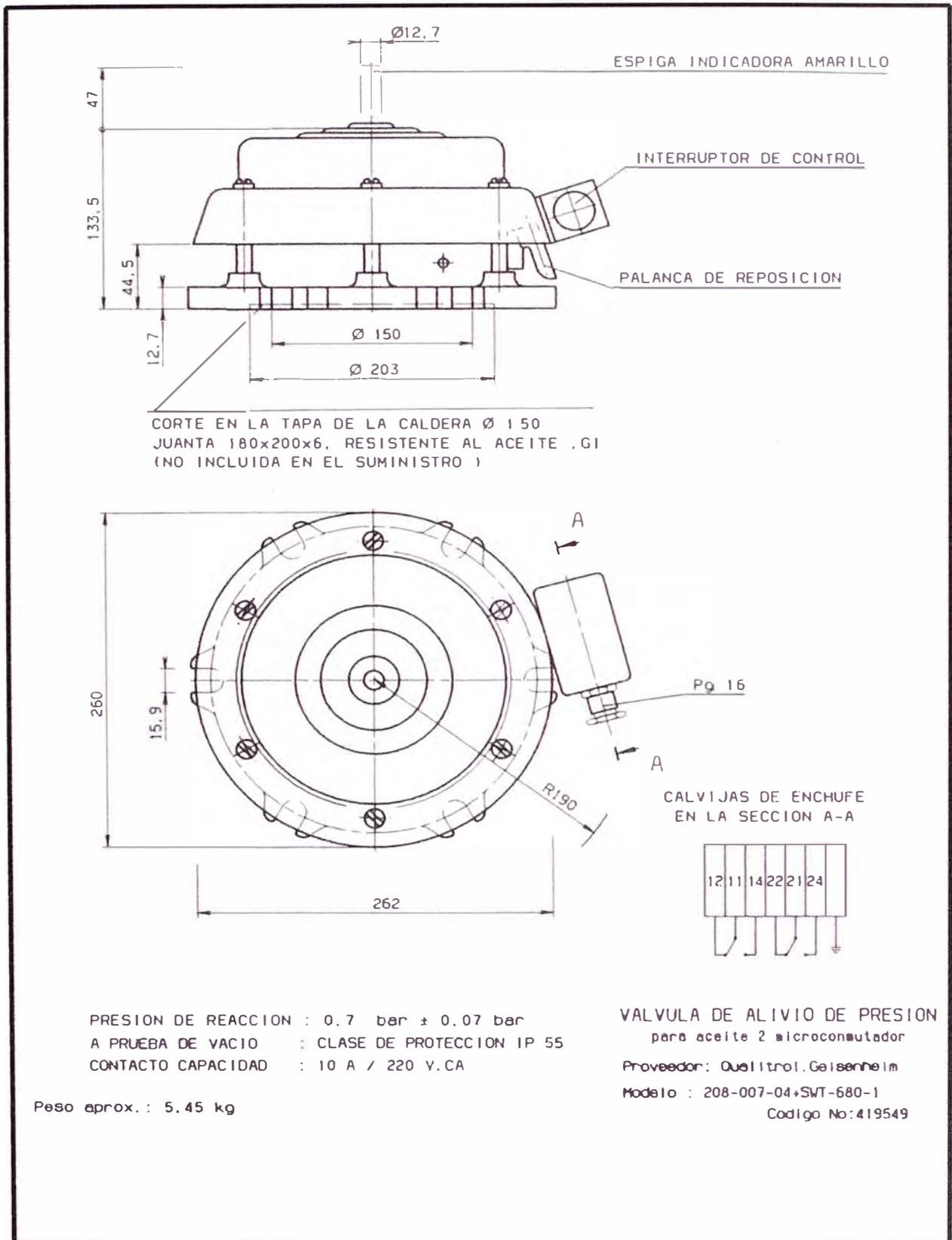


Fig. 2.9 Válvula de Alivio de Presión

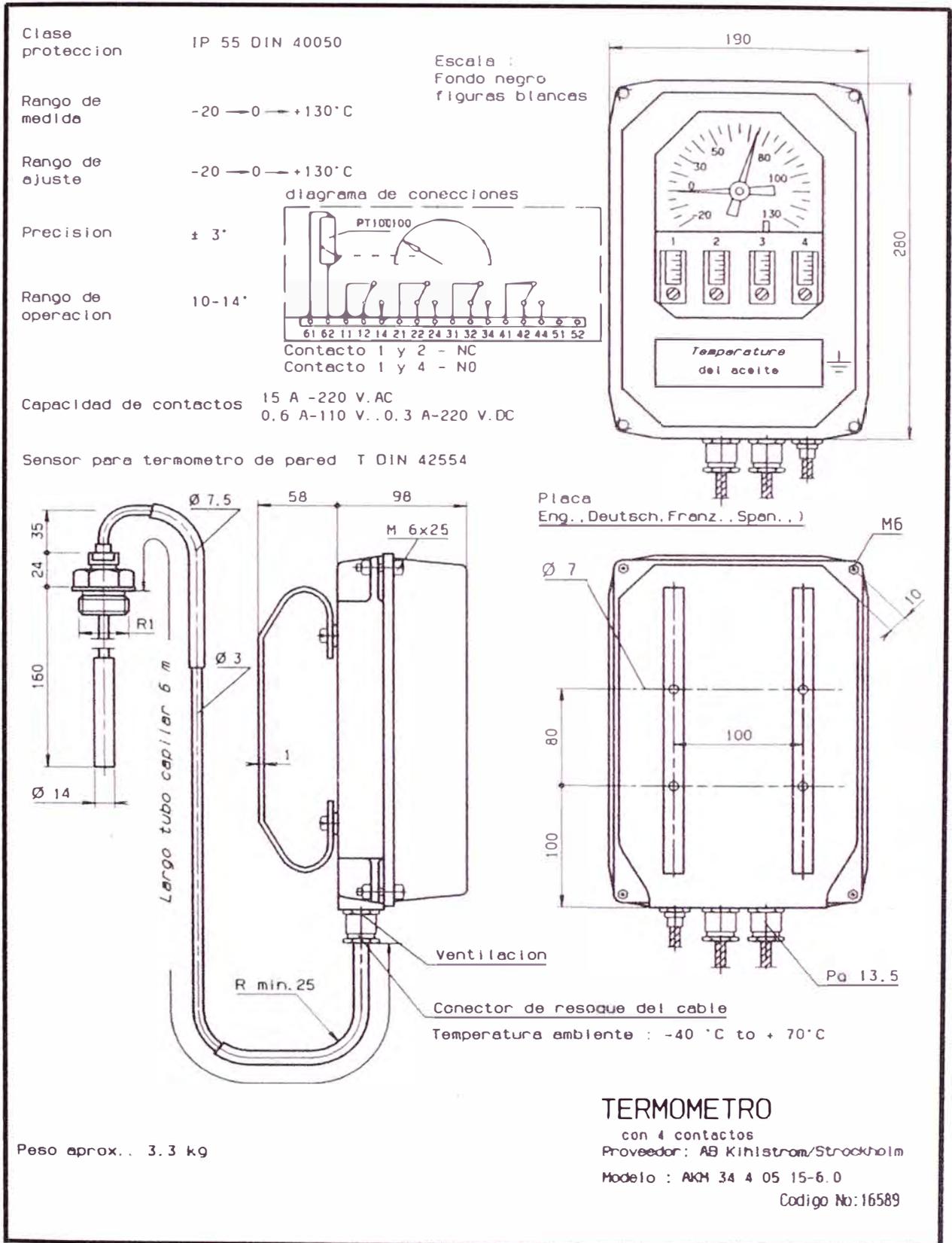


Fig. 2.10 Termómetro de Aceite

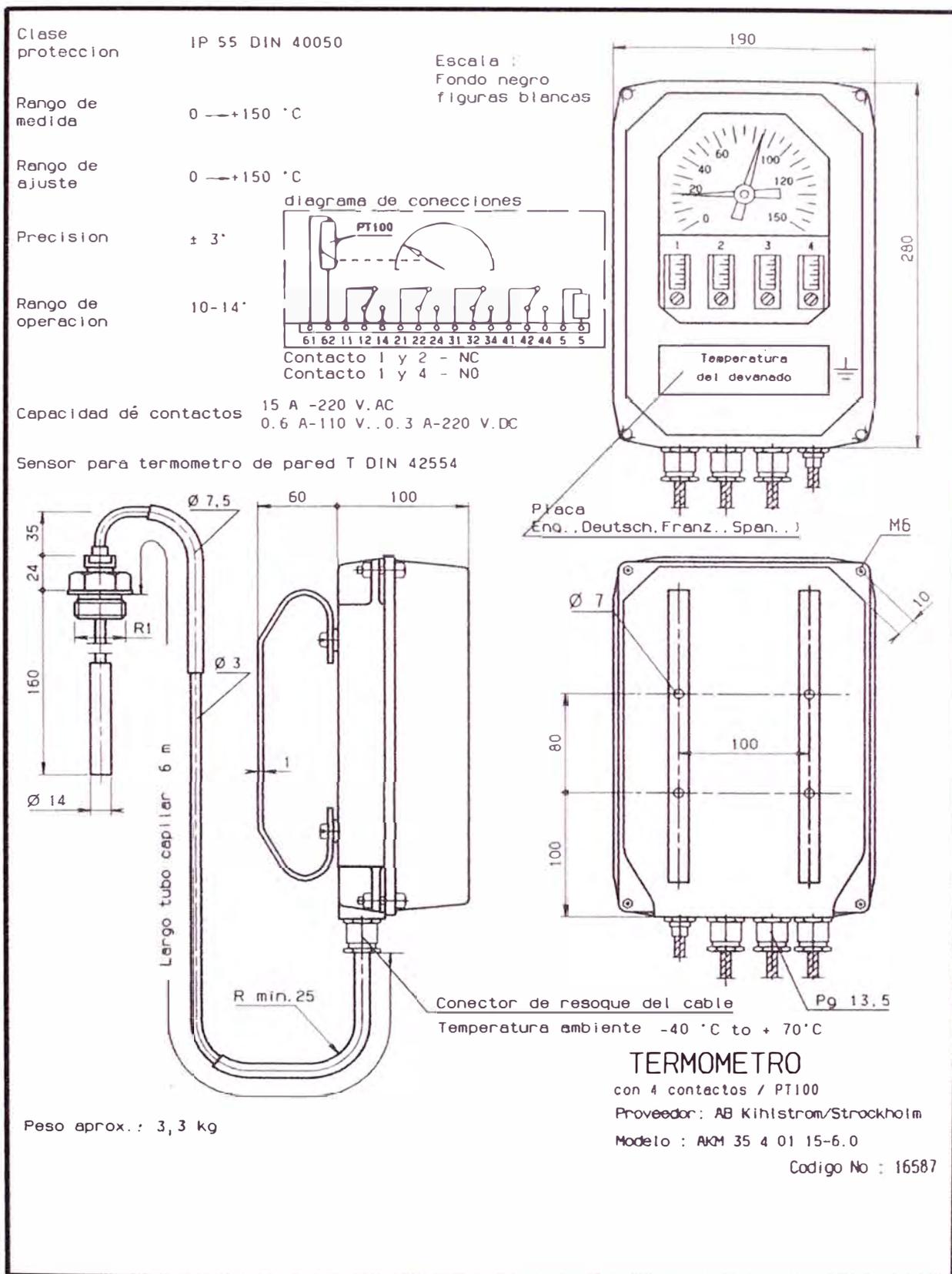


Fig. 2,11 Termómetro de Arrollamiento

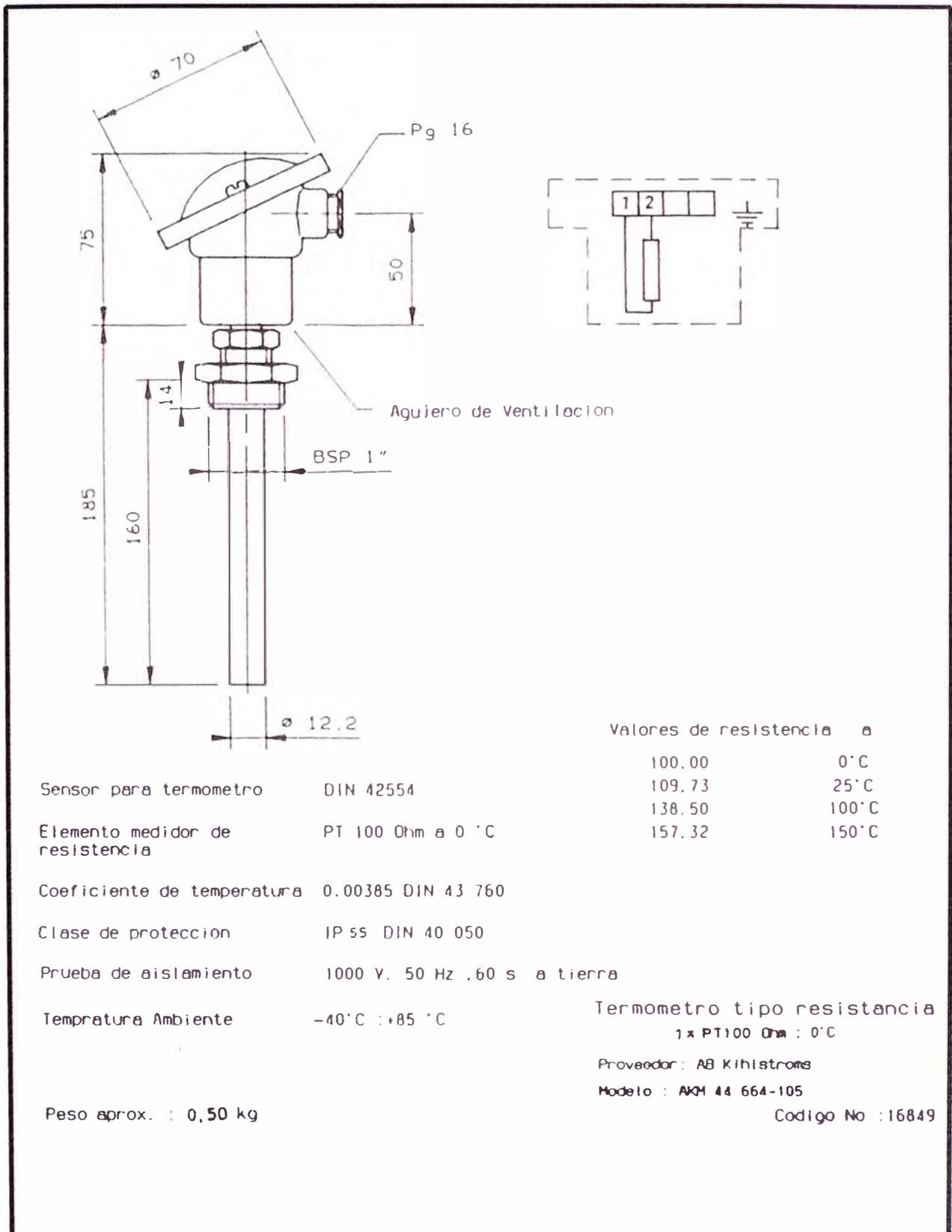


Fig. 2.12 Termómetro de Resistencia Temperatura del Aceite

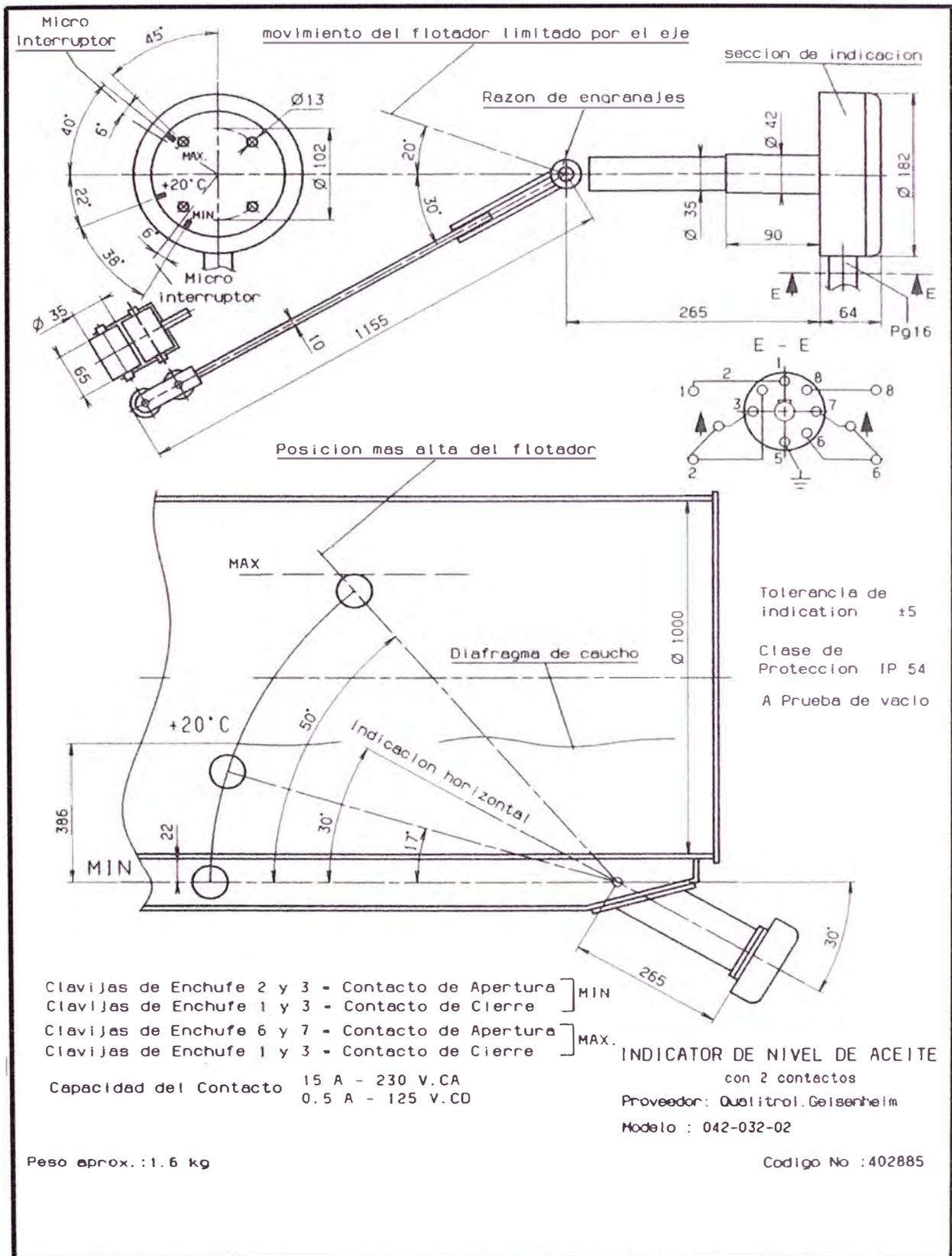


Fig. 2.13 Indicador de Nivel de Aceite

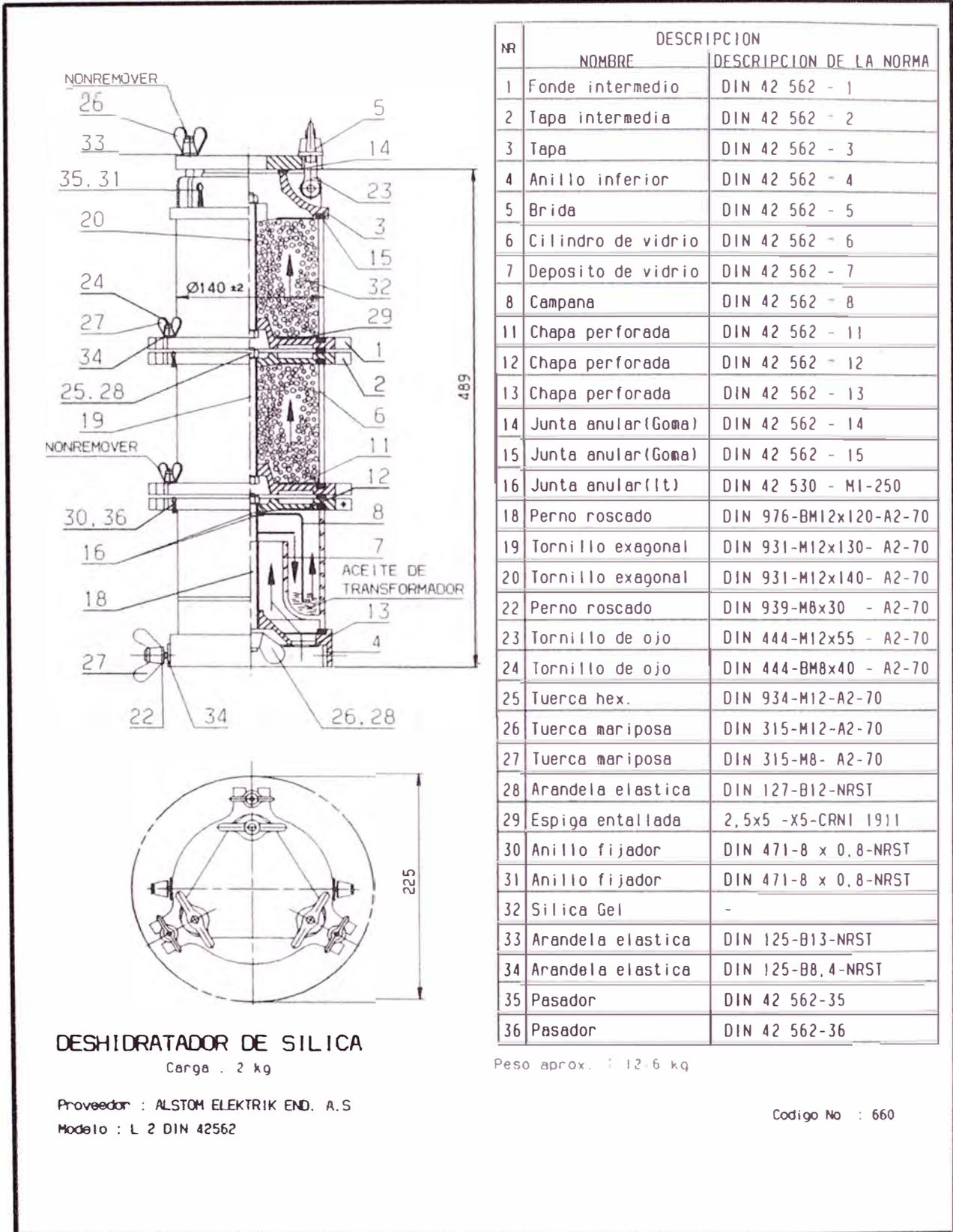


Fig. 2.14 Deshidratador de Silicagel

y una celda de línea de propiedad de la empresa CNP - Energía la cual se utiliza para alimentar la carga de CNP o interconectar su central térmica al SICN.

En el nivel de tensión de 10 kV, se cuenta con una barra simple y cinco celdas, dos celdas correspondientes a las llegadas en 10 kV de los Transformadores de potencia, una celda sirve para alimentar a los servicios auxiliares de la subestación y las otras dos celdas corresponden a dos salidas de línea de propiedad de la empresa Hidrandina y sirven para alimentar las localidades de San José y Chepén. Las celdas son del tipo Metal-Clad.

La subestación cuenta con un transformador de servicios auxiliares de 160 kVA, 10/.38 kV y un grupo de emergencia de 65 kVA con transferencia automática en casos de falla de los servicios auxiliares.

2.4.2 Especificaciones Técnicas de los Equipos de la Celda del Reactor

A continuación se detalla las especificaciones técnicas de los equipos con que cuenta la celda del reactor, que se encuentran instalados en el patio de llaves 220 kV:

a. Seccionador Tripular de Barra

Marca	AEG
Cantidad	02
Tensión Nominal	220 kV
Tensión máxima	245 kV
Frecuencia	60 Hz
Corriente Nominal	1,250 A
Tipo	SEP 245/1250
Tipo de montaje	Horizontal
Año de fabricación	1984
Corriente de cortocircuito	40 kA
Nivel de aislamiento	1050 kV
Mecanismo de operación	Mecánico

b. Interruptor Tripolar de Potencia

Marca	ABB
Cantidad	01
Tensión Nominal	245 kV
Frecuencia	60 Hz
Corriente Nominal	2,500 A
Tipo	HPL 245/25 B1

Tipo de comando	:	BLG 1002 ^a
Año de fabricación	:	1995
Corriente de cortocircuito	:	31.5 kA
Nivel de aislamiento	:	395/950 kV
Tipo de apertura	:	Tripolar
Medio de extinción	:	SF6
Mecanismo de operación	:	Mecánico

c. Pararrayo

Marca	:	Sprecher & Schum
Cantidad	:	03
Tipo	:	Auto valvular
Tensión Nominal	:	198 kV
Tensión máxima	:	245 kV
Frecuencia	:	60 Hz
Capacidad de descarga	:	10 kA
Modelo	:	BHF 8E
Contador de descarga	:	Si
Año de fabricación	:	1984
Nivel de aislamiento	:	900 kV

CAPÍTULO III

MONTAJE ELECTROMECAÁNICO DEL REACTOR

3.1 Generalidades

En este capítulo se detallan los procedimientos generales a seguir para realizar el montaje electromecánico de un reactor de potencia, el planeamiento realizado y se describe la experiencia obtenida en la ejecución del montaje electromecánico del reactor.

Además, se hace una descripción de las pruebas de campo y laboratorio necesarias para la evaluación del estado del equipo.

3.2 Especificaciones Técnicas del Montaje Electromecánico

3.2.1 Descripción

Esta especificación de montaje se aplicará a transformadores y reactores sumergidos en aceite, para servicio a intemperie con enfriamiento ONAN y/o ONAF.

3.2.2 Procedimiento

Los reactores de potencia de alta tensión, son embalados en fábrica para facilidad de transporte sin aceite aislante, accesorios separados y en algunos casos en secciones modulares. Para preservación de los aislamientos y evitar la entrada de humedad de los mismos, durante su transporte el tanque se llena con nitrógeno o aire seco a presión positiva.

El Contratista al recibir el reactor para su instalación, deberá efectuar una minuciosa inspección exterior con el objeto de verificar que no haya signos de daños externos, se revisarán las condiciones de presión, contenido de oxígeno y punto de rocío del nitrógeno o aire seco según el caso.

Si el reactor fue embalado en fábrica y transportado con las bobinas, inmersas en aceite aislante y siendo el resultado de la inspección exterior favorable, no será necesario efectuar la inspección interior.

Al iniciar el armado del reactor se revisará internamente para verificar y/o confirmar si no tiene daños; esta revisión se efectuará sólo en los casos aplicables y

Consistirá en lo siguiente:

- Antes de iniciar la revisión interna se tomarán precauciones para evitar riesgos de sofocación o contaminación por gas, para lo cual se deberá evacuar con bomba de vacío y sustituir con aire seco; si la presión del gas es “CERO” o “NEGATIVO”, y el contenido de oxígeno y punto de rocío mayores que los esperados, existe la posibilidad de que los aislamientos del reactor estén contaminados con aire y humedad de la atmósfera, por lo que será necesario someter el reactor a un riguroso proceso de secado después de su armado.
- El reactor no se deberá abrir en circunstancias que permitan la entrada de humedad (días lluviosos), no se dejará abierto por tiempo prolongado, sino el tiempo estrictamente necesario para lo cual, se considera que son suficientes dos horas como máximo.
- Para prevenir la entrada de humedad al abrir el reactor, se realizará un llenado que cubra las bobinas con aceite aislante desgasificado y deshidratado a una temperatura de 30°C, calentando núcleo o bobinas para reducir la posibilidad de condensación de humedad. Para mayor seguridad de este llenado preliminar, puede hacerse utilizando el método de alto vacío.
- Se debe evitar que objetos extraños caigan o queden dentro del reactor, las herramientas que se usen deberán ser amarradas al tanque con cintas de algodón mientras que estén montando o verificando las conexiones.
- Las actividades más relevantes que se realizarán en la revisión interna serán las siguientes:
 - Verificación minuciosa sobre la sujeción del núcleo y bobinas, así como posible desplazamiento.
 - Verificar el número de conexiones a tierra del núcleo; revisando su conexión y probando su resistencia a tierra.
 - Inspección visual de terminales, barreras entre fases, estructuras y soportes aislantes, conexiones y conectores.
 - Verificar los transformadores de corriente y terminales de bushing, comprobando sus partes y conexiones.
 - Revisar que no haya vestigios de humedad, polvo, partículas metálicas o cualquier material extraño y ajeno al reactor.
 - Cualquier daño detectado durante la revisión interna, será reportado a la Supervisión quien ordenará lo procedente.

Las partes que vienen separadas del reactor estarán selladas con tapas provisionales las que se irán quitando durante el proceso de armado. El montaje se realizará sobre la base de las instrucciones de cada fabricante tomando en cuenta las precauciones indicadas en estas especificaciones sobre el contenido de oxígeno y llenado preliminar. Si los trabajos internos se prolongan más de un día, el reactor deberá sellarse y presurizarse al terminar la jornada.

El manejo e instalación de bushings se hará siempre en posición vertical y deberán estar limpios y secos, se tomarán precauciones especiales durante su montaje para evitar roturas y daños de la porcelana, asimismo, se someterán a pruebas de aislamiento antes de montarse.

Antes de instalarse los radiadores se lavarán perfectamente con aceite dieléctrico limpio y caliente (25 - 35°C), lo mismo se hará con el tanque conservador, tuberías y válvulas de aceite y se aplicará exteriormente una mano de pintura para acabado, color gris claro en conformidad con la Supervisión.

Los embalajes de corcho neopreno que se usan para el montaje de los accesorios deberán estar limpios, así como las superficies y alojamiento; su montaje se hará con cuidado, comprimiéndolos uniformemente para garantizar un sello perfecto.

Todas las conexiones eléctricas deberán limpiarse cuidadosamente antes de soldarse o unirse a conectores mecánicos, se confirmarán las operaciones de nivel, flujo y temperatura antes de sellar el tanque.

Una vez terminado el armado del reactor y sellado perfectamente se probará su hermeticidad, presurizándolo con aire o nitrógeno seco a una presión de 0,07 MPa, verificando que no haya fugas; explorando con aplicación de jabonada en todas las uniones con soldadura, juntas y empaques, si existen se corregirán antes de proceder a su secado o llenado definitivo.

Antes del llenado definitivo del reactor con su aceite aislante, se someterá a un tratamiento preliminar con alto vacío para eliminar la humedad que haya absorbido durante las maniobras de revisión interna y armado; para efectuar el alto vacío deberán aislarse y sellarse el tanque conservador, radiadores, tuberías y accesorios.

El alto vacío deberá alcanzar una presión absoluta de 11 mmHg en estas condiciones se mantendrá durante 12 horas más 1 hora adicional, por cada 8 horas que el reactor haya permanecido abierto y expuesto al ambiente durante su inspección y armado.

A la terminación del alto vacío, se romperá introduciendo aire o nitrógeno ultraseco

hasta lograr una presión de 0,035 MPa dentro del reactor, manteniendo en estas condiciones durante 24 horas para alcanzar un equilibrio entre el gas y los aislantes. A continuación se efectuarán mediciones de punto de rocío del gas, determinando la humedad residual de los aislantes, utilizando los procedimientos adecuados.

Con objeto de eliminar en los aislamientos la humedad y los gases, el reactor se someterá a un tratamiento de secado que le permita restaurarle sus características óptimas de rigidez dieléctrica y vida térmica de sus aislamientos, para tal fin, se podrán aplicar cualquiera de los siguientes procedimientos de secado y su aplicación dependerá del tipo de reactor, del tamaño del contenido de humedad y de los medios que se dispongan para efectuar el secado.

Los tipos de secado son:

- Secado con alto vacío y calor continuo
- Secado con alto vacío y calor cíclicos
- Secado con alto vacío continuo
- Secado con aire caliente
- Secado con aceite caliente

El equipo para secado del reactor al alto vacío será proporcionado por el Contratista incluyendo las válvulas, bolsa para aceite y accesorios para su conexión. Una vez seco el reactor y terminado su armado, se procederá al llenado con aceite aislante para cubrir núcleo y devanados.

El aceite aislante que se usará para el llenado definitivo del reactor, deberá ser un aceite deshidratado desgasificado, con un contenido máximo de agua de 10 p.p.m. el resto de las pruebas del aceite, tanto químicas como físicas estarán dentro de los límites de especificaciones de un aceite dieléctrico nuevo.

Para el llenado de aceite el reactor tiene que ser previamente evacuado hasta lograr el máximo vacío posible dentro del mismo y mantener este vacío del orden de 1 a 2 mm Hg, durante todo el proceso de llenado.

Para prevenir descargas electrostáticas debidas a la circulación del aceite aislante, todos los terminales externos del reactor, su tanque, tuberías y equipo de tratamiento, se conectarán sólidamente a tierra durante el llenado.

El aceite deberá ser calentado a 20°C y preferentemente a temperatura mayor a la del ambiente y se introducirá en el tanque a una altura sobre el núcleo y bobinas por un punto opuesto a la toma de succión de la bomba de vacío, de tal manera, que el chorro del

aceite no pegue directamente sobre aislamientos de papel. La admisión será controlada por medio de válvulas para controlar su flujo y conservar una presión positiva, la velocidad de llenado será controlado para evitar burbujas atrapadas en los aislamientos, se admitirá una velocidad de 100 litros por minuto o aumento de presión de 110 mm. Hg, dentro del tanque.

En una sola operación del llenado se deberán alcanzar a cubrir el núcleo y devanado, si por alguna razón se interrumpe el proceso, se deberá vaciar el reactor y reiniciar el llenado. Para reactores transportados con aceite, el llenado se continuará hasta el nivel indicado como norma y para sistema de tanque conservador tan arriba como sea posible.

Una vez terminado el llenado del reactor sobre el espacio libre, se mantendrán las condiciones de vacío durante 3 ó 4 horas más antes de romper el vacío con aire o nitrógeno secos, hasta tener una presión de 0,035 MPa, con objeto de expulsar al exterior, a través de la bomba de vacío, las burbujas de agua o gas provocadas por el propio vacío obtenido durante el llenado.

Finalmente el aceite se reciclará a través de la planta de tratamiento durante 8 horas continuas, o un equivalente a dos veces el volumen total del aceite del reactor; con objeto de eliminar la humedad residual y gases sueltos, durante éste proceso se tendrán operadas las bombas de aceite, al terminar esta operación se dejará el reactor en reposo por un mínimo de 24 horas para efectuar las pruebas y verificaciones.

Las pruebas y verificaciones serán ejecutadas por el Contratista y serán las siguientes:

- Prueba de resistencia de aislamiento de cada uno de los devanados a tierra y entre devanados
- Prueba de factor de potencia de cada devanado a tierra y entre devanados
- Prueba de factor de potencia a todos los bushing equipados con TOMA de pruebas o TOMA capacitivo.
- Medición de resistencia óhmica en todos los devanados, utilizando un puente doble de KELVIN
- Pruebas de rigidez dieléctrica, factor de potencia, resistividad, tensión interfases y acidez del aceite aislante
- Pruebas de contenido de agua y contenido total de gases de aceite aislantes
- Verificación de operación de los dispositivos indicadores y de control de temperatura del

aceite y punto caliente.

- Verificación de operación de los equipos auxiliares, como es bomba de aceite, ventiladores e indicadores de flujo
- Verificación de alarmas y dispositivos de protección propias del reactor, así como los esquemas de protección
- Antes de montar los radiadores y accesorios a la superficie exterior del tanque, se aplicará una mano de pintura para el acabado, en conformidad con la Supervisión.

3.2.3 Pruebas de puesta en servicio

Durante las pruebas de puesta en servicio de las subestaciones, conjuntamente con los representantes del propietario y del Contratista se contará con la presencia de un (01) Ingeniero representante del fabricante del transformador. El Contratista dispondrá de los siguientes equipos mínimos:

- Megómetro motorizado de 2500 V con escala 100000 M Ω
- Puente de capacitancias para la medición de Tangente Delta y Factor de Disipación
- Termómetro patrón con escala 0 - 150 $^{\circ}$ C
- Multitester digital FLUKE o similar
- Amperímetro patrón con escala 0 - 5 A
- Herramientas comunes en montajes eléctricos

3.2.4 Cronograma de montaje

El Contratista que obtenga la buena Pro, deberá presentar a la firma del contrato, el cronograma previsto para la ejecución de la obra, a fin de que el fabricante pueda planificar los viajes de su personal técnico que asistirá a las actividades de montaje y puesta en servicio del transformador.

3.3 Programación y Ejecución del Montaje Electromecánico del Reactor

Para la elaboración del programa del montaje electromecánico del reactor 20 MVAR, marca Alstom, se convocó a una reunión técnica al personal involucrado: Ingenieros y Técnicos, con el fin de elaborar el expediente técnico de montaje, el cual contiene los recursos humanos, equipos, herramientas y materiales necesarios; así como el cronograma de actividades.

El montaje electromecánico se realizará con personal propio de la Unidad de Transmisión Norte, con apoyo de personal de la Unidad de Mantenimiento Especializado para las pruebas de campo.

Las actividades de montaje se iniciaran el día 15.01.2001, fecha estimada en que el

fabricante entregara el reactor en la subestación Guadalupe; según lo estipula el contrato “Suministro, Transporte, Pruebas, Supervisión y Puesta en Servicio de un Reactor de 20 MVAR en la Subestación Guadalupe”.

3.3.1 Actividades Principales del Programa

Para ejecutar el montaje electromecánico en forma ordenada y coordinada se elaboró el cronograma de actividades (Ver Tabla N° 3.1), el cual facilita la visión de la programación de las tareas ha desarrollar.

Para la elaboración del cronograma de montaje se establecieron las siguientes actividades como principales:

1. Traslado de reactor a subestación Guadalupe
2. Ubicación del reactor en su base y descarga de accesorios
3. Inspección y recepción de accesorios
4. Desembalaje de accesorios y ubicación en zona de montaje
5. Montaje de Radiadores y tanque de expansión
6. Montaje de Bushing de Alta Tensión, Neutro y conexión de tuberías
7. Instalación de planta de tratamiento de aceite
8. Realizar el vacío al reactor
9. Preparación preliminar del aceite antes de llenado al reactor
10. Llenado de aceite a la cuba del reactor bajo vacío y tratamiento
11. Montaje de accesorios menores y conexiónado eléctrico
12. Conexionado de cables de BT del Reactor a la sala de control
13. Protocolo de Pruebas en Blanco
14. Conexionado en AT, puesta en servicio e inicio de la operación experimental

3.3.2 Ejecución del Montaje Electromecánico

En esta parte se detallan cronológicamente los procedimientos que se siguieron para el montaje electromecánico de un reactor de 20 MVAR en la subestación Guadalupe, en base a la experiencia obtenida en la ejecución de este proyecto.

En el Tabla N° 3.2 podemos ver el cronograma de actividades ejecutadas, el cual tuvo pequeñas variaciones con lo programado debido a la demora que tuvo el Fabricante en entregar los accesorios del reactor para poder iniciar el montaje a causa de problemas de transporte.

Cabe indicar que previamente a la intervención se cumplieron con todos los Procedimientos Internos de ETECEN, en los cuales se establecen los lineamientos,

Tabla N° 3.1 Actividades Programadas del Montaje Electromecánico del Reactor de 20 MVAr

Montaje de Reactor de 20 MVAr en Subestación Guadalupe																												
ÍTEM	ACTIVIDADES	ANTEC.	SEC.	DÍAS	Enero-01																							
					8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24							
A1	Traslado de Reactor a subestación Guadalupe	-	A2	2	■	■																						
A2	Ubicación del Reactor en su base y descarga de accesorios	A1	A3	1			■																					
A3	Inspección y recepción de accesorios	A2	A4, A7	1				■																				
A4	Desembalaje de accesorios y ubicación en zona de montaje	A3	A5	2					■	■																		
A5	Montaje de Radiadores y tanque de expansión	A4	A6	2							■	■																
A6	Montaje de Busching de Alta Tensión y conexionado de tuberías	A5	A8,A11	2									■	■														
A7	Ubicación e instalación de equipo de tratamiento de aceite	A3	A8,A9	2									■	■														
A8	Realizar el vacío al reactor	A6,A7	A11	2														■	■									
A9	Preparación preliminar del aceite antes del llenado al reactor.	A7	A10	2														■	■									
A10	Llenado de aceite a la cuba del reactor bajo vacío y tratamiento	A8,A9	A12	1															■									
A11	Montaje de accesorios menores y conexionado eléctrico	A6	A12	2														■	■									
A12	Conexionado de cables de baja tensión de reactor a sala de control.	A10,A11	A13	2																■	■							
A13	Protocolo de Pruebas en blanco	A12	A14	1																			■					
A14	Conexionado en AT, puesta en servicio e inicio de la operación experimental	A13	-	1																				■				

metodología y registros necesarios para realizar las actividades de mantenimiento y monitoreo de los equipos e instalaciones del Sistema de Transmisión que se encuentran a cargo de las Unidades de la Gerencia de Transmisión.

Fecha: 12.01.01

Se recepciona la cuba del reactor en la subestación Guadalupe.

Fecha: 14.01.01

Ubicación de la cuba del reactor en su lugar de operación, actividad a cargo del Fabricante según específica en su contrato, bajo supervisión de ETECEN.

Fecha: 17.01.01

Se recepcionaron en la subestación Guadalupe los accesorios del reactor (tanque de expansión, cúpulas, radiadores y 78 cilindros de aceite); con la excepción de los bushings.

Durante la descarga se observó un radiador con un raspón que probablemente podía ser un punto de fuga de aceite, ocurrido durante la descarga, la cual es responsabilidad del Fabricante, motivo por el cual se le comunicó inmediatamente.

Fecha: 18.01.01

Se realizan la inspección de accesorios según una lista de verificaciones:

- Inspección externa del reactor y de los accesorios.
- Investigar si no hay indicios de desplazamiento de la carga.
- Sobre la cuba y accesorios ver si hay señales exteriores que indiquen avería.
- Si la pintura esta averiada.
- Si hay signos de corrosión importante.
- Todos los accesorios que han ido fijados a la cuba ¿están en su sitio e intactos? ¿Tiene la cuba alguna deformación?
- Cuando se haya inspeccionado el buen estado de la masa indivisible, se verificara todos los accesorios y la totalidad del suministro, conforme a la lista de expedición.
- Controlar para cada uno de ellos la cantidad y el estado, así como si ha entrado humedad en los embalajes estancos.
- Los radiadores tendrán todas sus bocas con bridas ciegas que aseguran su hermeticidad.

Después de su llegada (la temperatura ambiente debe mantenerse constante al menos durante 4 horas) y antes de toda intervención sobre el reactor que se expide con presión de gas nitrógeno y con un mínimo volumen de aceite, se debe verificar la presión del equipo de control de gas nitrógeno sea positiva o negativa, lo que significa que no a ingresado humedad al interior de la cuba. Este equipo viene montado en la cuba del reactor

Tabla N° 3.2 Actividades Ejecutadas del Montaje Electromecánico del Reactor de 20 MVAr

Montaje de Reactor de 20 MVAr en Subestación Guadalupe																				
ÍTEM	ACTIVIDADES	ANTEC.	SEC.	DÍAS	Enero-01															
					12	13	14	17	18	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A1	Traslado de Reactor a subestación Guadalupe	-	A2		■	■														
A2	Ubicación del Reactor en su base y descarga de accesorios	A1	A3	1			■													
A3	Inspección y recepción de accesorios	A2	A4, A7	2				■	■	■										
A4	Desembalaje de accesorios y ubicación en zona de montaje	A3	A5	2								■								
A5	Montaje de Radiadores y tanque de expansión	A4	A6	2								■	■							
A6	Montaje de Bushing de Alta Tensión y conexionado de tuberías	A5	A8,A11	2									■	■						
A7	Ubicación e instalación de equipo de tratamiento de aceite	A3	A8,A9	2									■	■						
A8	Realizar el vacío al reactor	A6,A7	A11	2										■	■					
A9	Preparación preliminar del aceite antes del llenado al reactor.	A7	A10	2									■	■	■					
A10	Llenado de aceite a la cuba del reactor bajo vacío y tratamiento	A8,A9	A12	1												■				
A11	Montaje de accesorios menores y conexionado eléctrico	A6	A12	1										■	■					
A12	Conexionado de cables de baja tensión de reactor a sala de control,	A10,A11	A13													■	■			
A13	Protocolo de Pruebas en blanco	A12	A14																■	
A14	Conexionado en AT, puesta en servicio e inicio de la operación experimental	A13	-																	■

conjuntamente con un tanque de nitrógeno (Ver plano N° MR-09 del Anexo A) y sirve para compensar la presión si existe alguna pérdida de gas ocurrida durante el transporte, con el fin de que no penetre la humedad a la parte activa del equipo. (Ver Fig. 3.1)

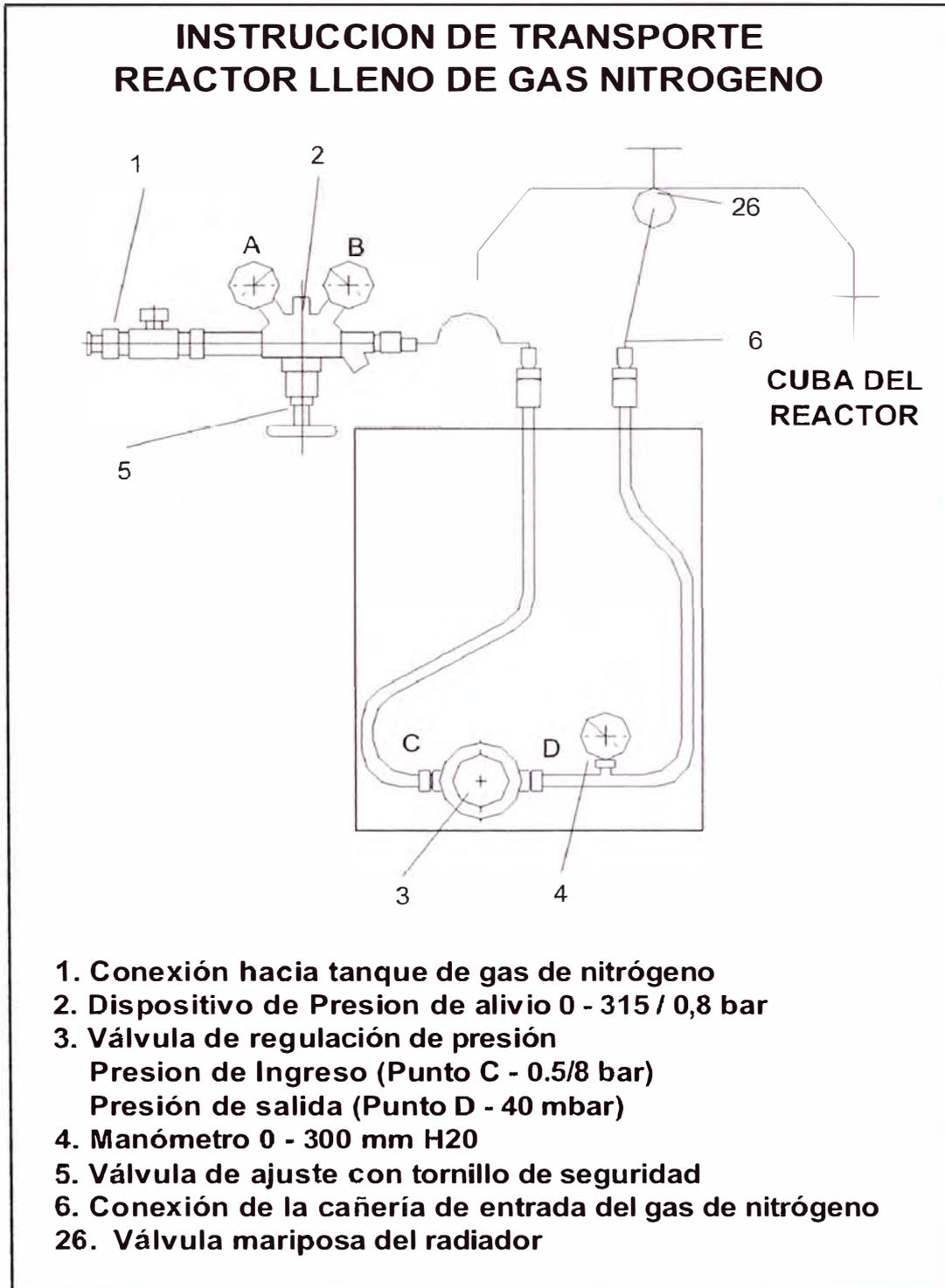


Fig. 3.1 Instrucción de Transporte de Reactor Lleno de Gas Nitrógeno

También se procede a desmontar el equipo detector contra impactos que viene adosado a la cuba del reactor, para su envío inmediato al fabricante, con el fin de obtener

los resultados bajo software especializado de la intensidad de impactos recibidos durante el transporte.

Fecha: 20.01.2001

Llegan los bushings de alta tensión a la subestación Guadalupe, ETECEN superviso la descarga del transporte que es responsabilidad del Fabricante y luego se realizó la inspección del estado del equipo.

Fecha: 22.01.01

Se hizo un reconocimiento de las piezas y accesorios según los planos de montaje del fabricante (Ver planos N° MR-05 y MR-06 del Anexo A), y se procedió a ubicar los accesorios en zonas cercanas a la cuba del reactor y según su orden de montaje.

Se distribuyó el trabajo por grupos de trabajo según el programa de actividades establecido.

Se inicia la revisión del cableado existente entre los tableros de la sala de control y el patio de llaves, así como del tablero de control del reactor.

Se inicia el montaje electromecánico con la instalación de los radiadores N° 1, 2, 3, 6, 7 y 8, para lo cual se recomienda:

- Ubicar la identificación del número del radiador para hacer el montaje en el lugar correspondiente. Se deben respetar la posición original de los radiadores debido a que este equipo ha sido probado en fábrica de esa forma.
- Las válvulas mariposas se deben encontrar cerradas, excepto la válvula por donde esta conectada el equipo de relleno de gas nitrógeno, el cual debe estar monitoreado continuamente con el fin de evitar el ingreso de humedad a la cuba, el radiador de esta ubicación se monta al final de todos.
- Se debe verificar el estado de las válvulas mariposa al momento de retirar las bridas ciegas, así también se debe realizar una limpieza con alcohol de la canaleta-brida antes de colocar las nuevas empaquetaduras.
- Se debe tener bastante cuidado que las empaquetaduras tipo “oring” estén bien ubicadas en la canaleta-brida, se puede emplear vaselina para evitar que la empaquetadura se dañe en el momento del montaje.

Fecha: 23.01.01

Se realizó el cambio de radiadores 1 y 2, por haberse equivocado en su posición en el montaje del día anterior.

Se realizó la prueba de punto de rocío para ver el grado de humedad al interior de la

cuba del reactor, la presión de nitrógeno en la cuba era de 200mbar, se realizaron 03 muestras, obteniendo los siguientes resultados: punto de rocío $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, la temperatura de medición $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, determinándose la humedad de la parte activa de 0.35%. Según estos valores el reactor se encuentra seco.

Se montaron los radiadores 4 y 5, previamente se probó la hermeticidad del radiador N° 4 que fue dañado durante el transporte, se resanó con acero plástico ACR558 la parte afectada. La prueba consistió en llenar de gas nitrógeno en el radiador resanado (previamente se instaló bridas al radiador), a una presión de 0.7 bar, se aplicó agua jabonosa para observar fugas de gas, los resultados fueron satisfactorios, por lo que se monta el radiador N° 4 en forma temporal, se solicitó al fabricante el reemplazo del radiador posteriormente.

Se realizó el montaje del tanque de expansión, primeramente su estructura soporte.

Antes del montaje de los transformadores de corriente, se realizó la prueba de polaridad, mediante el método de aplicación de corriente continua con una batería de 12 V y colocando un multitester analógico en los bornes del secundario. (Ver Fig. 3.2)

Se realizó el montaje de los transformadores de corriente de las fase “T” y “S”, no se instaló el de la fase “R” por haberse encontrado roto el papel crepe del cable de acometida (Ver plano MR-10 del Anexo A), se contaba con este material en la subestación de Chiclayo Oeste, por lo que se solicitó inmediatamente para iniciar la reparación del aislamiento del cable de acometida.

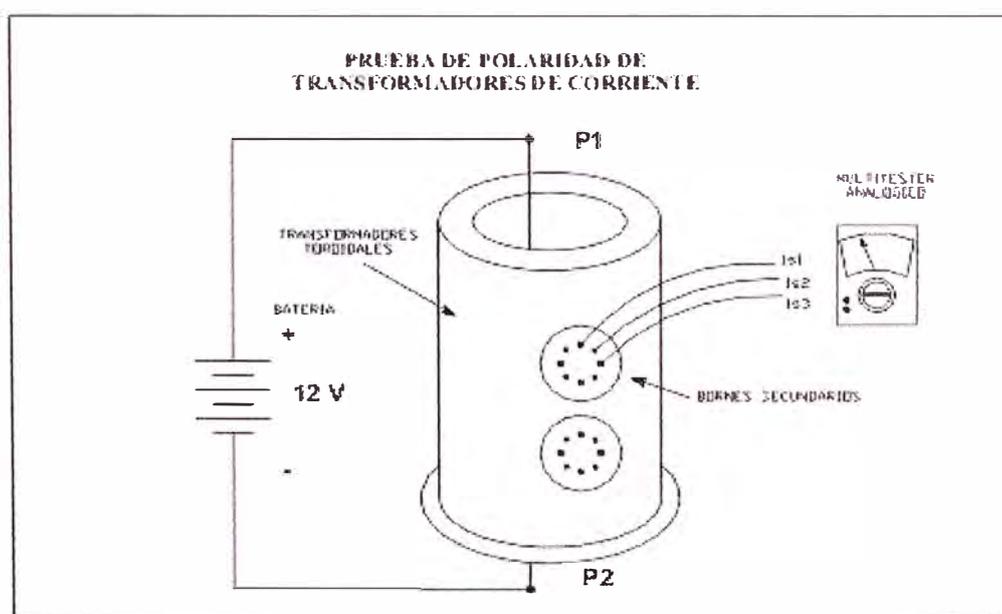


Fig. 3.2 Prueba de polaridad de transformadores de corriente en bushing

En este proceso del montaje descendió la presión del gas nitrógeno en el interior de la cuba del reactor, debido a que se destaparon las bridas superiores por un corto tiempo para el montaje de los transformadores de corriente, por lo que se procedió a rellenar de gas nitrógeno hasta una presión de 0.2 bar hasta el día siguiente a fin de que no ingrese la humedad al interior de la cuba del reactor.

Se realizó la instalación del relé Buchholz, teniendo en cuenta la dirección indicada en dicho equipo y de las cañerías del desecador de aire.

Fecha: 24.01.01

Se realizó una inspección y limpieza general de los bushing y sus accesorios, para luego proceder con el montaje de los bushing de las fases “T” y “S”, para lo cual se recomienda:

- Emplear eslingas de nylon para mayor seguridad en el izaje, a fin de no deteriorar la porcelana, es recomendable también emplear un tecele de cadena con el fin de una vez elevado el bushing darle el ángulo de inclinación en que debe ir montado.
- Emplear un alambre galvanizado o soga driza de unos 2 mm de diámetro, el cual previamente debe ser introducido a través del bushing, para facilitar la entrada del cable de acometida por este.
- Debe reemplazarse todas las empaquetaduras de las bridas ciegas que se destapan durante el proceso de montaje, para esto el Fabricante suministra nuevas empaquetaduras.

Se realizó la reparación del aislamiento de papel crepe del cable de acometida de la fase “R”, el nuevo papel previamente se sometió a un proceso de secado en un horno convencional durante 02 horas, para luego proceder a encintar la zona dañada. (Ver fotografías en el Anexo B)

Una vez reparado el aislamiento del cable de acometida de la fase “R” se procedió con el montaje del transformador de corriente de la fase “R” y luego el bushing correspondiente.

Paralelamente se fue realizando la instalación eléctrica para la alimentación de la planta de tratamiento de aceite, que requiere una alimentación de 380 V trifásico, su potencia total es de 96 kW. Para lo cual se requirió independizar la alimentación del transformador de servicios auxiliares de 160kVA, 10/0.38 kV, y transferir la carga propia de la subestación al grupo electrógeno de 65 kVA, 380/220 V, el cual estaría en funcionamiento durante el tiempo que la máquina de tratamiento este en operación.

Se realizaron las pruebas de rigidez dieléctrica del aceite contenido en 78 cilindros,

para lo cual extrajeron muestras de 10 cilindros de forma aleatoria, se recomienda para efectuar una buena medición obtener la muestra con el menor contacto posible con el aire. (Ver Tabla N° 3.3)

Tabla N° 3.3 Resultados de la medición de rigidez dieléctrica del aceite en cilindros

Item	Cilindro N°	Resultado kV/2.5 mm
1	5	63.5
2	10	39.5
3	17	51.3
4	20	74.0
5	30	77.3
6	36	38.3
7	41	49.3
8	49	48.5
9	55	47.1
10	61	50.5

Se procedió hacer el llenado de los 78 cilindros de aceite a la bolsa contenedora, empleando para esto las bombas de la planta de tratamiento de aceite. El aceite ingresante era tratado por termo-vació, con el fin de eliminar su humedad, ya que esto afectara al envejecimiento del papel, es decir provocara la descomposición de sus fibras, lo cual ocasiona daños irreversibles que pueden conducir a una descarga eléctrica interna en el reactor. (Ver Fig. 3.3)

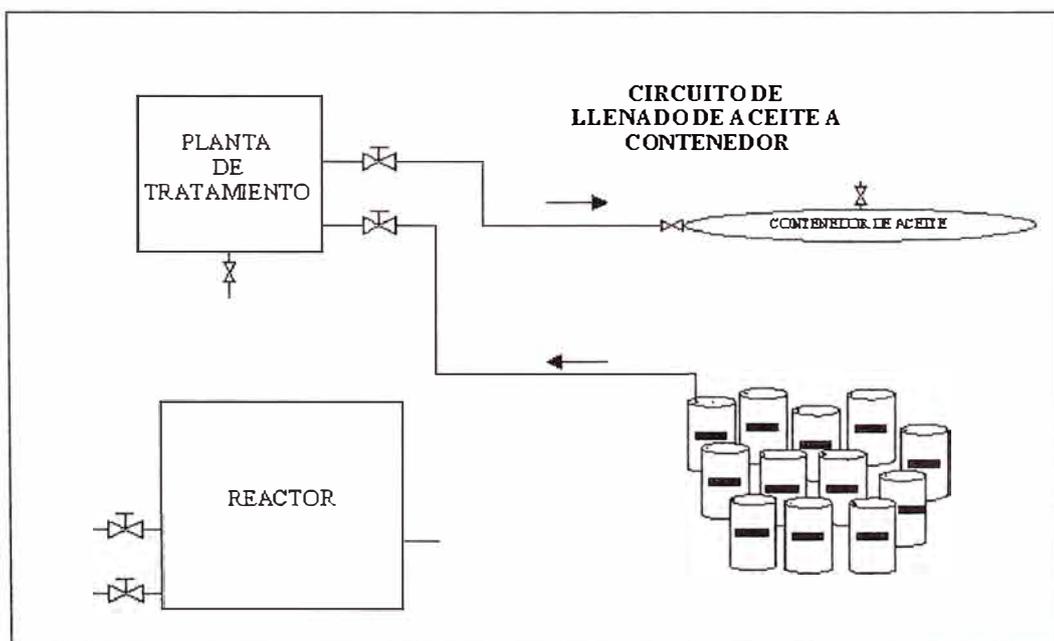


Fig. 3.3 Circuito de llenado de Aceite a Contenedor

Se continuó con el montaje del bushing de neutro, las tuberías de comunicación y accesorios.

Fecha: 25.01.01

Se rellenó de gas Nitrógeno a todo el reactor a una presión de 0.9 bar, para comprobar su estanqueidad, a esta presión se dejó en reposo por 01 hora, no presentándose ninguna pérdida de gas.

A continuación se abrió la válvula de compuerta para descarga de la cuba del reactor, con la finalidad de drenar el mínimo volumen de aceite dieléctrico con que fue transportado el reactor desde la fábrica en Turquía.

A las 10:20 horas se inicia el proceso de vacío al reactor hasta la 12:45 horas, aquí se detiene para observar su comportamiento, luego se reinicia a las 14:00, con el mismo valor de vacío de 1 bar.

A las 12:50 se inicia paralelamente el tratamiento por termo-vacío del aceite en la bolsa contenedora. (Ver Fig. 3.4)

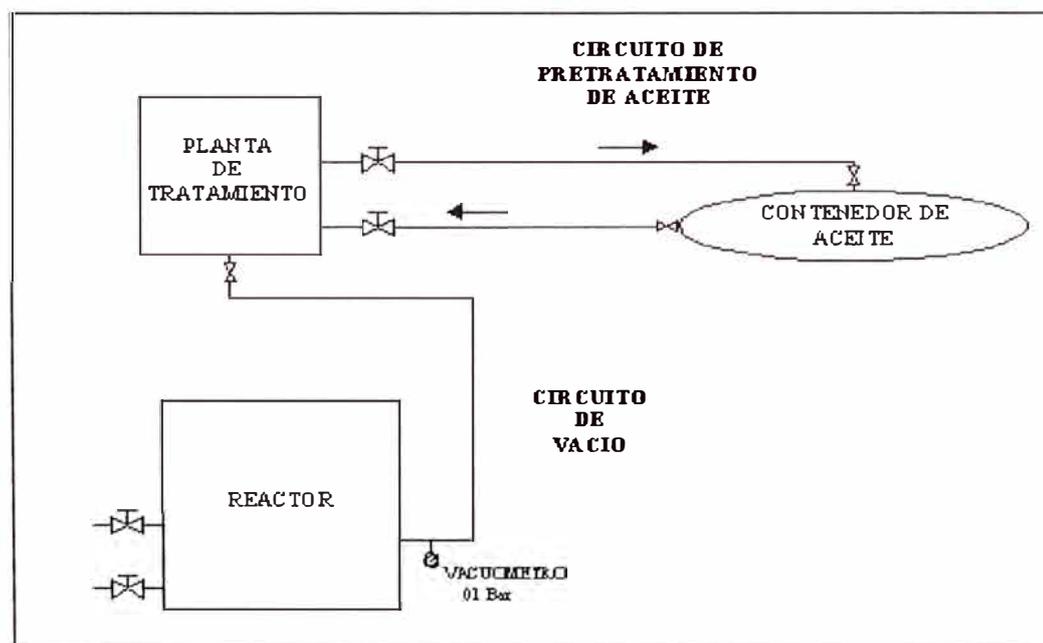


Fig. 3.4 Circuito de Pre-tratamiento de Aceite

Se realizó la prueba de medición de la rigidez dieléctrica del aceite durante el tratamiento en la bolsa, obteniéndose de las pruebas el valor de 75.3 kV/2.5 mm.

Revisión y adecuación de circuitos eléctricos en tableros de mando y protecciones de la celda del reactor en la sala de control, modificación de planos eléctricos de la celda para su actualización posteriormente.

Conexión eléctrica de los secundarios de los transformadores de corriente hacia la cabina de control del reactor.

Fecha: 26.01.01

Se continúa con el proceso de tratamiento de aceite en la bolsa y el vacío al reactor. Se realizó la prueba de medición de la rigidez dieléctrica del aceite durante el tratamiento en la bolsa, a las 15:30 dando el resultado de 77.6 kV/2.5 mm

Conexión eléctrica de la válvula de sobrepresión, relé buchholz, indicadores de temperatura y nivel de aceite; verificación de esquemas eléctricos de alarma y disparos.

Fecha: 27.01.01

A las 10:40 se inicia el llenado de aceite a la cuba del reactor (Ver Fig. 3.5), bajo los siguientes parámetros:

- Vacío en la planta de tratamiento: 1.2 mbar
- Vacío en la cuba: 1 bar
- Temperatura de ingreso de aceite: 60 °C

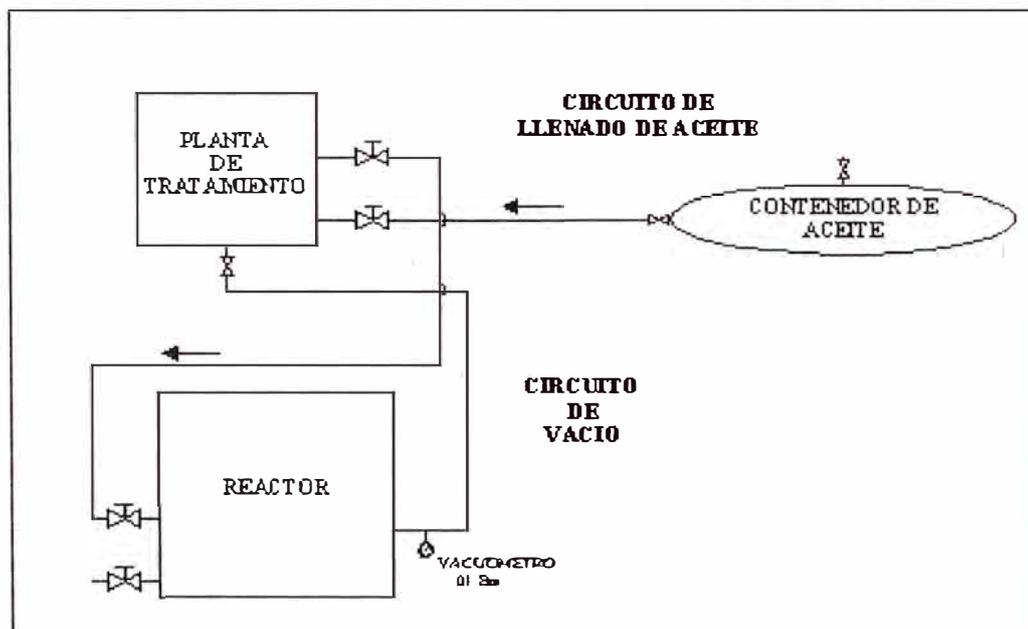


Fig. 3.5 Circuito de Llenado de Aceite a la Cuba del Reactor

A las 14:00 horas se cierran las válvulas de vacío en la maquina así como en el reactor, el tiempo total de vacío fue de 51 horas.

Se continúa con el llenado de aceite residual de la bolsa, tuberías y planta de tratamiento.

Culminado el llenado del aceite dieléctrico a la cuba del reactor, se procede a llenar

de gas nitrógeno, con la finalidad de romper el vacío al interior del reactor.

Se realizan las conexiones del conductor de acometida al embarrado de alta tensión, quedando sin conectar en las bornas de los bushing del reactor.

A las 14:40 horas se inicia el tratamiento a circuito cerrado, entre la planta de tratamiento por termo-vacío y el reactor de potencia (Ver Fig. 3.6), con las lecturas siguientes:

- Vacío en la planta de tratamiento: 1.3 mbar
- Temperatura: 49 °C
- Caudal: 4500 lt/hora

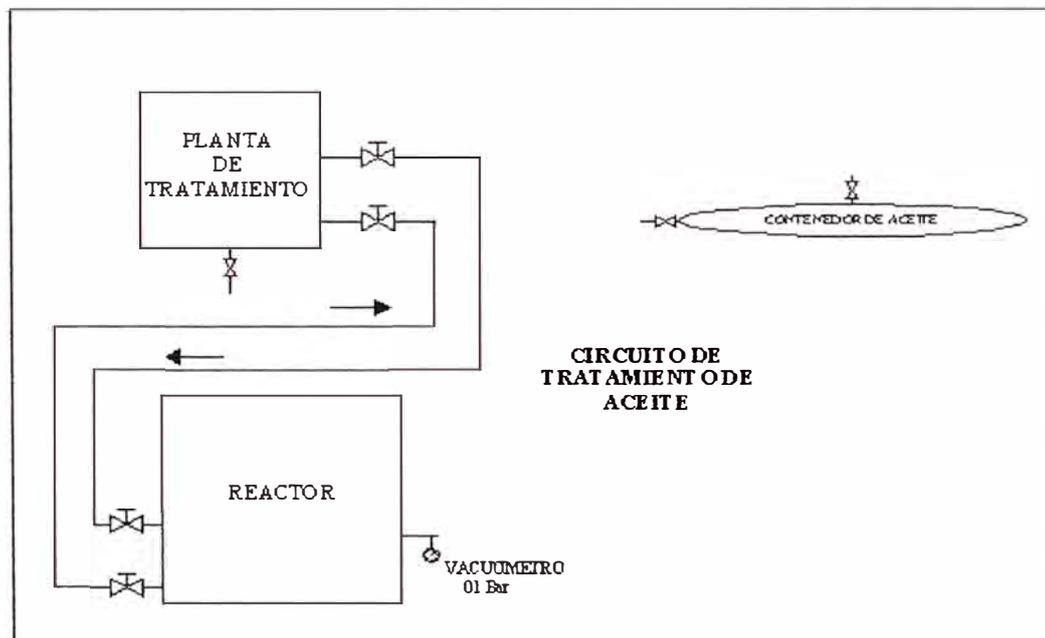


Fig. 3.6 Circuito de Tratamiento de Aceite

Fecha: 28.01.01

A las 08:45 horas se cierra la válvula de salida de aceite del reactor se bombea el aceite de las mangueras y de la planta de tratamiento antes de cerrar la válvula de entrada de aceite al reactor, tratando de dejar la menor cantidad de aceite residual en la planta de tratamiento y mangueras. Culminando de esta forma el tratamiento por termo _ vacío del aceite dieléctrico del reactor.

Se detiene el funcionamiento de la máquina de tratamiento y se proceden a retirar las mangueras. En el Tabla N° 3.4 se detallan las horas de funcionamiento que ha tenido la maquina de tratamiento de aceite durante el proceso de montaje.

Tabla N° 3.4 Horas de funcionamiento de la planta de tratamiento de aceite

Item	Actividad	Fecha de inicio	Fecha de culminación	Tiempo total
1	Llenado de aceite a la bolsa	24.01.01 15:00 hr.	24.01.01 19:30 hr.	4:30 hr.
2	Vació del Reactor	25.01.01 10:20 hr.	27.01.01 14:00 hr.	51:40 hr.
3	Tratamiento de aceite en la bolsa	25.01.01 12:30 hr.	27.01.01 09:00 hr.	20:30 hr.
4	Llenado de aceite al Reactor	27.01.01 10:40 hr.	27.01.01 14:20 hr.	03:40 hr.
5	Tratamiento de aceite en el Reactor	27.01.01 14:40 hr.	28.01.01 08:55 hr.	18:15 hr.

Se realiza el retoque de pintura de las zonas dañadas durante el montaje. Para esto el Fabricante debe haber considerado dentro del suministro un galón de la pintura original del reactor.

Se verifican las conexiones a tierra tanto de la cuba a tierra, como la conexión del neutro a tierra.

Finalmente se instala el desecador de humedad conteniendo silicagel. Ya que por esta tubería se había la conexión provisional para realizar el vacío al reactor, así como también para la conexión con el tanque de nitrógeno.

Posteriormente a la puesta en servicio (48 horas), se debe realizar un análisis Físico – Químico y Cromatográfico de una muestra de aceite del reactor, esto ha de servir para ver el estado del aceite con que se instala el reactor, así como ser el inicio de un monitoreo anual que debe seguirse al aceite dieléctrico del reactor. Así también una inspección con un equipo de termografía de las conexiones en alta tensión realizadas, con el fin de detectar cualquier punto caliente debido a un mal ajuste en las bornas.

Culminado con el montaje se debe realizar una inspección al reactor, para comprobar su estanqueidad en cuanto a fugas por juntas o soldaduras, así como una revisión general de los aprietes de los pernos.

Se hacen las comprobaciones de el conexionado eléctrico de los dispositivos de protección del reactor a su tablero de control y hasta los tableros de la sala de control que sean correctos, verificando la recepción en la sala de control de las señales de alarmas, disparos y medidas de estos dispositivos.

Se realizan la purga de radiadores, bushings, registros y buchholz.

Concluida las actividades de montaje se informó a la Gerencia de Transmisión, a la

Gerencia de Operación del Sistema y al Fabricante, la culminación del montaje y pruebas previas del reactor de 20 MVAR en la subestación Guadalupe y a la vez se solicita su participación, supervisión y conformidad para el Protocolo de Pruebas en Blanco y la Energización e Inicio de la Operación experimental, programada para el 31.01.2001.

Fecha: 30 al 31.01.01

Se efectúa El Protocolo de Pruebas en Blanco (Ver Anexo C), con resultados satisfactorios, los cuales consistieron en:

- Verificación integral del montaje y suministro
- Pruebas de aislamiento y factor de potencia
- Pruebas de rigidez dieléctrica del aceite
- Pruebas de las protecciones propias del reactor
- Pruebas de la protección de sobre corriente, verificación del relé diferencial de barras 220 kV y relé de sobretensión de barras 220 kV.

Culminadas las pruebas en blanco, se realizan el conexionado de las acometidas de alta tensión a los bushing del reactor, quedando el equipo en estado operativo.

A las 14:00 horas del 31.01.01 se energiza el reactor de 20 MVAR en coordinación con el Centro de Control de ETECEN, iniciándose el periodo de operación experimental, que tendrá una duración de 30 días calendario. Como registro se levanta el acta de Energización e inicio de la Operación Experimental entre ETECEN y el Fabricante. (Ver Anexo C).

Con la culminación de este proyecto queda reestablecida la compensación reactiva en la subestación Guadalupe, lo cual va permitir tener un mejor control de tensiones en barra en la zona norte del país.

3.4 Pruebas

3.4.1 Pruebas del Equipo

a. Verificación integral del montaje y suministro

Inspección externa del reactor y de sus accesorios instalados, para lo cual se llena el formato de control Final del Equipo.

b. Pruebas de las Protecciones Propias del Reactor

b.1 Relé Buchholz

Se realiza, simulando el efecto que produce el desplazamiento del aceite por medio del ingreso de aire; para esto, se cierran las válvulas de entrada y salida al relé, procediéndose a sacar el aceite (retenido en él), por un orificio de descarga ubicado en la

parte inferior, a la vez que, por la válvula de purga, ingresa aire al compartimiento; originando con ello, primero el cierre del contacto de alarma y posteriormente el cierre del contacto de desconexión.

Esta prueba también se puede efectuar por medio del pulsador de disparo manual, que al ser presionado gradualmente hará actuar a los contactos de alarma y desconexión respectivamente.

En ambos casos las señales serán recepcionadas en el tablero de protecciones ubicado en la sala de control de la subestación.

b.2 Temperatura del aceite

El Indicador de la temperatura del aceite es de tipo a distancia de dos contactos normalmente abiertos, uno para alarma y el otro para desconexión.

El contacto de alarma actúa cuando se alcanza la temperatura programada de 65 °C, mientras que el contacto de desconexión lo hace cuando se alcanza la temperatura programada de 105 °C.

Para realizar esta prueba tenemos que alcanzar las temperaturas programadas, y lo hacemos, introduciendo el tubo capilar o elemento sensor del termómetro en un recipiente lleno de aceite que se va calentando lentamente por medio de resistencias eléctricas.

Apenas el termómetro detecte la temperatura programada, dará la señal correspondiente (alarma o desconexión) al tablero de protecciones de la sala de control.

b.3 Temperatura del arrollamiento

El indicador de la temperatura de los arrollamientos o relé de imagen térmica es del tipo a distancia de tres contactos normalmente abiertos y que tienen cada uno de ellos doble regulación de temperatura.

El contacto de alarma es accionado cuando la temperatura alcanza los 65 °C y el contacto de desconexión es accionado cuando la temperatura alcanza los 105 °C.

Independientemente de la regulación o ajuste de los contactos es necesario regular la resistencia de calefacción del relé de imagen térmica; resistencia que al ser recorrida por una corriente proporcional a la corriente de carga, calienta y produce una temperatura proporcional a la diferencia entre la temperatura del arrollamiento y la temperatura del aceite en su punto más caliente.

Esta resistencia de calefacción trabaja en shunt con una resistencia de ajuste con la que se controla la circulación de corriente a un valor determinado.

Luego de regulada la resistencia de ajuste se procede a obtener las temperaturas

programadas para que actúen los diferentes contactos del indicador de temperatura del arrollamiento; siguiendo para el efecto el mismo procedimiento de prueba que para el indicador de temperatura del aceite.

b.4 Válvula de sobrepresión

Simulamos su operación accionando manualmente el switch de apertura y cierre (rearme de disparo); permitiendo así el cierre del contacto normalmente abierto, que da la señal de alarma o desconexión en el tablero de protecciones.

b.5 Indicador del nivel de aceite

Para la prueba se sigue el siguiente procedimiento:

- Control del nivel máximo.

Se efectúa el llenado del aceite dieléctrico en el conservador hasta que el contacto de máxima actúe dando la señal de alarma o desconexión en el tablero de protección.

- Control del nivel mínimo.

Se hace descender el nivel de aceite dieléctrico del conservador hasta que el contacto de mínima actúe (cerrando), dando la señal de desconexión en el tablero de protección.

3.4.2 Pruebas del Aislamiento

La evaluación de la condición de los aislamientos del transformador, que como hemos visto se degradan en servicio, se realiza con el auxilio de pruebas; algunas de estas pruebas pueden ser realizadas en el lugar de la instalación de los transformadores y son llamadas Pruebas de Campo; en tanto que otras necesariamente tienen que realizarse en laboratorio y son llamadas Pruebas de Laboratorio.

a. Pruebas de Campo

Las pruebas de campo a su vez pueden ser realizadas utilizando corriente continua y corriente alterna.

En lo que sigue describiremos las pruebas más difundidas que actualmente se vienen realizando en los transformadores.

a.1 Medida de la Resistencia de Aislamiento con Tensión Constante (Megger)

Cuando se aplica una tensión continua entre el bobinado de un transformador y el otro bobinado y la cuba; se instala una corriente eléctrica de características transitorias. Esta corriente esta conformada fundamentalmente por tres componentes a saber:

La corriente capacitiva de carga del capacitor que conforman los conductores, los aislamientos y el tanque del transformador. Esta corriente esta expresada por la conocida

ecuación.

$$I_c = \frac{U e^{\left(\frac{-t}{RcC}\right)}}{Rc} \quad (3.1)$$

En donde:

I_c = Corriente capacitiva

U = Tensión aplicada en Voltios

R_c = Resistencia del circuito, incluyendo la resistencia interna de la fuente de alimentación en Ohms.

C = La capacidad del arrollamiento en prueba en Faradios.

t = Es el tiempo en segundos.

e = Base de los logaritmos neperianos

En la práctica la constante RC es normalmente muy pequeña de modo que la corriente I_c decrece rápidamente a cero.

La Corriente de Absorción que es atribuida principalmente al fenómeno de polarización en las interfases de los dieléctricos heterogéneos que conforman el sistema de aislamiento.

La corriente de absorción puede ser expresada por la formula:

$$I_a = UCDt^{-n} = At^{-n} \quad (3.2)$$

En donde:

n : es una constante cuyo valor varía entre 0 y 1, que define la tasa de absorción del dieléctrico y sus impurezas para cada caso en particular.

La Corriente de Conducción; es la verdadera corriente de fuga que define la resistencia de aislamiento del dieléctrico. Esta compuesta a su vez por:

1. Una componente superficial que fluye por la superficie del dieléctrico.
2. Una componente volumétrica que fluye a través del espesor del aislante.

$$I_i = \frac{U}{R_i} \quad (3.3)$$

En donde

I_i = Corriente de conducción en μ Amps.

U = Tensión aplicada en Voltios.

R_i = Resistencia óhmica de aislamiento en $M\Omega$.

Factores que Influencian la Resistencia de Aislamiento:

- El Estado de la Superficie

Materiales conductores extraños tales como el polvillo de carbón, residuos de grasa y/o aceite, polvo humedecido etc. depositado sobre la superficie de los aislamientos y las superficies no aisladas, como los aisladores, tapa; reducen la Resistencia de Aislamiento superficial. Por esta razón el dieléctrico debe estar perfectamente limpio, antes de la realización de las pruebas.

- La Humedad Superficial

Independientemente de la limpieza, cuando el dieléctrico alcanza una temperatura inferior a la temperatura de rocío, se formará una película de humedad condensada sobre la superficie; esta será absorbida por los materiales aislantes debido a la naturaleza higroscópica de los mismos, Por tanto la resistencia de aislamiento se perjudicará por esto.

- Influencia de la Temperatura

La resistencia de aislamiento varía sensiblemente con la temperatura (Ver Fig. 3.7). Por lo tanto para poder comparar los valores a lo largo del tiempo de vida de los equipos es necesario que las medidas se corrijan para una misma temperatura.

- El Nivel de la Tensión Aplicación

La resistencia de aislamiento de un dieléctrico en buenas condiciones no varía con el nivel de tensión aplicada.

Procedimiento y Evaluación del Resultado de la Prueba:

La medida de la resistencia de aislamiento con Megger (Tensión constante) consiste en aplicar al aislamiento una tensión continua constante de valor adecuado y realizar las lecturas a los 15, 30, 45, 60 seg. Y así enseguida hasta llegar a los 10 minutos.

Con los resultados obtenidos se traza una curva en papel logarítmico (Ver Fig. 3.8), la forma de la curva estará determinada por las condiciones del aislamiento (Absorción dieléctrica).

Un aislamiento en buenas condiciones dará valores que aumentan progresivamente, en tanto que un aislamiento en condiciones no satisfactorias dará valores que varían muy poco.

El Índice de Polarización (IP) es el cociente entre la resistencia de aislamiento en $M\Omega$ a los 10 minutos y la resistencia de aislamiento en $M\Omega$ al minuto.

$$Ip = \frac{R_{10}'}{R_1'} \quad (3.4)$$

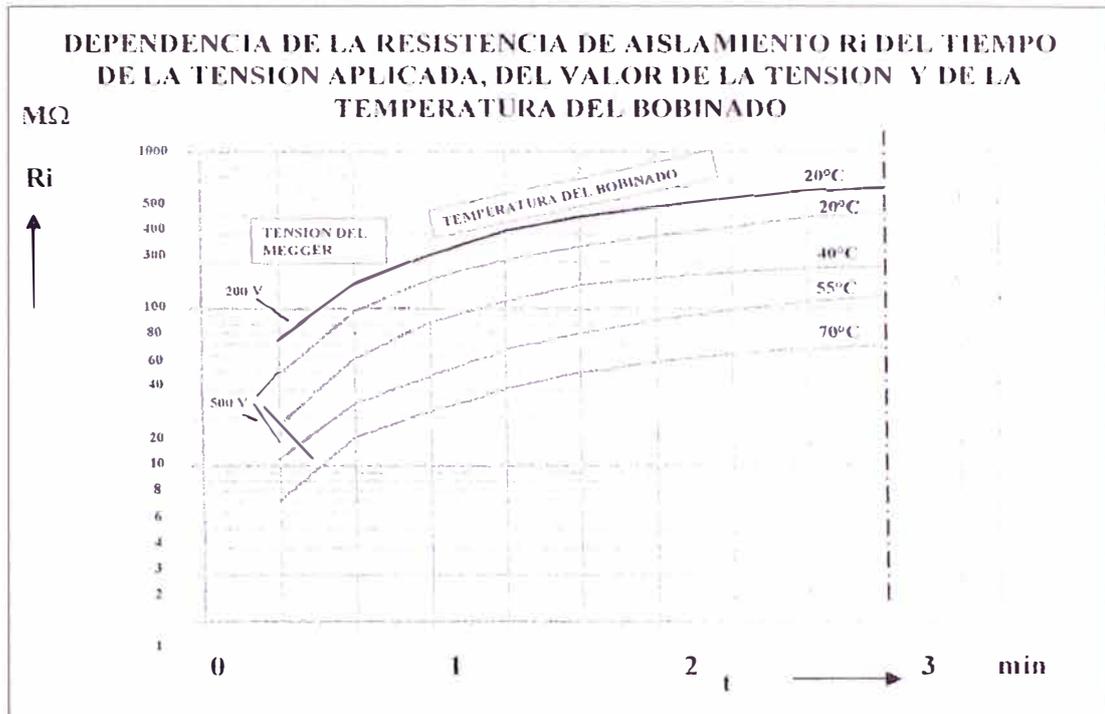


Fig. 3.7 Variación de la resistencia de aislamiento con la temperatura

Estos valores de la resistencia de aislamiento deben ser corregidos a la temperatura de referencia ($75\text{ }^{\circ}\text{C}$) aplicando la siguiente fórmula:

$$R_{75} = \frac{R_t}{2^a} \quad (3.5)$$

Con:

$$a = \frac{75 - t}{10} \quad (3.6)$$

En donde:

R_{75} = Resistencia de aislamiento en $M\Omega$ a $75\text{ }^{\circ}\text{C}$.

R_t = Resistencia de aislamiento en $M\Omega$ medida a la temperatura t .

A = Coeficiente en función de la temperatura.

El Índice de Absorción se define como:

$$I_a = \frac{R_{60}''}{R_{30}''} \quad (3.7)$$

En donde:

I_a = Índice de absorción

R_{60}'' = Resistencia de aislamiento en $M\Omega$ medida a los 60 seg.

R_{30}'' = Resistencia de aislamiento en $M\Omega$ medida a los 30 seg. y corregida a $75\text{ }^{\circ}\text{C}$.

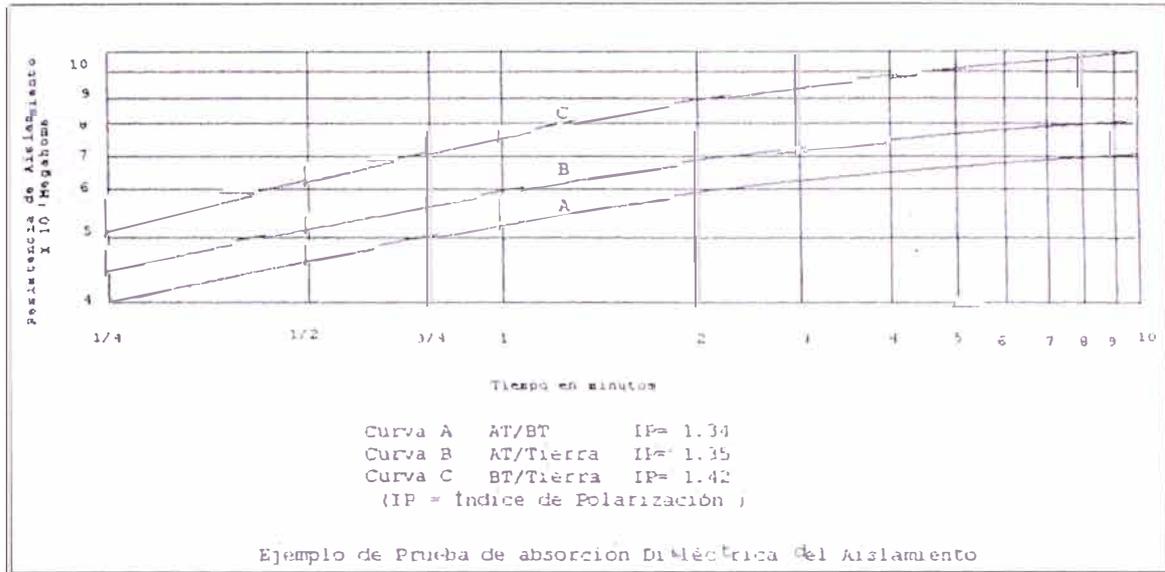


Fig. 3.8 Prueba de absorción dieléctrica del aislamiento

Interpretación de los Resultados:

El criterio más eficaz para la interpretación de los resultados de la medida de la resistencia de aislamiento, es comparar los valores obtenidos con las mediciones anteriores y eventualmente con los del Protocolo de Fábrica. Si no existieran estos antecedentes se puede compararlo con los valores obtenidos para unidades iguales o similares.

Es muy importante que el instrumento a ser utilizado para estas mediciones esté calibrado.

Evaluación de las condiciones de un aislamiento a través del índice de absorción y del índice de polarización. (Ver Tabla N° 3.5)

Tabla N° 3.5 Evaluación de las condiciones del aislamiento

Condición del Aislamiento	Ia	Ip
Defectuoso	---	< 1
Dudoso	1.1 - 1.25	1.5 - 2
Bueno	1.25 - 1.60	2 - 4
Excelente	> 1.6	> 4

Prueba de la resistencia de aislamiento con tensión variable.

Se aplican dos niveles de tensión cuya relación es de 1 a 5 (500 y 2500 Vdc) durante 1 minuto cada vez.

Si el valor de la resistencia de aislamiento disminuye en 25% con la tensión mayor entonces es probable que el aislamiento este húmedo o contaminado. Cuando el aislamiento esta seco y limpio la resistencia de aislamiento no varía con la tensión.

a.2 Prueba de aislamiento con un Potencial Elevado (HIPOT)

Consiste en aplicar una tensión continua que varía de cero hasta un valor máximo.

El valor máximo a aplicar se puede calcular (A falta de información del Fabricante) con el auxilio de la siguiente formula:

$$U_M = (2 * U_N + 1000) * 1.6 * 0.65 \quad (3.8)$$

U_M : Tensión máxima en VDC

U_N : Tensión nominal en Volts del transformador para el arrollamiento considerado.

Se aplica la tensión continua gradualmente y se traza la curva Tensión vs. Corriente de Dispersión. (Ver Fig. 3.9)

Si la curva conserva su característica lineal hasta alcanzar la Tensión Máxima el aislamiento esta en buenas condiciones; caso contrario tiene problemas.

Este ensayo puede revelar la presencia de una falla incipiente.

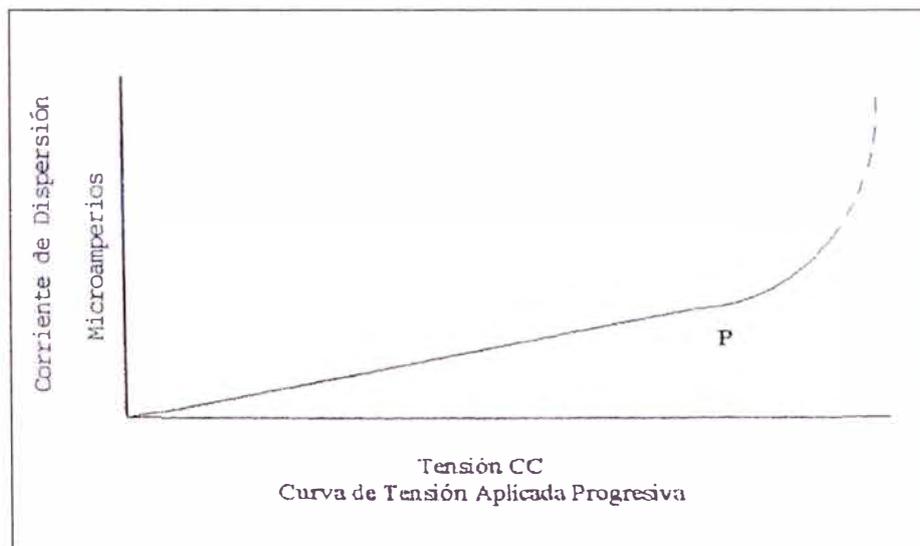


Fig. 3.9 Curva tensión vs. corriente de dispersión

a.3 Medida de la Resistencia Joule de los Devanados

Se puede medir por el método Volt-Amperimétrico (Ver Fig. 3.10) o utilizando un puente Adhoc.

Para Resistencias $\geq 1 \Omega$ se utiliza el puente de Wheatstone y para Resistencias $< 1 \Omega$ se utiliza el puente de Kelvin.

Su valor depende de la Temperatura.

El valor medido se compara con el del Protocolo de Pruebas de Fábrica y eventuales variaciones pueden deberse a cortocircuito entre espiras, conexiones y contactos en malas condiciones, circuitos abiertos, etc.

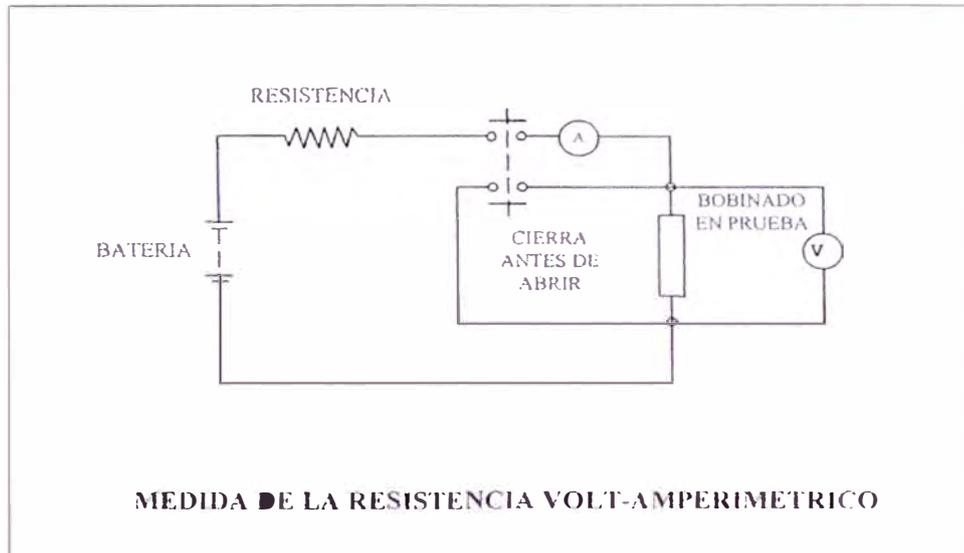


Fig. 3.10 Medida de la resistencia volt-amperimétrica

Su valor depende de la temperatura y para efectos de comparación debe ser corregida aplicando la siguiente fórmula:

$$R_2 = R_1 \frac{(T + t_2)}{(T + t_1)} \quad (3.9)$$

En donde:

R_2 = Resistencia corregida a la Temperatura t_2 en Ohms

R_1 = Resistencia medida a la Temperatura t_1 en Ohms

t_2 = Temperatura de referencia en °C

t_1 = Temperatura en el momento de la medición en °C.

T = Constante que depende del material conductor 234.5 para el cobre y 225 para el Aluminio.

a.4 Comprobación de la Polaridad de los Devanados con Corriente Continua

Para poder realizar esta prueba se debe hacer el montaje que se muestra la Fig. 3.11. Como se observa en la figura se conecta una fuente de corriente mediante un interruptor en el lado de alta del transformador y también se han conectado un voltímetro entre los bornes de alta y baja del transformador.

Si al excitar el transformador por el lado de alta por un corto tiempo, entonces en los voltímetros indica una misma polaridad entonces la polaridad del transformador es aditiva. Si por el contrario los voltímetros registran distinta polaridad el transformador tiene polaridad sustractiva.

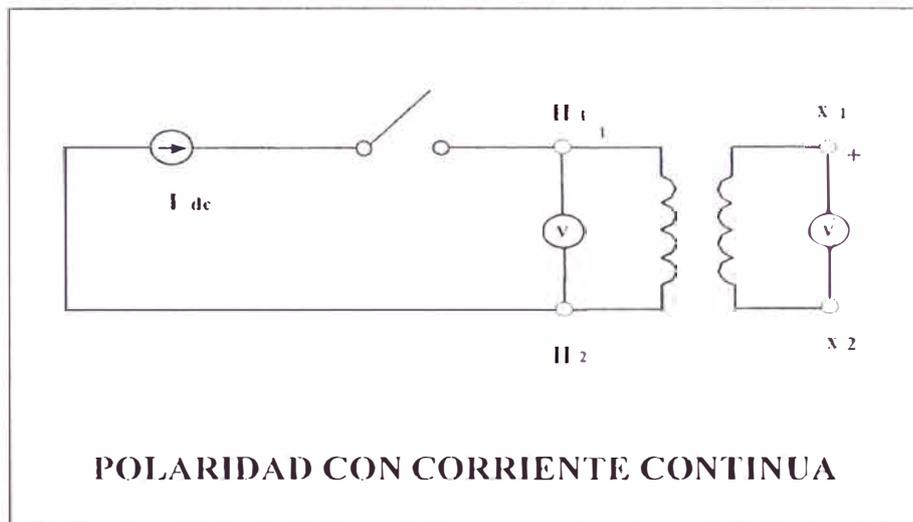


Fig. 3.11 Polaridad con corriente continúa

a.5 Comprobación de la Polaridad de los Devanados con Corriente Alterna

Para lo cual se debe realizar el montaje que muestra la Fig. 3.12. En este caso y tal como se observa en la figura se han unido (puenteado) los bornes homólogos de alta y baja tensión del transformador y se ha conectado un voltímetro entre los otros bornes homólogos del transformador.

Si al excitar el transformador por el lado de alta con una tensión no mayor a 440 voltios o a la tensión nominal del transformador (caso de transformadores de baja tensión) el voltímetro indica una tensión mayor que la de alimentación la polaridad del transformador es aditiva. Si por el contrario la tensión es menor que la tensión de alimentación el transformador tiene polaridad sustractiva.

El error de relación no debe superar cualquiera de estos dos valores: $\pm 0.5\%$ ó $1/10$ de la tensión en cortocircuito.

a.6 Factor de Potencia y Medida de las Capacitancias

Un transformador puede ser considerado como un capacitor pues ambas contienen un dieléctrico (aislamientos) entre dos electrodos (conductores).

La capacitancia depende de las características del dieléctrico y de la configuración física de los electrodos.

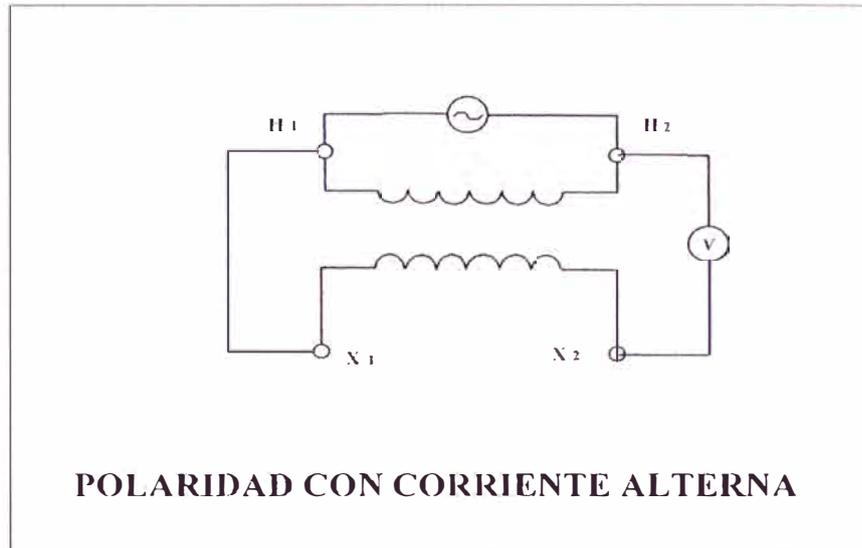


Fig. 3.12 Polaridad con corriente alterna

Se infiere entonces que si las características del dieléctrico o las configuraciones del conductor cambian la capacitancia puede cambiar. Estos cambios se pueden dar por deterioro de los aislamientos, contaminación y daño físico.

Las pérdidas dieléctricas en un sistema de aislamiento se miden como la potencia disipada por el aislamiento cuando se le aplica una tensión alterna.

Aislamientos en buen estado tienen muy bajas pérdidas.

Aislamientos envejecidos o con problemas tienen altas pérdidas.

La humedad y los agentes químicos pueden conducir al aumento de las pérdidas por encima de lo normal.

Daños físicos causados por esfuerzos dieléctricos o esfuerzos electrodinámicos pueden aumentar el nivel de pérdidas.

El factor de pérdidas expresado en % da una indicación del estado del aislamiento y es medido en términos de Factor de Disipación ($\text{tg}\delta$) o Factor de Potencia.

Cuando una tensión alterna es aplicada a un aislamiento se instala una corriente que tiene dos componentes una resistiva y la otra capacitiva (Ver Fig. 3.13). Esta prueba es muy útil por lo siguiente:

- Pruebas iniciales a un equipo nuevo, pueden determinar la presencia de defectos de manufactura, o daños en el transporte y también pueden servir como valores de referencia para futura comparación.
- Pruebas periódicas durante el funcionamiento del equipo pueden indicar si los aislamientos se están envejeciendo normalmente o si por el contrario está ocurriendo un

rápido deterioro.

- Pruebas de diagnóstico en equipos con problemas o con falla pueden revelar el lugar de la falla y el motivo de esta.

Se mide con un Puente tal como por ejemplo el Puente de Schering (Ver Fig. 3.14).

La tensión de prueba puede variar entre 100 Voltios y 12000 Voltios.

Es importante registrar las condiciones del medio ambiente al momento de la prueba con el objeto de comparar los resultados.

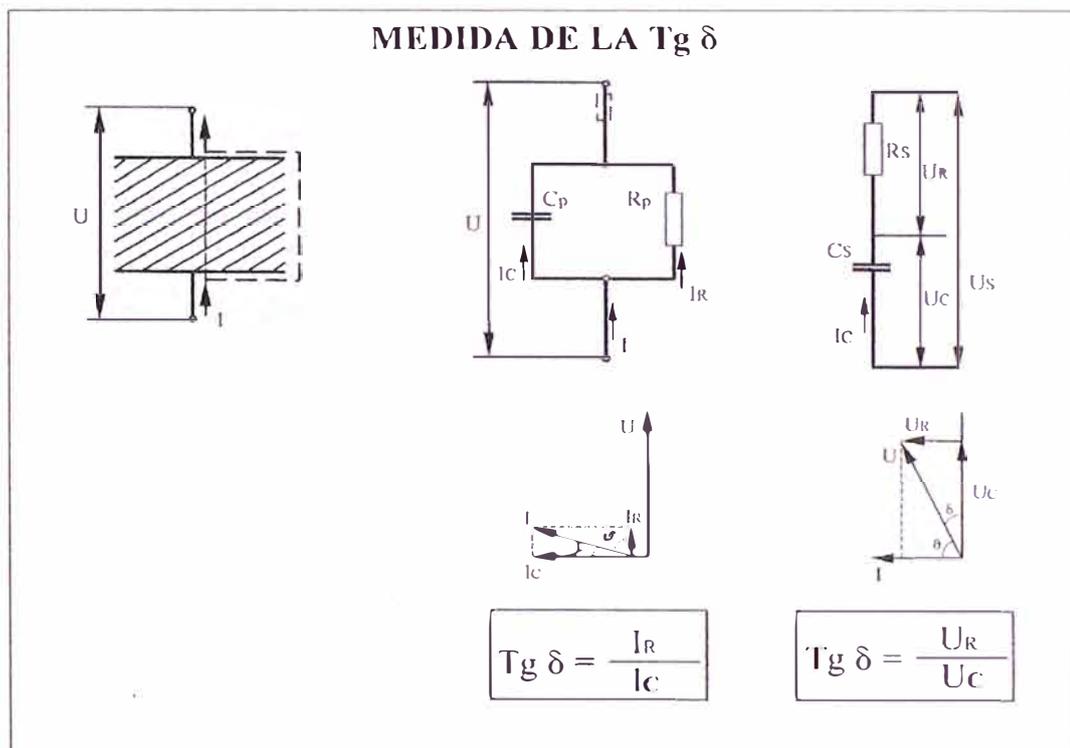


Fig. 3.13 Medición de la tangente δ

Esta prueba depende de la Temperatura ambiente y se utiliza cómo temperatura de referencia 20 °C.

En razón que una de las principales razones de esta prueba es detectar el grado de humedad residual en los aislamientos y las características eléctricas del agua y del hielo son muy diferentes; se debe evitar realizar esta prueba en lugares donde la temperatura descende por debajo de cero; pues la medición puede ser significativamente afectada.

La humedad relativa también afecta la medición, pues una pequeña cantidad de vapor de agua sobre la superficie externa de un aislamiento puede incrementar la corriente de dispersión y con esto aumenta las pérdidas dieléctricas ($Tg\delta$).

La prueba se realiza según se detalla en la Fig. 3.15.

La interpretación de los resultados se realiza con la ayuda de las pruebas realizadas en fábrica o las pruebas anteriores.

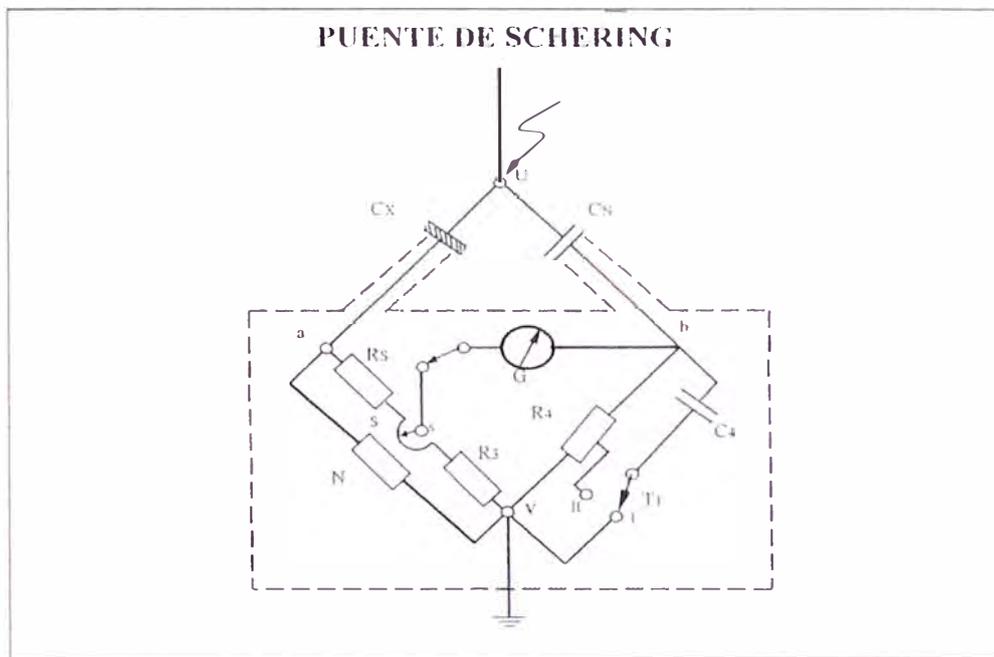


Fig. 3.14 Puente de Shering

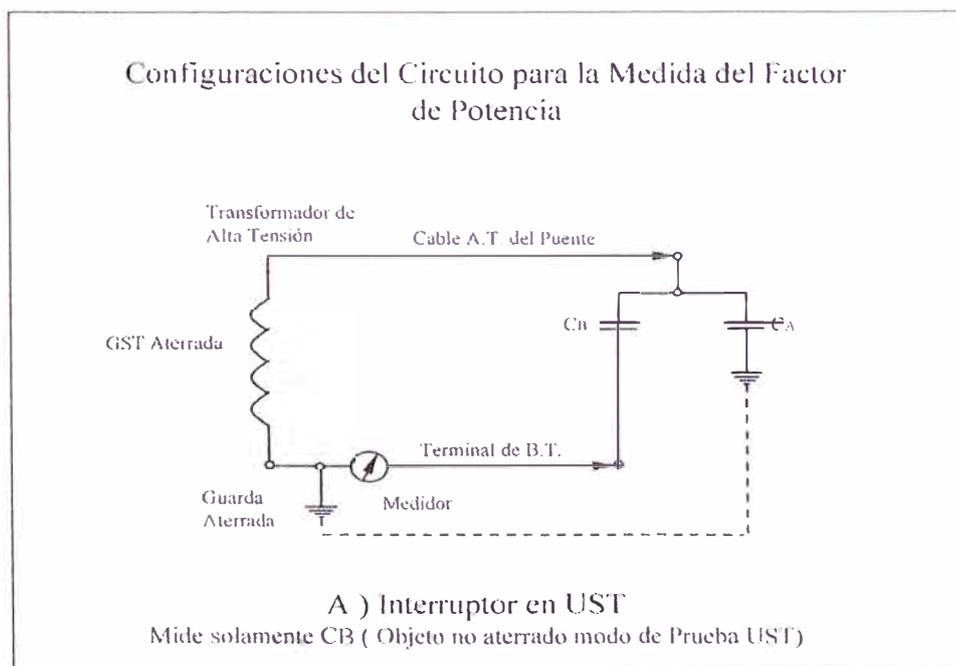


Fig. 3.15^a Configuración del circuito para la medida del factor de potencia

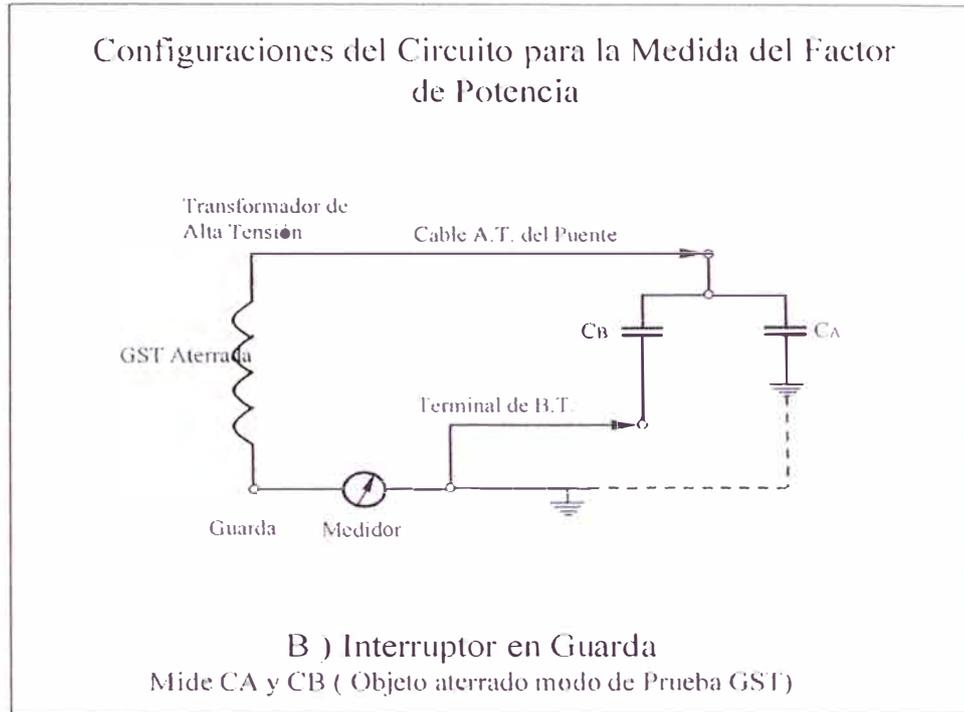


Fig. 3.15b Configuración del circuito para la medida del factor de potencia

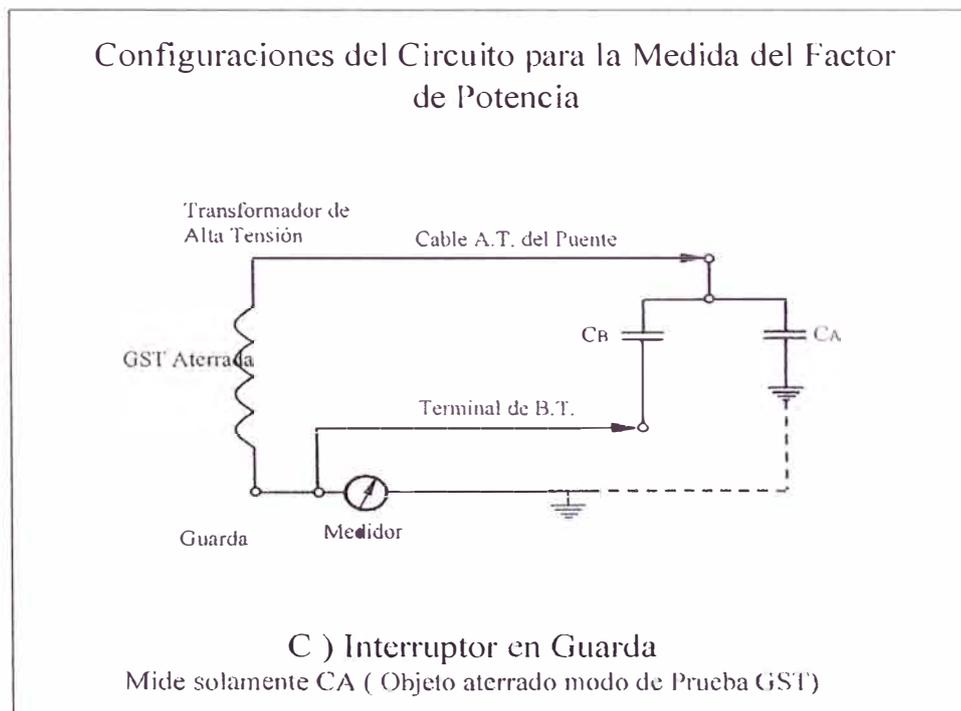


Fig. 3.15c Configuración del circuito para la medida del factor de potencia

En el caso de Transformadores nuevos se recomienda un $PF \leq 0.5 \%$ a $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Cuando el Factor de Potencia PF es $> 1 \%$ se debe investigar el origen de este sensiblemente alto valor.

a.7 Distribución de Flujos

Prueba muy útil que se basa en el principio que los flujos en un núcleo trifásico se reparten en función de la reluctancia de sus respectivos circuitos magnéticos a menos que exista un cortocircuito entre espiras o entre capas de los bobinados que modifique este equilibrio (Ver Fig. 3.16)

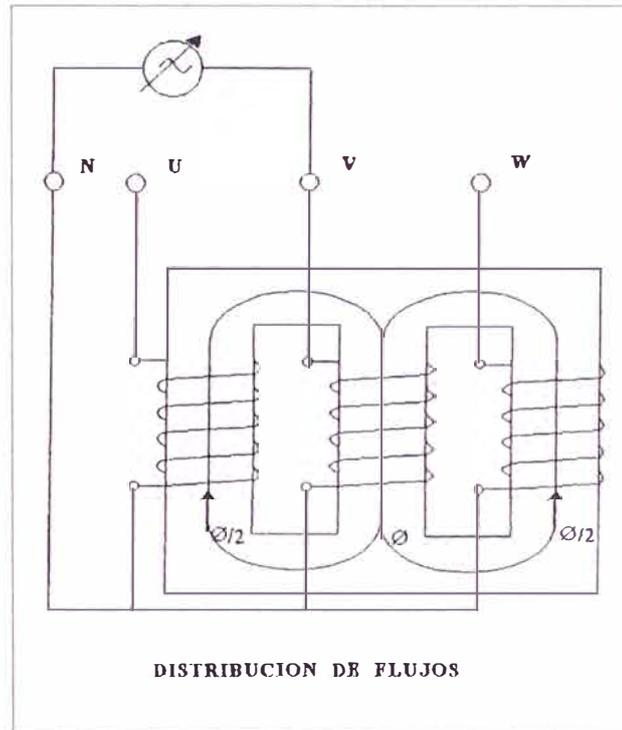


Fig. 3.16 Distribución de flujos

a.8 Medida de la Corriente de Excitación

La medición de la corriente de excitación es una prueba muy útil para localizar los problemas en el núcleo magnético, desplazamiento de los bobinados, falla del aislamiento entre espiras o problemas en el conmutador de tomas (si este existe). Estos problemas dan lugar a una modificación de la reluctancia del circuito magnético y por tanto a una modificación de la corriente de excitación.

Se mide en forma monofásica excitando por el lado de AT con la mayor tensión posible pero sin que esta exceda la tensión nominal.

Los Conmutadores (si existen) deben ser colocados en las posiciones extremas. Los resultados obtenidos se deben comparar con los de las pruebas anteriores o con los obtenidos en unidades similares.

Debe tenerse presente que el magnetismo residual (remanente) del núcleo puede dar

lugar a un aumento de la corriente de excitación y si este es el caso, entonces el núcleo deberá ser desmagnetizado.

a.9 Las Descargas Parciales

Se define una "Descarga Parcial" como la descarga que produce un cortocircuito parcial en el seno de un dieléctrico. (Ver Fig. 3.17)

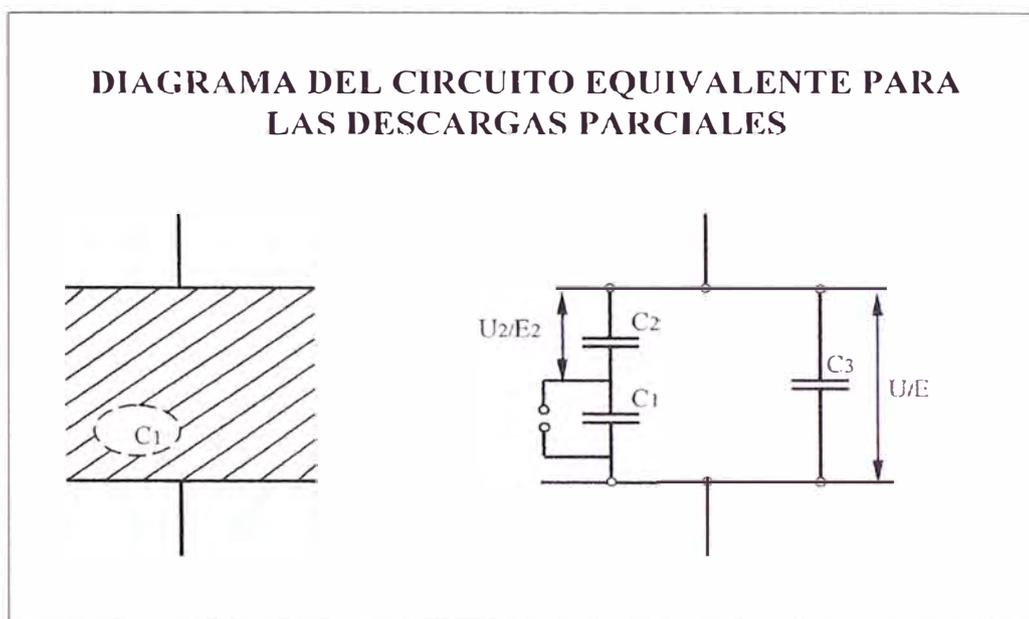


Fig. 3.17 Diagrama del circuito equivalente para descargas parciales

Generalmente se producen por lo siguiente:

- El dieléctrico es homogéneo pero la sollicitación dieléctrica alcanzó un valor inadmisibles en un punto particular (descarga parcial intrínseca).
- El dieléctrico no es homogéneo contiene (gas, aire, sustancias sólidas, etc.)

En el transformador la inhomogeneidad del aislamiento puede deberse a la presencia de gas, aire, agua y productos derivados de una mala calidad del aceite y esto se puede deber a un insuficiente secado de la parte activa, la impregnación con un aceite de baja calidad y no desgasificado o al envejecimiento del aceite en servicio debido al fenómeno de la oxidación.

La fuente de la descarga al interior del transformador produce una variación local de tensión que se propaga hacia los bornes. Aquí se mide la variación aparente de la tensión o la carga aparente transportada durante la descarga en Picocoulombs. (Ver Fig. 3.18)

Existen varios métodos para la medida de las descargas parciales que el interesado

puede encontrar en la literatura técnica sobre este tema.

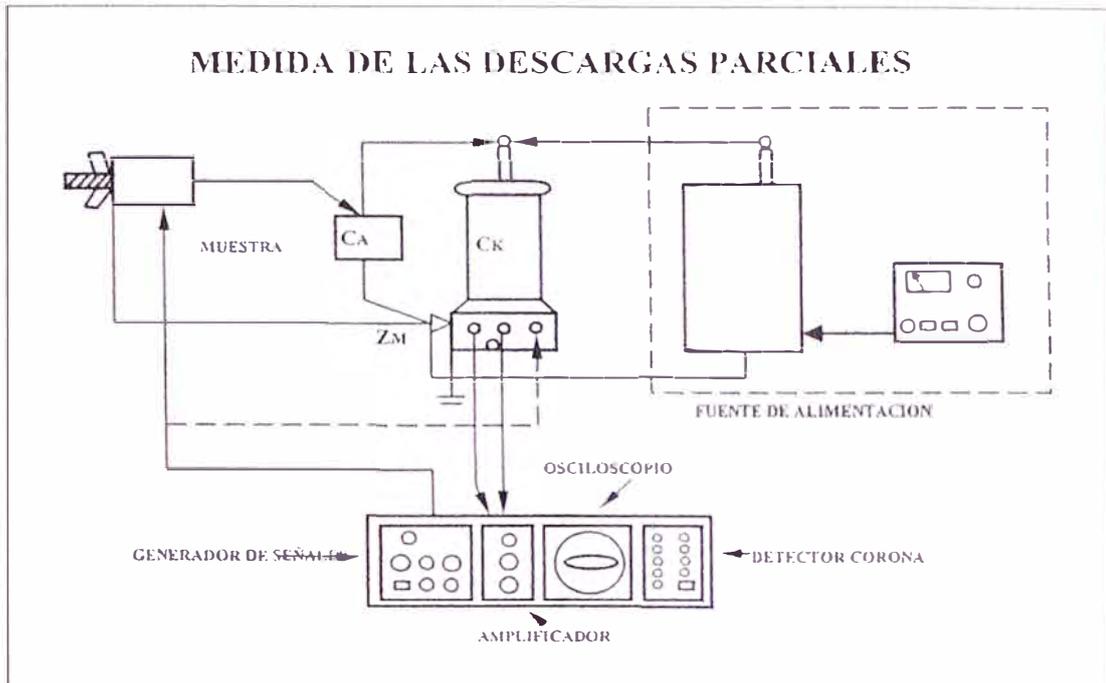


Fig. 3.18 Medida de las descargas parciales

Las descargas parciales pueden destruir lentamente el dieléctrico por uno de los mecanismos siguientes:

- Carbonización (los dieléctricos orgánicos van siendo quemados por las Descargas).
- Ataque Químico (Producción de NO y NO₂ y eventualmente N₂O₃)
- Erosión (bombardeo de electrones o iones)
- El Gas producido puede localizarse en áreas de esfuerzo dieléctrico alto y causar falla.

Las descargas parciales (PDs) generan pulsos de corriente de baja amplitud y de corta duración.

Para medir y detectar estas señales se utilizan dos técnicas: Una consiste en medir con un medidor de radio interferencia los niveles de microvolts y son referidas como señales de voltajes de radio interferencia (RIV) signals.

El otro método mide las señales en Picocoulombios con un detector de Descargas Parciales (PD Detector).

El resultado de la medida de las descargas parciales puede considerarse satisfactorio si:

- La magnitud del nivel de las descargas parciales no excede de 100 μ V.
- El incremento del nivel de las descargas parciales durante 1 hr no exceda los 30 μ V.

- El nivel de las descargas parciales durante una hora no muestra ninguna tendencia firme a aumentar y no se presenta ningún incremento repentino y sostenido en el nivel de descargas parciales durante los últimos 20 minutos de la prueba.

b. Pruebas de Laboratorio

La degradación del Aceite, del Papel y del Pressboard del sistema de aislamiento de los Transformadores en servicio se mide a través de la variación de sus características con el auxilio de Ensayos Eléctricos y del Análisis Físico - Químico y Cromatográfico de las muestras de aceite extraídas con este propósito.

b.1 Análisis Físico Químico

Las características más relevantes que se examinan en el análisis Físico – Químico son:

- Número de Neutralización o Índice de Acidez (ASTM-D-974)

Indica el total de compuestos ácidos presentes en el aceite. Los ácidos ejercen una acción catalizadora y aceleran el deterioro del aceite.

Un número de neutralización o índice de acidez alto es un indicativo que el inhibidor existente en el aceite se está agotando rápidamente afectando al aislamiento sólido (Papel).

Valor crítico: 0,25 mg.KOH/gr.aceite

Cuando se supera este valor el número de neutralización crece exponencialmente tornandose necesaria la regeneración o el reemplazo del aceite.

Cuando el aceite es nuevo y esta en buenas condiciones el índice de acidez es menor a 0,03 mg.KOH/gr.aceite; el valor máximo en servicio es 0,5 mg.KOH/gr.aceite

- La Tensión Interfacial (ASTM D-971)

Se define como la fuerza requerida para que un anillo plano de platino rompa la interfase formada entre el agua y el aceite.

Un aceite nuevo tiene una tensión interfacial mayor a 40 dinas/cm a 25 °C.

Contaminantes, especialmente sustancias polares tales como los producidos por la oxidación del aceite, reducen la tensión interfacial. Cuando este valor desciende por debajo de las 20 dinas/cm; el aceite se encuentra en una fase crítica siendo necesario su regeneración o reemplazo.

- El Color (ASTM D-1500)

EL color del aceite depende de la serie (Parafínica, Naftánica o Aromática) que constituye su base.

Si bien el color del aceite no es un índice de su calidad aislante o refrigerante, puede ser utilizado como una guía para detectar envejecimiento o la presencia de impurezas en el aceite.

Los aceites nuevos tienen un color máximo de 0,5 mientras que el límite para los aceites usados se considera como 2,7.

- Contenido de Agua (ASTM D-1533)

Es un hecho conocido que las características eléctricas del aceite son fuertemente influenciadas por el contenido de agua en el seno de este. Un alto contenido de agua en el aceite puede reducir su rigidez dieléctrica al punto de volverlo inutilizable.

Será también indicativo de la humedad existente en los aislamientos sólidos del transformador.

En un aceite nuevo el contenido de agua no debe ser mayor a 25 ppm para tensiones de servicio ≤ 36 KV.

En aceites en servicio un contenido de agua por encima de 35 ppm no debe admitirse para tensiones de servicio ≤ 36 KV.

- La Gravedad Específica o Densidad Relativa (ASTM D-1298)

Se define como la relación entre los pesos de volúmenes iguales de agua y aceite. Es directamente proporcional a la densidad y a la viscosidad y por tanto influye directamente en la capacidad de refrigeración del aceite pues cuanto más denso es el aceite, más difícil se torna la evacuación del calor; varía con la presencia de contaminantes.

Un aceite nuevo tiene una gravedad específica de 0.865 y un aceite envejecido puede llegar a tener 0,91 de gravedad específica

- El Aspecto (ASTM D-1524)

Un aceite nuevo y en buenas condiciones tiene un aspecto limpio y transparente. Un aceite con agua o contaminantes en suspensión presenta un aspecto turbio.

- Sedimentos (ASTM D-1698)

La presencia de sedimentos indica una etapa de degradación avanzada del aceite o la presencia de contaminantes en este. Esto como se sabe disminuye la capacidad aislante del aceite.

- Azufre Corrosivo (ASTM D-1275)

Con esta prueba se determina la presencia de los compuestos corrosivos en el aceite. Ciertos derivados de azufre en el aceite, son fuente de corrosión, pues el azufre es corrosivo frente al cobre.

Los componentes activos de azufre reaccionan con el cobre formando compuestos órgano-metálicos de gran polaridad tornando al aceite más conductor.

Por esta razón se exige siempre en las especificaciones que el aceite no contenga compuestos de Azufre que sean corrosivos.

- Estabilidad a la Oxidación (ASTM D-2440)

En esta prueba se propicia un envejecimiento artificial del aceite, evaluando su tendencia a la formación de ácidos y a la deposición de lodos.

En el proceso de oxidación primero aparecen los peróxidos, que luego se transforman en alcoholes, sigue con las cetonas y al final ácidos orgánicos y jabones. Los primeros son solubles en el aceite, pero las sales y jabones (lodos) son en su mayor parte insolubles y se van depositando en la parte activa y el fondo del tanque de los transformadores, cubriendo las bobinas y cerrando o disminuyendo los conductos previstos para la refrigeración de la parte activa del transformador.

- Punto de Fluidez (ASTM D-97)

En la temperatura a la cual un aceite se solidifica y deja de fluir; los aceites parafínicos tienen un punto de fluidez alto, los isoparafínicos medio y los nafténicos y aromáticos bajo.

En países cuya temperatura ambiental no baja de cero un aceite de cualquier base podría usarse.

- La Viscosidad (ASTM-D445)

Es la resistencia que opone un líquido a fluir en forma continua y uniforme. Varía con la temperatura y es el factor principal de la convección del aceite requerida para la refrigeración. Cuanto más viscoso (grueso) es un aceite tanto menor es su capacidad de refrigeración.

Viscosidad cst/SUS a 40 °C 11/62 Max

b.2 Análisis Cromatográfico

El análisis cromatográfico de los gases disueltos en el aceite aislante (ASTM D-3612).

Una de las más importantes herramientas en el mantenimiento predictivo de los transformadores es la determinación (mediante análisis) de la concentración de los gases disueltos en el aceite dieléctrico.

La naturaleza y cantidad de cada uno de los gases extraídos del aceite tiene relación directa con la temperatura la cual a su vez es función de la energía liberada por el tipo de

falla o defecto presentado.

El método de predicción o diagnóstico de fallas mediante el análisis cromatográfico de los gases extraídos del aceite consta de cuatro fases sucesivas perfectamente identificadas y separadas a saber:

- Toma de la muestra de aceite del transformador en funcionamiento.
- Extracción de los gases disueltos en el aceite para su respectivo análisis.
- Análisis de los gases extraídos por medio del cromatógrafo de gases.
- Interpretación de los resultados.

Las primeras tres fases son tratadas por la IEC Pub. 576 y por la ASTM-D3612-77.

Para la interpretación de los resultados, se han desarrollado varios métodos, los cuales vienen perfeccionándose en base al estudio estadístico del funcionamiento de miles de transformadores en servicio. Entre los métodos mas utilizados podemos citar el método de la IEC Pub. 599 y el método de Rogers refrendado por la ANSI/IEEE C57-104-1978.

Tal como se ha indicado líneas arriba existe una estrecha relación entre la energía y la temperatura de la falla producida y el gas desarrollado.

Lo anterior permite establecer una guía de indicadores de degradación de los aislamientos como se ve en el Tabla N° 3.6.

Tabla N° 3.6 Indicadores de degradación de los aislamientos

Indicador	Símbolo	Tipo de Deterioro
Monóxido de Carbono	CO	Envejecimiento del Papel
Dióxido de Carbono	CO2	Corona en el papel
Hidrógeno	H2	Corona en el aceite
Metano	CH4	
Metano	CH4	Descomposición térmica del aceite a temperaturas menores de 250 °C.
Etano	C2H6	
Etileno	C2H4	
Hidrogeno	H2	
Acetileno	C2H2	Arco eléctrico a través del aceite.
Hidrógeno	H2	
Etileno	C2H4	

La interpretación de los resultados puede realizarse de forma cualitativa o cuantitativa siendo esta última mas precisa.

La forma cualitativa considera la presencia o ausencia de ciertos gases "claves" que caracterizan a un evento de falla en particular en las figuras N° 3.19 al 3.22 puede observarse la proporción en que se forman los gases cuando ocurren los siguientes eventos:

- **Fig. 3.19:** Descomposición térmica del aceite (puntos calientes)

Se presenta principalmente el Etileno (C_2H_4), luego el Etano (C_2H_6) y el Metano (CH_4); en menor proporción están el Hidrogeno (H_2) y el Acetileno (C_2H_2)

- **Fig. 3.20:** Descomposición del aceite por arco eléctrico

En este caso el gas preponderante es el Hidrógeno (H_2), pero el gas que caracteriza este fenómeno es el Acetileno (C_2H_2).

- **Fig. 3.21:** Descomposición del aceite por Descargas Parciales

Se produce principalmente el Hidrogeno (H_2) y en pequeñas cantidades el Metano (CH_4) y el Etano (C_2H_6).

- **Fig. 3.22:** Descomposición de la Celulosa

Se caracteriza principalmente por la generación de Monóxido de Carbono (CO) aunque también se produce Dióxido de Carbono (CO_2)

La interpretación cuantitativa puede realizarse a través de alguno de los métodos (Los más utilizados) que describimos a continuación:

- **Método del total de Gases Combustibles**

Si el total de gases combustibles no supera las 500 ppm el transformador no tiene problemas.

Si este total se sitúa entre 500 y 1000 ppm; indica que el envejecimiento del aceite es anormal debido a una posible falla; es necesario repetir los análisis con mayor frecuencia para observar su evolución.

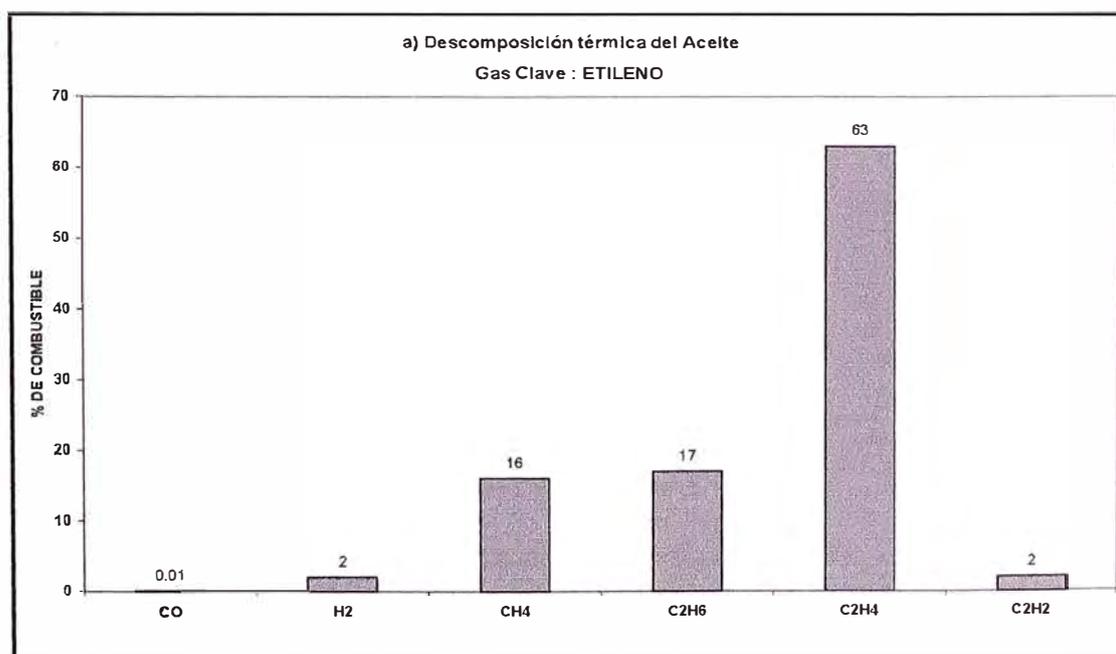


Fig. 3.19 Descomposición térmica del aceite - Etileno

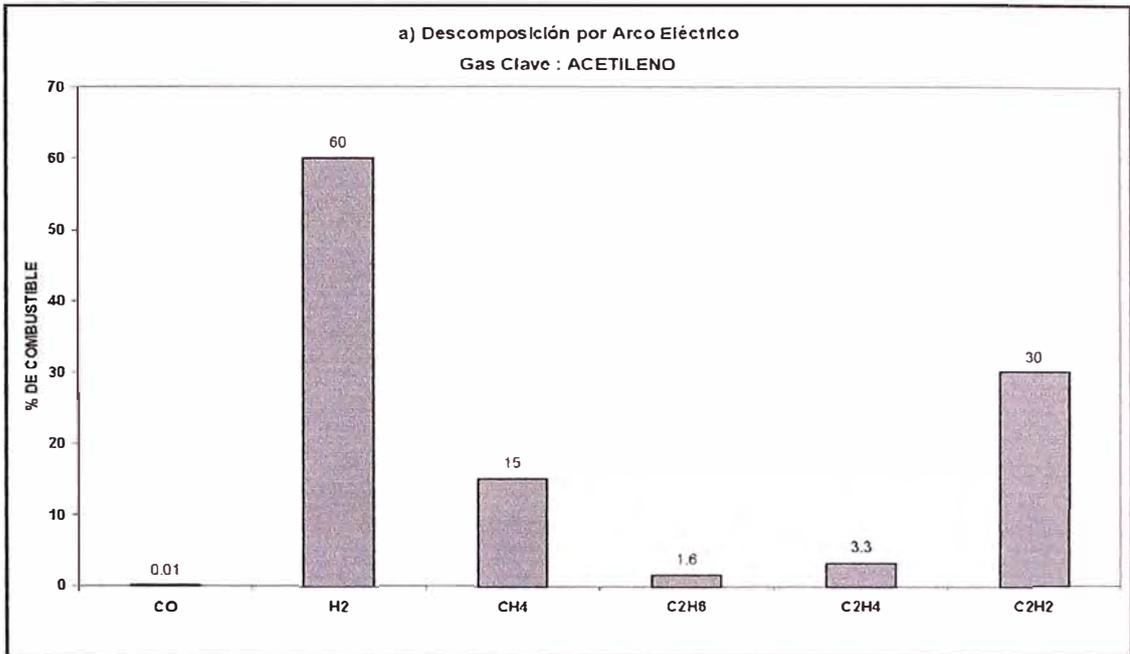


Fig. 3.20 Descomposición por arco eléctrico - Acetileno

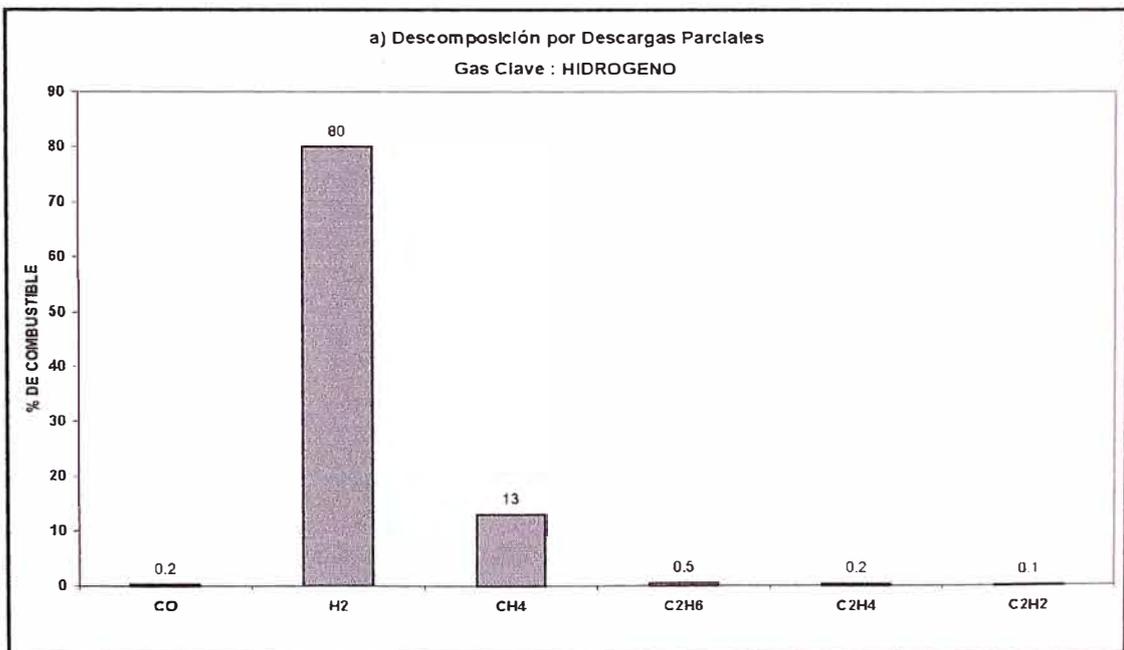


Fig. 3.21 Descomposición por descargas parciales - Hidrógeno

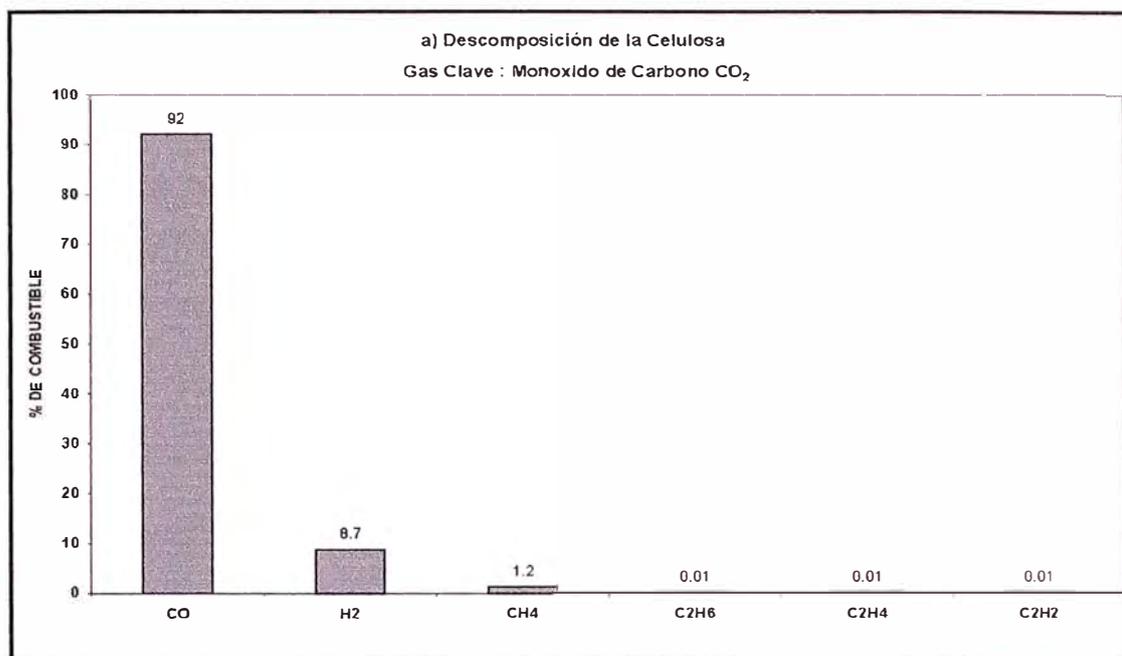


Fig. 3.22 Descomposición de la celulosa – Monóxido de carbono CO₂

Si el total de gases combustibles supera los 1000 ppm, entonces el aceite se está degradando aceleradamente y es necesario aumentar la frecuencia de los análisis para observar si se sigue incrementando la producción de gases, en cuyo caso hay que investigar el origen de esta anomalía, pues el transformador está en peligro de falla inminente.

- Método de la IEC

Este método considera que las concentraciones relativas entre los principales gases disueltos, son más significativas que las concentraciones absolutas de cada gas.

Estas concentraciones son:

$$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}, \frac{CH_4}{H_2}, \frac{C_2H_4}{C_2H_6} \quad (3.10)$$

En el Tabla N° 3.7 se observan los rangos característicos de estas relaciones, las cuales han sido codificadas para cada evento de falla típica.

Como se podrá apreciar en la tabla no se consideran los gases CO y CO₂ que son los principales indicadores de la degradación de la celulosa. Esto se debe a que estos gases pueden estar presentes en el interior de los transformadores por múltiples razones; como un normal envejecimiento, porque no fueron extraídos totalmente del Pressboard de la parte

activa del transformador en el proceso de fabricación, algunas veces por falta de hermeticidad del tanque, etc.

- Método de los Ratios de Rogers

Rogers considera las concentraciones relativas de cinco gases a saber: Hidrógeno (H₂), Metano (CH₄), Etano (C₂H₆), Etileno (C₂H₄) y Acetileno (C₂H₂) siendo las concentraciones relativas más significativas:

$$\frac{CH_4}{H_2}, \frac{C_2H_6}{CH_4}, \frac{C_2H_4}{C_2H_6}, \frac{C_2H_2}{C_2H_4} \quad (3.11)$$

En el Tabla N° 3.8 se muestran los ratios característicos así como las posibles fallas. También este método no toma en consideración los óxidos del carbono; la evolución de la incidencia de la celulosa en las fallas es realizada subjetivamente, considerando el incremento de la concentración de estos gases.

b.3 Componentes Furánicos en el Aceite (ASTM D-5837)

El deterioro del aislamiento sólido (papel y pressboard) de los transformadores; genera componentes furánicos cuyo principal indicador es el Furfural-2.

Altas concentraciones de Furfural-2 son una clara indicación de la degradación de la celulosa, en razón que este es el único material dentro del sistema de aislamientos del transformador, que puede generar este producto.

Las investigaciones realizadas han demostrado que los componentes Furánicos son generados por eventos térmicos más no por descarga eléctrica y por tanto su formación proporciona una información muy útil sobre el tipo de falla que se está incubando en forma incipiente.

La interpretación de los resultados de este análisis requiere experiencia por el hecho que son varios los factores que influyen en su desarrollo (tipo de preservación del aceite, tipo de aislamiento de los bobinados, tipo de transformador, tipo de tratamiento del aceite del transformador).

Según SD MEYERS (Canadá) un nivel de furánicos ≤ 100 ppb es indicativo que la celulosa y el pressboard no se están envejeciendo prematuramente en tanto que un nivel ≥ 250 ppb indicará envejecimiento acelerado.

b.4 El Grado de Polimerización del Papel (DP)

Esta prueba entrega información sobre el grado de envejecimiento del papel y se realiza en muestras de este material.

Tabla N° 3.7 Diagnóstico de Fallas Según IEC Publicación 599

Relación de Gases Característicos		Código Para el Rango de Ratios			
		$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}, \frac{CH_4}{H_2}, \frac{C_2H_4}{C_2H_6}$			
0.1		0	1	0	
0.1 - 1		1	0	0	
1 - 3		1	2	1	
> 3		2	2	2	
Caso N°	Naturaleza de la Falla				Diagnostico
0	Ningún defecto	0	0	0	Envejecimiento natural.
1	Descargas parciales de débil intensidad	0	1	0	Descargas en burbujas de gas por causa de impregnación incompleta sobre saturación o elevado tenor de agua.
2	Descargas parciales de gran intensidad	1	1	0	Como el caso 1 pero con origen de descargas superficiales o perforación del aislante sólido.
3	Descargas de baja energía	1-2	0	1-2	Nacimiento continuo de descargas en el aceite debido a las malas conexiones o a potenciales flotantes. Ruptura dieléctrica del aceite entre los materiales sólidos.
4	Descargas de alta energía	1	0	2	Descargas de Potencia: arcos, ruptura dieléctrica del aceite entre los arrollamientos o entre espiras o entre espiras y masa. Corriente de interrupción en el selector.
5	Defecto térmico a baja temperatura <150 °C(2)	0	0	1	Calentamiento generalizado de los conductores aislantes.
6	Defecto térmico a baja temperatura 150-300 °C (3)	0	2	0	Sobrecalentamiento localizado en el circuito magnético por concentraciones de flujo.
7	Defecto térmico a temperatura media 300 -700 °C	0	2	1	Punto calientes en el circuito magnético, sobre calentamiento del cobre debido a corrientes de Foucault, malos contactos (con formación de carbono por pirolisis). Hasta
8	Defecto térmico a alta temperatura 700 °C (4)	0	2	2	los puntos calientes debido a corrientes de circulación magnética y masa.

Tabla N° 3.8 Diagnóstico de Fallas a Partir del Método de los Ratios de Rogers

$\frac{CH_4}{H_2}$	$\frac{C_2H_6}{CH_4}$	$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$	$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	Diagnostico Sugerido
> 0.1 < 1.0	< 1.0	< 1.0	< 0.5	(1) Funcionamiento normal.
≤ 0.1	< 1.0	< 1.0	< 0.5	(2) Descargas parciales-Corona
≤ 0.1	< 1.0	< 1.0	≥ 0.5 ó ≥ 3.0 < 3.0	(3) Descargas parciales-Corona de mayor intensidad.
> 0.1 < 1.0	< 1.0	≥ 3.0	≥ 3.0	(4) Continuas descargas
> 0.1 < 1.0	< 1.0	≥ 1.0 ó ≥ 3.0 < 3.0	≥ 0.5 ó ≥ 3.0 < 3.0	(5) Arcos eléctricos de elevada potencia.
> 0.1 < 1.0	< 1.0	< 1.0	≥ 0.5 < 3.0	(6) Arcos de no muy elevada potencia.
≥ 1.0 ó ≥ 3.0 < 3.0	< 1.0	< 1.0	< 0.5	(7) Ligeros sobrecalentamientos a temperaturas cercanas a 150 °C.
≥ 1.0 ó ≥ 3.0 < 3.0	≥ 1.0	< 1.0	< 0.5	(8) Sobrecalentamientos a temperaturas entre 150-200 °C
> 0.1 < 1.0	≥ 1.0	< 1.0	< 0.5	(9) Sobrecalentamientos a temperaturas entre 200-300 °C
> 0.1 < 1.0	< 1.0	≥ 1.0 < 3.0	< 0.5	(10) Sobrecalentamientos generalizados.
≥ 1.0 < 3.0	< 1.0	≥ 1.0 < 3.0	< 0.5	(11) Corrientes de circulación en los arrollamientos.
≥ 1.0 < 3.0	< 1.0	≥ 3.0	< 0.5	(12) Corrientes de circulación en el núcleo y tanque.

El DP proporciona un estimado del tamaño promedio de los polímeros en las moléculas de la celulosa del papel y del pressboard.

Generalmente el papel en transformadores nuevos, tiene un DP de alrededor de 1000 en tanto que el papel envejecido tiene un DP de 150 a 200. Cuando el DP alcanza estos límites, el papel y el pressboard en general ya casi han perdido sus propiedades mecánicas, y por tanto el peligro de falla es inminente (puede fracturarse o agrietarse frente a un esfuerzo térmico o electrodinámico de las corrientes de cortocircuito).

b.5 Análisis del Contenido de Partículas Metálicas en el Aceite

Considerando que el aceite en los transformadores nuevos no debería tener cantidades significativas de partículas metálicas, cualquier apreciable incremento de estas sería un indicativo de la existencia de un problema.

Los metales más comunes disueltos en el aceite son el acero, el cobre o el aluminio

(si las bobinas son de este material); metales como el titanio pueden provenir de la base de la pintura utilizada para pintar el interior del tanque, en tanto que restos de silicio se pueden deber al sobrecalentamiento del núcleo.

b.6 Contenido de Agua y Saturación Relativa

La rigidez dieléctrica de los materiales aislantes es una función del contenido de agua. Adicionalmente el envejecimiento de la celulosa es directamente proporcional al contenido de agua. También la probabilidad de la formación de burbujas de vapor de agua durante los periodos de sobrecarga, depende del contenido de agua del papel y del pressboard.

La concentración de agua en los aislamientos no es constante sino que varía, por la migración continua de esta entre el papel y el aceite. La mayor parte de la humedad se concentra en el papel. Cuando la temperatura aumenta el agua es forzada del papel al aceite. Si bien la cantidad de agua en el papel no cambiará sustancialmente; la concentración de agua en el aceite puede cambiar dramáticamente dependiendo del contenido inicial de agua en el papel y del aumento de la temperatura. Afortunadamente, la solubilidad del agua en el aceite aumenta con la temperatura, de manera tal que la saturación relativa no cambiará mucho cuando esto ocurra; no obstante que el valor absoluto del contenido de agua en ppm puede incrementarse tremendamente. El uso tradicional de los valores absolutos no entrega la información requerida; como lo han demostrado estudios que indican que es la saturación relativa y no el contenido de agua absoluto el factor más importante que afecta la rigidez dieléctrica del aceite.

En efecto los límites normales sugeridas de 30 a 35 ppm, pueden ser un indicativo de un transformador húmedo, si el aislamiento está en equilibrio a temperaturas de 25 °C o menos, desde que esto representa una saturación relativa del 50% o más en el aceite. Para mantener valores satisfactorios de rigidez dieléctrica en el aceite, la saturación relativa del agua en el aceite debe situarse por debajo del 50%. La solubilidad del agua en el aceite, se puede calcular con el auxilio de la siguiente fórmula:

$$So = \text{anti log} \left(\frac{-1567}{K} \right) + 7.0895 \quad (3.12)$$

En donde:

So = Solubilidad del agua en el aceite en ppm.

K = Temperatura absoluta en grados Kelvin. con °C = K-273

La temperatura de saturación aproximada se puede calcular aplicando la fórmula siguiente:

$$K = \frac{-1567}{[\text{Log}(\text{contenido_de_agua}) - 7.0895]} \quad (3.13)$$

Resumiendo diremos:

El agua encontrará su equilibrio entre el papel y el aceite a determinada temperatura. Si la temperatura se incrementa, el agua migrará del papel al aceite y la solubilidad del agua en el aceite también se incrementará.

b.7 Medida de la Rigidez Dieléctrica del Aceite

Ensayo indicado para evidenciar la presencia de contaminantes en el aceite, tales como agua, fibras celulósicas húmedas, partículas metálicas o conductoras.

Los valores mínimos admisibles para la tensión de ruptura se pueden considerar como sigue:

Método ASTM D-877: 30 KV

Método ASTM D-1816 (6 ap 0,04"): 20 KV

La rigidez dieléctrica del aceite, se mide con un instrumento denominado Espinterometro, el cual consta de un transformador de alto potencial, regulable por medio de un reóstato y de un recipiente especial provisto de dos electrodos en forma de semiesferas de 25 mm de diámetro, las cuales se encuentran a una distancia normalizada (IEC 156). En este recipiente se deposita una muestra de aceite del transformador de potencia y se mantiene en reposo por espacio de una hora.

El aceite, entonces es sometido a un campo eléctrico cuya magnitud depende de la tensión. V Voltaje aplicado, d Distancia entre electrodos, E Intensidad de campo eléctrico.

Aumentando paulatinamente la tensión y la intensidad de campo eléctrico, también se incrementa hasta un valor límite, entonces en el aceite se produce una ionización que se traduce en una descarga eléctrica. La intensidad de campo eléctrico máxima que puede soportar el aceite se denomina "Rigidez Dieléctrica" y la tensión que produce la descarga se denomina "Tensión de Perforación".

b.8 Prueba de Punto de Rocío

Esta prueba se realiza en transformadores transportados cargados con gas. Estos transformadores llevan una conexión a la que puede conectarse un manómetro compuesto de presión/vacío. Este manómetro debe tener un intervalo de +10 psi. Una presión positiva

o negativa indica que el tanque esta hermético; una lectura continua de cero indica una probable fuga. Si hay alguna razón para dudar de la sequedad, puede estimarse la humedad por medio de una determinación el punto de rocío del gas contenido en el transformador. Debe agregarse gas seco inmediatamente a alrededor de 3 psi de presión manométrica y verificarse por fugas.

El punto de rocío es sensible a los cambios de temperatura; por lo tanto, es esencial determinar con precisión la temperatura del aislamiento. Algunos instrumentos no proporcionan lecturas exactas del punto de rocío debajo de 32 °F. Si el punto de rocío medido excede de un valor aceptable, debe hacerse contacto con el fabricante para obtener su recomendación sobre el curso de acción a seguir.

3.4.3 Resultados de las Pruebas

Las pruebas que se realizaron durante y al final del montaje electromecánico del reactor de 20 MVAR, fueron las siguientes:

- Pruebas de punto de rocío
- Medición de resistencia de aislamiento
- Medición de rigidez dieléctrica del aceite
- Pruebas de factor de potencia del aislamiento
- Pruebas de corriente de excitación e inductancia de los devanados del reactor
- Prueba de relé de sobrecorriente
- Control final
- Análisis de físico – químico del aceite aislante
- Análisis Cromatográfico del aceite aislante

Los resultados de las pruebas fueron positivos, por lo que se procedió posteriormente con la energización y puesta en servicio del equipo. Los valores obtenidos en las pruebas se muestran en el Protocolo de Pruebas (Ver Anexo D).

CAPÍTULO IV

RECURSOS Y PRESUPUESTO DEL MONTAJE ELECTROMECAÁNICO

4.1 Generalidades

En este ultimo capítulo se detalla todos los recursos humanos, equipos, herramientas y materiales que se emplearon para ejecutar el montaje electromecánico del reactor de 20MVA, así como también se muestran los gastos incurridos en la ejecución del proyecto en mención.

4.2 Recursos

4.2.1 Recursos Humanos

Para los trabajos del montaje electromecánico del Reactor de 20 MVA, el personal fue distribuido en cinco grupos de trabajo, los cuales se encargarían de tareas específicas.

Los grupos de trabajo con el personal que los conformaba fue el siguiente:

Grupo 1: Instalación y operación de la planta de tratamiento de aceite dieléctrico:

- 01 Técnicos electricista de ETECEN
- 01 Técnicos electromecánico de ETECEN
- 02 Ayudantes de Terceros

Grupo 2: Montaje electromecánico del reactor

- 02 Técnicos electromecánicos de ETECEN
- 01 Técnico electromecánico de Terceros
- 01 Ayudante de Terceros
- 01 Operador de grúa de Terceros

Grupo 3: Conexionado eléctrico de BT/AT y pruebas

- 01 Técnico electricista de ETECEN
- 01 Técnico electricista de Terceros

Grupo 4: Protocolo de pruebas

- 01 Ingeniero de pruebas e ETECEN
- 01 Técnico de pruebas de ETECEN

Grupo 5: Supervisión general:

- 01 Ingeniero supervisor de ETECEN
- 01 Técnico especialista de ETECEN
- 01 Técnico especialista del Fabricante

4.2.2 Recursos Materiales

a. Equipos

Los equipos necesarios para ejecutar el proyecto fueron los siguientes:

- 01 Máquina de tratamiento bajo termo vacío de 4000 lts/hr. Mínimo.
- 01 Espintoremetro para pruebas de rigidez dieléctrica – Baur
- 01 Bomba de vacío
- 01 Camión grúa de 06 tn.
- 01 Bolsa para tratamiento de aceite con válvulas de ingreso y salida, capacidad 80 cilindros de aceite.
- 02 Multimetros digitales
- 01 Botella de nitrógeno con manómetros y accesorios
- 01 Equipo de medición de punto de rocío
- 01 Bomba de vacío de 200 m3 mínimo
- 02 Escaleras telescópicas de 16 pasos
- 01 Equipo de soldadura autógena

b. Herramientas

Las herramientas empleadas en los trabajos de montaje fueron:

- 01 maleta de herramientas para electricista
- 01 maleta de herramientas para mecánicos
- 01 tecla de cadena de 1.5 Tn.
- 01 Trasegador universal
- 01 Juego de eslingas para izaje de equipos
- 06 Estrobos de acero
- 06 Grilletes de acero
- 01 Taladro
- 01 Torquimetro

c. Materiales

Fueron necesarios los siguientes materiales:

- Alcohol industrial 02 galones
- Silicona en pasta 05 frascos

- Formador de empaquetaduras loctite 02 chisguetes
- Cintas aislantes 05 rollos
- Cintas masking tape 04 rollos
- Terminales varios de compresión aislados
- Rotuladores de cable
- Cintillos de cables
- Tocuyo 05 mt.
- Trapo industrial 10 Kg.
- Tubos, uniones, codos de acero galvanizado.
- Conductor copperweld de ½” de diámetro para puesta a tierra.
- Soldadura cadwell
- Pintura amarillo transito

4.3 Metrado y Presupuesto

En la Tabla N° 4.1, se detalla los costos en la ejecución del montaje electromecánico de un reactor de 20 MVAR en la subestación Guadalupe.

No están incluidos los costos de suministro, transporte y supervisión del reactor, ya que estos están considerados en el contrato del Fabricante.

En los costos unitarios del personal técnico de ETECEN y Terceros están incluidos su jornal mas sus gastos por viáticos. Cabe indicar que el personal técnico de ETECEN, reprogramó sus actividades de mantenimiento, con el fin que el tiempo empleado en el proyecto, no cause un atraso en los programas de mantenimiento de la Empresa.

Para realizar las pruebas de laboratorio del aceite dieléctrico, se contrato a una empresa especialista y para las pruebas de campo se realizaron con equipos de propiedad de ETECEN.

Tabla N° 4.1 Metrado y Presupuesto

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNI	CANT	P.U.	PARCIAL
1.0	RECURSOS HUMANOS : ETECEN				16,860.00
1.1	Ingeniero Supervisor	d/H	12	235.00	2,820.00
1.2	Ingeniero especialista de pruebas	d/H	9	235.00	2,115.00
1.3	Técnico especialista de pruebas	d/H	2	225.00	450.00
1.4	Técnico especialista en montaje	d/H	9	225.00	2,025.00
1.5	Técnico electricista	d/H	18	210.00	3,780.00
1.6	Técnico electromecánico	d/H	25	210.00	5,670.00
2.0	RECURSOS HUMANOS : TERCEROS				4,470.00
2.1	Técnicos	d/H	27	95.44	2,576.88
2.2	Ayudantes	d/H	24	43.09	1034.16
2.3	Chofer - Operador de grúa	d/H	9	95.44	858.96
3.0	PRUEBAS				2,975.00
3.1	Análisis de aceite: pruebas Físico-Químicas y Cromatográficas	Glb	1	1,400.00	1,400.00
3.2	Medición de punto de rocío	Glb	1	1,575.00	1,575.00
4.0	EQUIPOS				14,945.00
4.1	Meghometro 5 kV 5000N AEMC	dia/M	2	87.50	175.00
4.2	Analizador de aislamiento M4000 DOBLE	dia/M	2	875.00	1,750.00
4.3	Medidor de rigidez dieléctrica DPA 75 BAUR	dia/M	7	175.00	1,225.00
4.4	Maleta de prueba de relés DOBLE	dia/M	2	525.00	1,050.00
4.5	Máquina de tratamiento de aceite MAS600 RB MAXEI	dia/M	5	1,750.00	8,750.00
4.6	Multimetro digital	dia/M	14	80.00	1,120.00
4.7	Botella de nitrógeno con manómetro y accesorios	dia/M	7	100.00	700.00
4.8	Equipo de oxicorte y accesorios	dia/M	7	25.00	175.00
5.0	HERRAMIENTAS				2,268.70
5.1	Bolsa de aceite 25 000 lts.	dia/M	7	50.00	350.00
5.2	Escalera telescópica	dia/M	9	30.00	270.00
5.3	Ferretería diversas	dia/M	9	25.00	225.00
5.4	Maleta de herramientas para electricista	dia/M	9	50.00	450.00
5.5	Maleta de herramientas para mecánicos	dia/M	9	50.00	450.00
5.6	Taladro	dia/M	7	30.00	210.00
5.7	Tecla de cadena de 1.5 Tn.	dia/M	7	35.00	245.00
5.8	Torquimetro	dia/M	1	10.00	10.00
5.9	Esmeril de banco	dia/M	7	2.60	18.20
5.1	Tornillo de banco	dia/M	7	1.50	10.50
5.11	Trasegador universal	dia/M	2	15.00	30.00

6.0	MATERIALES				6,413.25
6.1	Alcohol industrial	Gln	2	50.00	100.00
6.2	Bridas ciegas	Pza	20	50.00	1,000.00
6.3	Brochas	Pza	20	10.00	200.00
6.4	Cinta aislante 3M	Rollo	5	4.00	20.00
6.5	Cinta aislante de papel	Rollo	1	200.00	200.00
6.6	Cinta masking tape	Rollo	4	3.00	12.00
6.7	Cinta tela aislante	Rollo	1	200.00	200.00
6.8	Cintillos de cables varios tamaños	Glb	1	100.00	100.00
6.9	Conductor copperweld 1/2" diámetro	mt	10	1.50	15.00
6.10	Empaquetaduras	Glb	1	2,000.00	2,000.00
6.11	Filtros finos para máquina de tratamiento MAXEI	Unid.	6	140.00	840.00
6.12	Formador de empaquetadura Loctite	Pza	2	50.00	100.00
6.13	Nitrógeno + Oxígeno	m3	10	30.00	300.00
6.14	Pintura amarillo transito	Gln	0.25	15.00	3.75
6.15	Plásticos	Glb	1	80.00	80.00
6.16	Rotuladores de cable	Glb	1	60.00	60.00
6.17	Silicona en pasta	Fco	5	30.00	150.00
6.18	Conector para cable Copperweld	Pza	2	5.00	10.00
6.19	Terminales varios de compresión aislados	Glb	1	60.00	60.00
6.20	Tocuyo	mt	5	4.50	22.50
6.21	Trapo Industrial	Kg	10	4.00	40.00
6.22	Tubos, uniones, codos de acero galvanizado	Glb	1	300.00	300.00
6.23	Válvulas	Pza	4	150.00	600.00
7.0	VEHÍCULOS				10,514.56
7.1	Camión grúa	Pza	7	1,000.00	7,000.00
7.2	Camioneta 4x4	Pza	12	292.88	3,514.56
TOTAL (S/.)					58,446.51

CONCLUSIONES

1. la instalación del Reactor de 20 MVAr en la subestación Guadalupe, va permitir el adecuado control de las tensiones de barras de la zona norte del País. Permitiendo a su vez la operación de los compensadores estáticos (SVC) de Trujillo y Chiclayo con márgenes adecuados de reserva de potencia reactiva.

2. Las actividades realizadas para el montaje electromecánico, ha permitido al personal participante a adquirir experiencia en las técnicas y procedimientos de montaje de reactores de potencia de la capacidad indicada. Por tanto, es importante que la Empresa ejecute actividades especiales de mantenimiento y/o montaje con personal propio, con la finalidad de contar con personal técnico capacitado.

3. Con el presente trabajo de montaje electromecánico de un reactor de 20 MVAr, se ha comprobado la importancia y ventaja que tiene el realizar una adecuada planificación de los trabajos a realizar, de manera que las actividades se realicen en una secuencia optima, lo cual va permitir un control adecuado de la actividad, en cuanto a los tiempos de ejecución, recursos humanos y materiales, de manera que se eviten las improvisaciones que pueden ocasionar perdidas y accidentes.

4. La correcta instalación del equipo es fundamental para asegurar un servicio eficaz de cualquier maquina eléctrica. Los procedimientos de montaje, varían con la capacidad y complejidad del equipo, por cual es muy importante siempre revisar las instrucciones del fabricante antes de iniciar el montaje para asegurar una correcta utilización del equipo.

5. Las pruebas más importantes ha realizar al culminar el montaje del reactor son las siguientes:

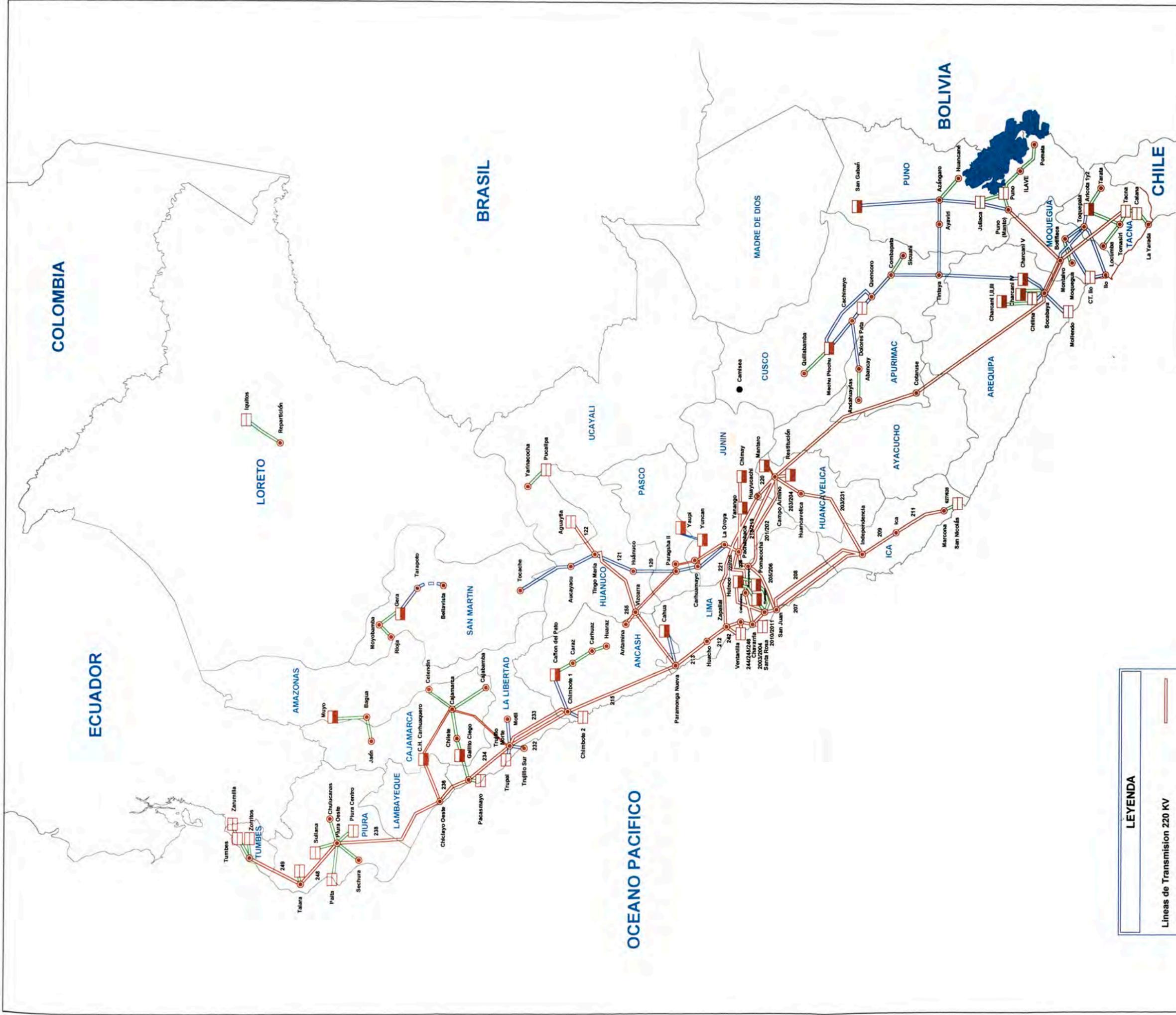
- Prueba de factor de potencia del aislamiento,
- Prueba de resistencia de aislamiento, y
- Pruebas de la calidad del aceite.

Con estas pruebas se permite comprobar que no existan problemas de montaje y

determinar el estado del equipo con que inicia sus operaciones en el Sistema de Transmisión.

Estas pruebas después de la puesta en servicio del reactor, deben realizarse de forma periódica, con el fin de garantizar el buen funcionamiento de la maquina y el alargamiento de la vida útil del equipo.

ANEXO A
PLANOS DEL PROYECTO



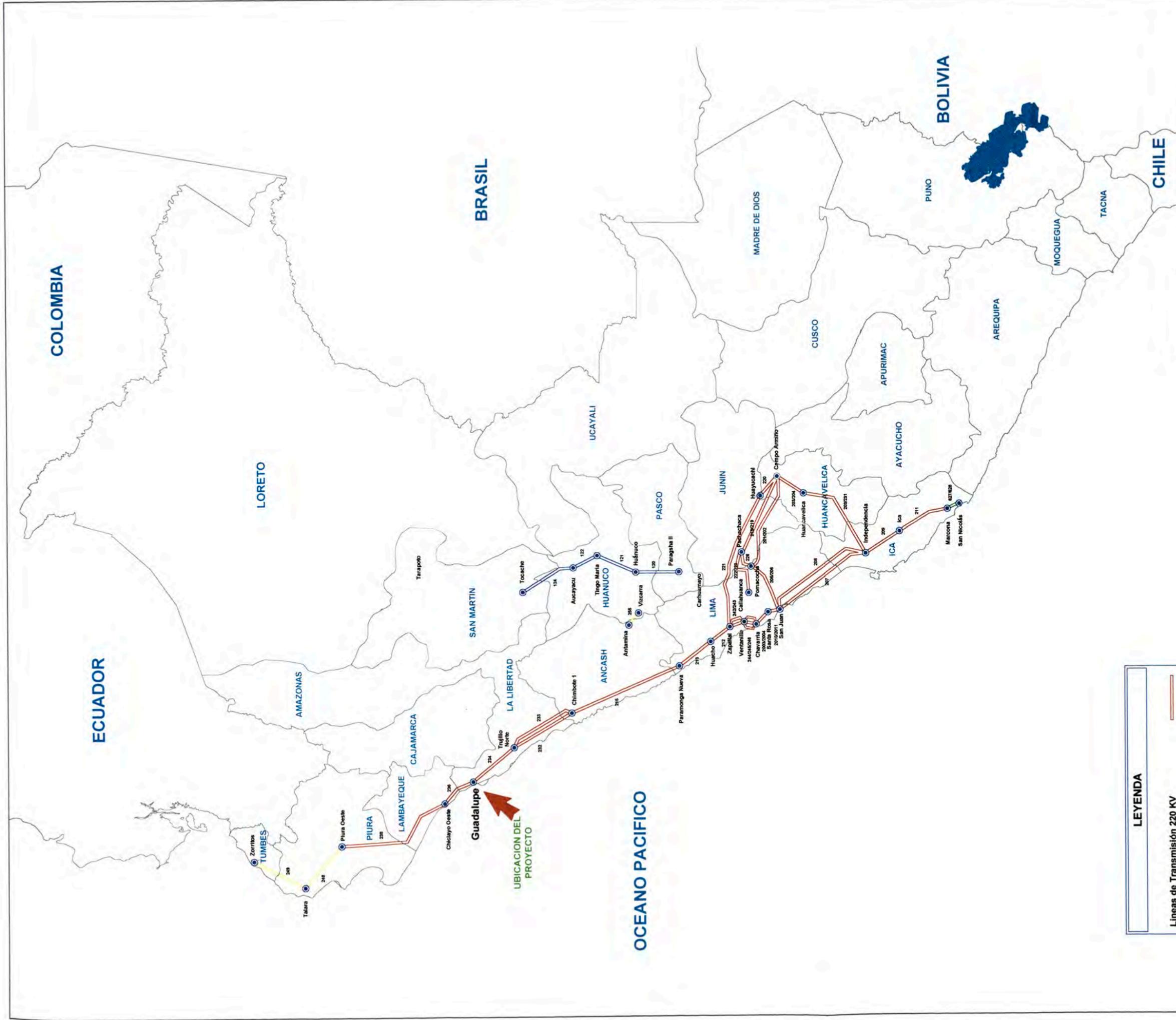
LEYENDA

- Líneas de Transmisión 220 KV
- Líneas de Transmisión 138 KV
- Líneas de Transmisión 66 y 33 KV
- En Construcción
- Subestacion
- Central Hidroeléctrica
- Central Térmica

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA

SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL (SINAC)

UBICACION:	ESCALA:	FECHA:	MR-01
DESENHO:	REVISADO:	APROBADO:	
N.DELOSRIOS	N.DELOSRIOS	J.RAMOS	J.RAMOS
	S/E	12.01.01	



LEYENDA	
	Líneas de Transmisión 220 KV
	Líneas de Transmisión 138 KV
	Líneas de Transmisión 66 y 33 KV
	Líneas de Transmisión propiedad de Terceros
	Subestación

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA

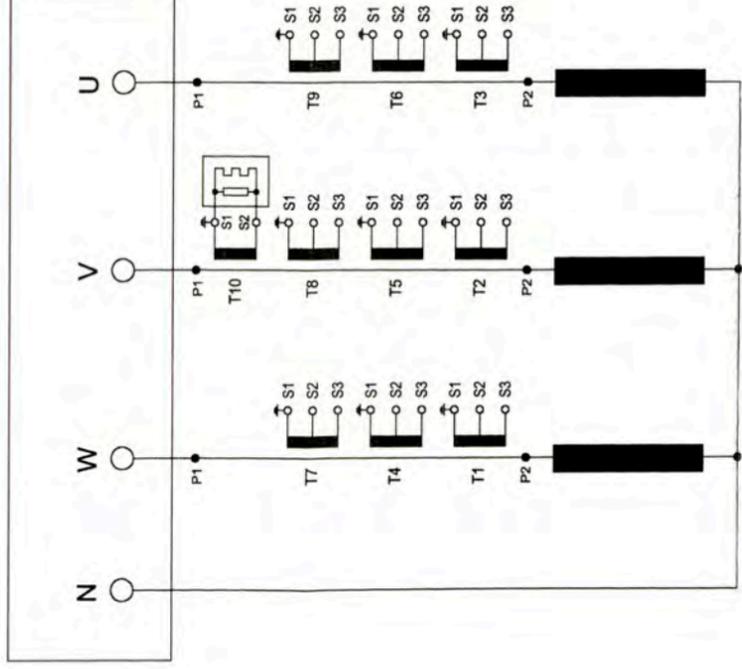
SISTEMA DE TRANSMISION DE ETECEN Y UBICACION

UBICACION:	ESCALA: S/E	FECHA: 12.01.01	APROBADO: J. RAMOS
DISEÑO: N. DELOSRIOS	REVISADO: J. RAMOS	MR-02	

INDUCTANCIA SHUNT

FABRICANTE				A.L.S.T.O.M. ELEKTRIK ENDUSTRISI A.S. 41401 GEBZE / KOCAELI - TURKIYE			
POTENCIA NOMINAL	20 MVAr	NO.	316035	AÑO	2000	NORMAS	IEC 76/1993
FRECUENCIA	60 Hz	GRUPO DE CONEXIÓN	YN	DEVANADOS	PASSATAPAS		
TENSIÓN	225000 V	CORRIENTE (CONT.)	51,3 A	FASE	LI 950 / AC 395 KV		
ENFRIAMIENTO	ONAN	CLASE	RP	NEUTRO	LI 125 / AC 50 KV		
MAX. TEMPERATURA AMBIENTE	50 °C	PESO TOTAL	51000 kg				
AUMENTO DE TEMPERATURE DEL ACEITE	50 °C	PESO NUCLEO Y BOBINADOS	17500 kg				
AUMENTO DE TEMPERATURE DE ARROLLADO	55 °C	PESO PARTE ACTIVA	19500 kg				
REACTANCIA	-	PESO DEL TANQUE Y ACCESORIOS	13500 kg				
TIPO DE ACEITE :	SHELL DIALA D	PESO PARA EL TRANSPORTE (SIN ACEITE)	33000 kg				
ALTURA DE INSTALACION	1000 m	PESO DEL ACEITE	13100 kg				
NUMERO DE RADIADORES	8	POTENCIA DE CADA RADIADORES	80 kW				
ESTANQUE, RADIADORES Y CONSERVADOR RESISTEN VACIO ABSOLUTO.							

TRANSFORMADORES DE CORRIENTE			
DENOMINACION	CAPACIDAD VA	CONEXIÓN	RELACION A/A EXACTITUD
T1, T2, T3	25	S1-S2 S1-S3	75/1 150/1
T4-T9	15	S1-S2 S1-S3	75/1 150/1
T10	15	S1-S2 S1-S3	150/2 150/2



PLACA D297x420 PHOTOMETAL-AL T 0944

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA

PLACA DE CARACTERISTICAS DEL REACTOR
DE 20 MVAR

UBICACION:
S.E. GUADALUPE

ESCALA:
1/1

FECHA:
12.01.01

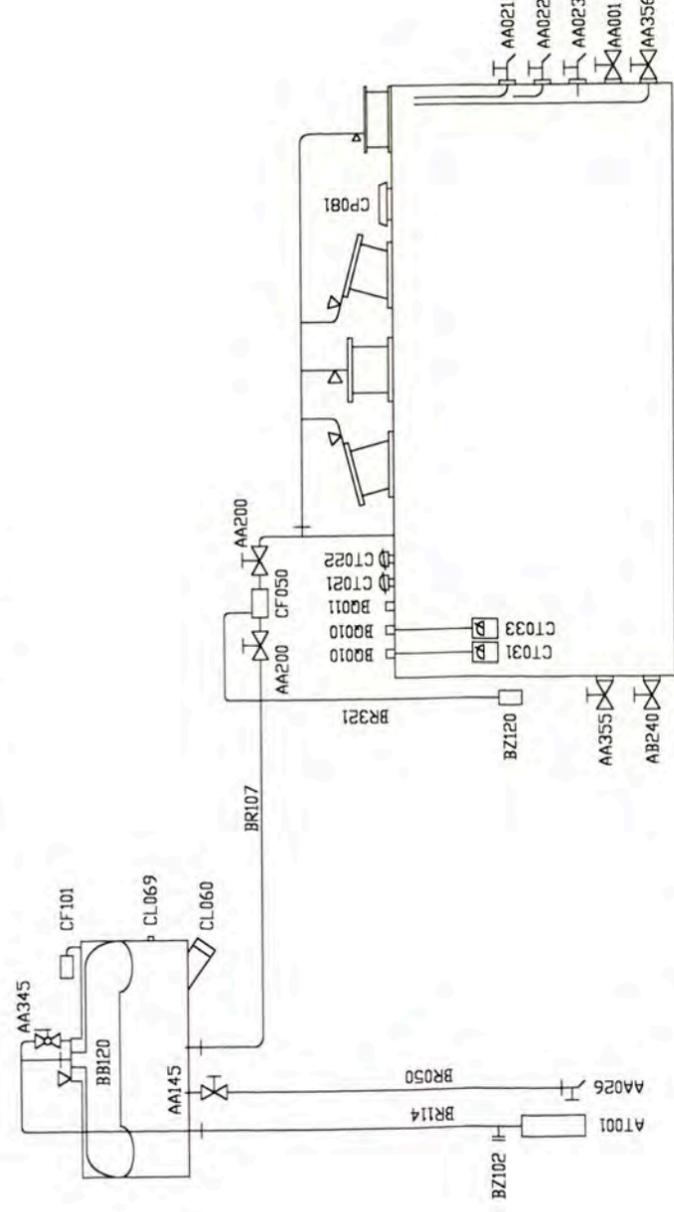
DESENHO:
N.DELOSRIOS

REVISADO:
J.RAMOS

APROBADO:
J.RAMOS

MR-04

DIAGRAMA DE VALVULAS, TUBERIAS Y DISPOSITIVOS DE PROTECCION



= CURSOR VALVULA

AA200
CF050
 = VALVULA DE COMPUERTA

AA200
 = DRENAJE

AA200
 = TAPON PARA VENTEO

AA200
 = COLLARETE

AA001 VALVULA DE COMPUERTA PARA DESCARGAR EL TAJUE DN 100
AA021 VALVULA DE SALIDA PARA MUESTRA DE ACEITE ARRIBA DN 15
AA022 VALVULA DE SALIDA PARA MUESTRA DE ACEITE MEDIO DN 15
AA023 VALVULA DE SALIDA PARA MUESTRA DE ACEITE ABAJO DN 15
AA026 VALVULA DE SALIDA DEL RECIPIENTE DE EXPANSION PARA EL TANQUE DN 32
AA145 VALVULA DE COMPUERTA PARA DESCARGAR RECIPIENTE DE EXPANSION PRINCIPAL DN 40
AA200 VALVULA DE COMPUERTA ENTRE TANQUE Y RECIPIENTE DE EXPANSION DE 80
AA345 VALVULA DE COMPUERTA DEL RECIPIENTE DE EXPANSION ENTRE LAS CAMARAS DE ADELANTE Y ATRAS DE LA BOLSA DE AIRE DN 25
AA355 VALVULA DE COMPUERTA DEL TANQUE, PARA TRATAMIENTO DE ACEITE, SALIDA DN 80
AA356 VALVULA DE COMPUERTA DEL TANQUE, PARA TRATAMIENTO DE ACEITE, RETORNO DN 80
AB240 PURGA DEL ACEITE RESIDUAL DEL TANQUE
AT001 SECADOR DE AIRE RECIPIENTE DE EXPANSION PRINC.
BB120 BOLSA DE AIRE DENTRO DEL RECIPIENTE DE EXPANSION

BQ010 BOLSA PARA TERMOMETRO
BR050 TUBERIA PARA DESCARGAR EL RECIPIENTE DE EXPANSION DN 40
BR107 TUBERIA ENTRE TANQUE Y RECIPIENTE DE EXPANSION DN 80
BR114 TUBERIA ENTRE SECADOR DE AIRE Y RECIPIENTE DE EXPANSION DEL TANQUE DN 40
BR321 TUBERIA COLECTORA DE MUESTRA DE GAS
BZ102 CONEXION PARA EVACUAR EL RECIPIENTE DE EXPANSION
BZ120 DISPOSITIVO DE MUESTRA DE GAS PARA RELE BUCHHOLZ (TANQUE PRINCIPAL)
CF050 RELE BUCHHOLZ PARA TANQUE
CF101 BUCHHOLZ RELE PARA CONTROL DE LA BOLSA DE AIRE
CL060 INDICADOR DE NIVEL DE ACEITE RECIPIENTE DE EXPANSION TANQUE
CL069 NIVEL DE ACEITE +20 GRADOS *C. DENTRO DEL RECIPIENTE DE EXPANSION
CT021 TERMOMETRO DE RESISTENCIA DEL TANQUE
CT022 TERMOMETRO DE RESISTENCIA DEL TANQUE
CT031 TERMOMETRO INDICADOR PARA ACEITE DEL TANQUE
CT033 TERMOMETRO INDICADOR PARA ARROLLAMIENTO

VALVULAS EN DIFERENTES CONDICIONES	AA001	AA021	AA022	AA023	AA026	AA145	AA200	AA345	AA355	AA356
OPERACION	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
LLENADO DEL TRANSFORMADOR	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
DRENAJE DEL TRANSFORMADOR	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
LLENADO DEL RECIPIENTE DE EXPANSION	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
DRENAJE DEL RECIPIENTE DE EXPANSION	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
CONEXIONES PARA EVACUAR	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

○ = ABIERTA ● = CERRADA

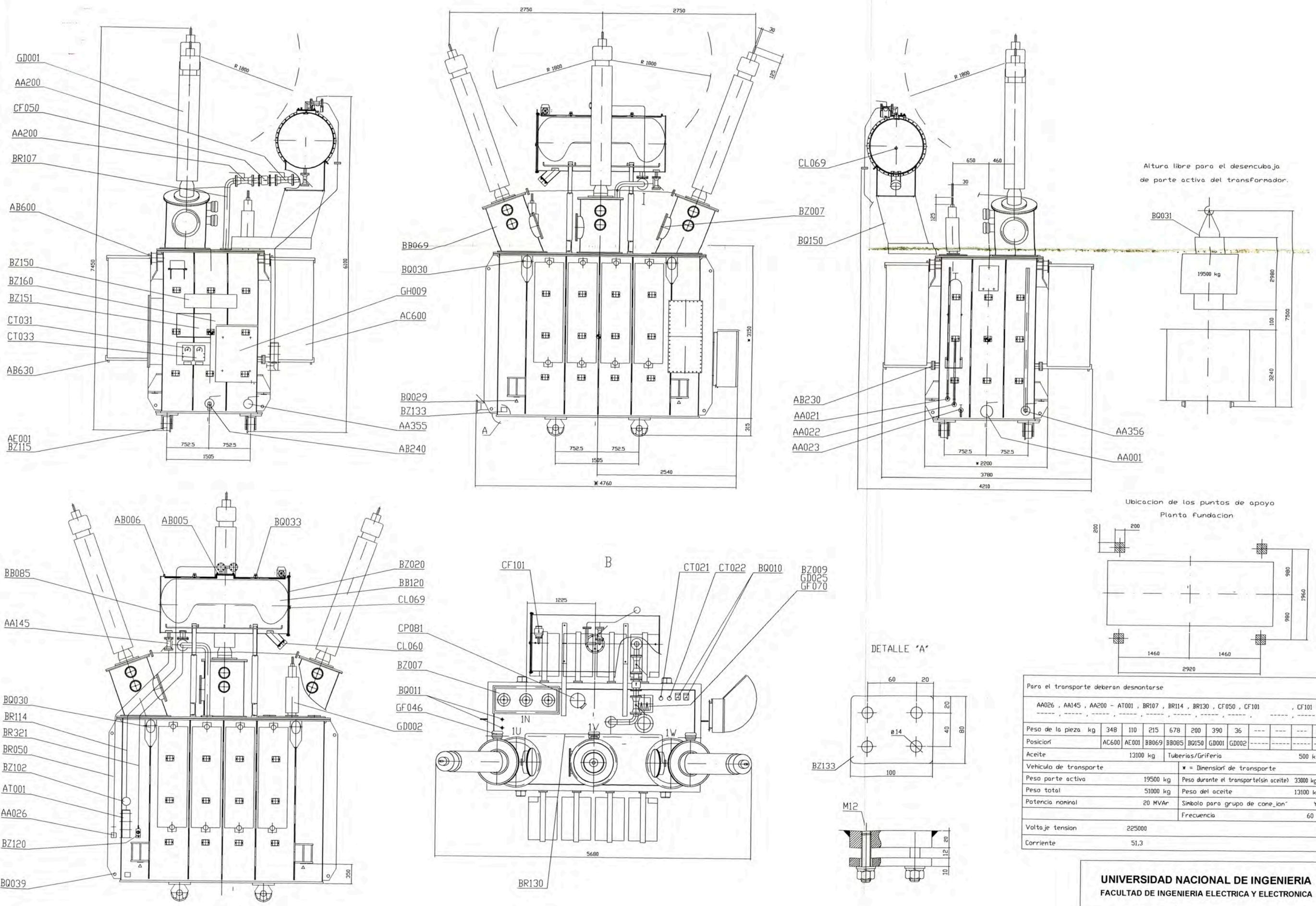
3802692

SCHILD D297x420 METALPHOTO-AL T 0944

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA

DIAGRAMA DE VALVULAS, TUBERIAS Y DISPOSITIVOS DE PROTECCION DEL REACTOR

UBICACION: S.E. GUADALUPE	ESCALA: 1/1	FECHA: 12.01.01	MR-05
DISEÑO: N.DELOSRIOS	REVISADO: N.DELOSRIOS	APROBADO: J.RAMOS	



Para el transporte deben desmontarse

AA026, AA145, AA200 - AT001, BR107, BR114, BR130, CF050, CF101, CF101										
Peso de la pieza kg	348	110	215	678	200	390	36	---	---	---
Posición	AC600	AE001	BB069	BB085	BQ150	GD001	GD002	---	---	---
Aceite	13100 kg					Tuberías/Grifería 500 kg				
Vehículo de transporte	x = Dimensión de transporte									
Peso parte activa	19500 kg					Peso durante el transporte (sin aceite) 33000 kg				
Peso total	51000 kg					Peso del aceite 13100 kg				
Potencia nominal	20 MVAR					Símbolo para grupo de conexión YN				
						Frecuencia 60 Hz				
Voltaje tension	225000					V				
Corriente	51,3					A				

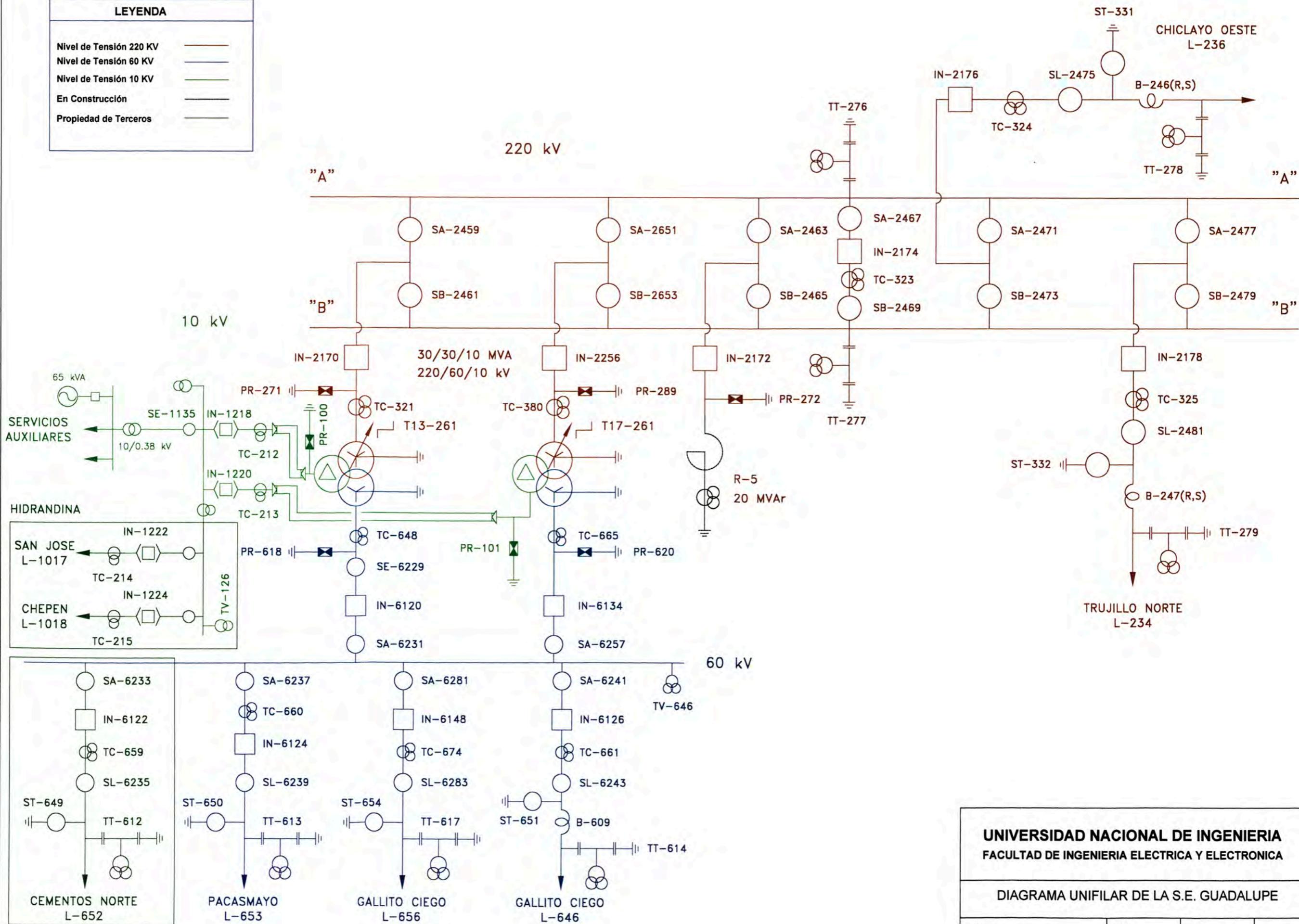
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA

ESQUEMA ACOTADO DEL REACTOR DE 20 MVAR

UBICACION: LA LIBERTAD	ESCALA: S/E	FECHA: 12.01.01	MR-06
DISEÑO: N.DELOSRIOS	DELLAO: N.DELOSRIOS	REVISADO: J.RAMOS	

LEYENDA

Nivel de Tensión 220 KV	— (línea gruesa)
Nivel de Tensión 60 KV	— (línea normal)
Nivel de Tensión 10 KV	— (línea fina)
En Construcción	— (línea punteada)
Propiedad de Terceros	— (línea con trazo y punto)



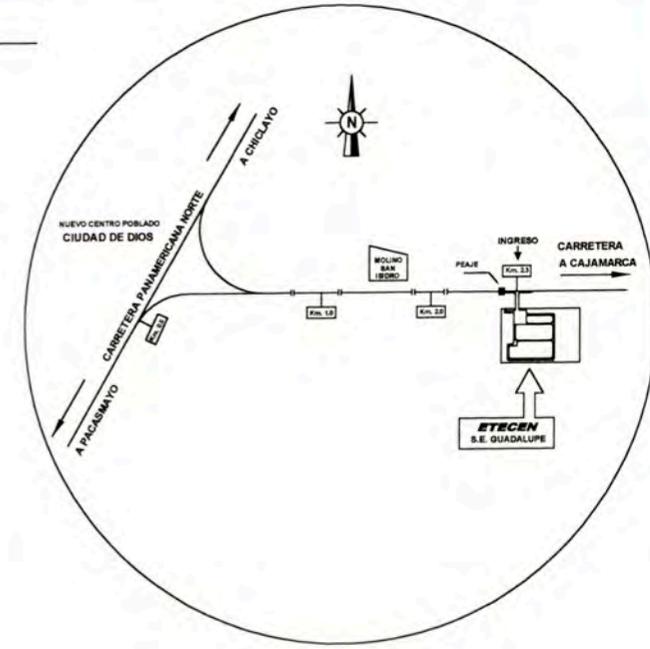
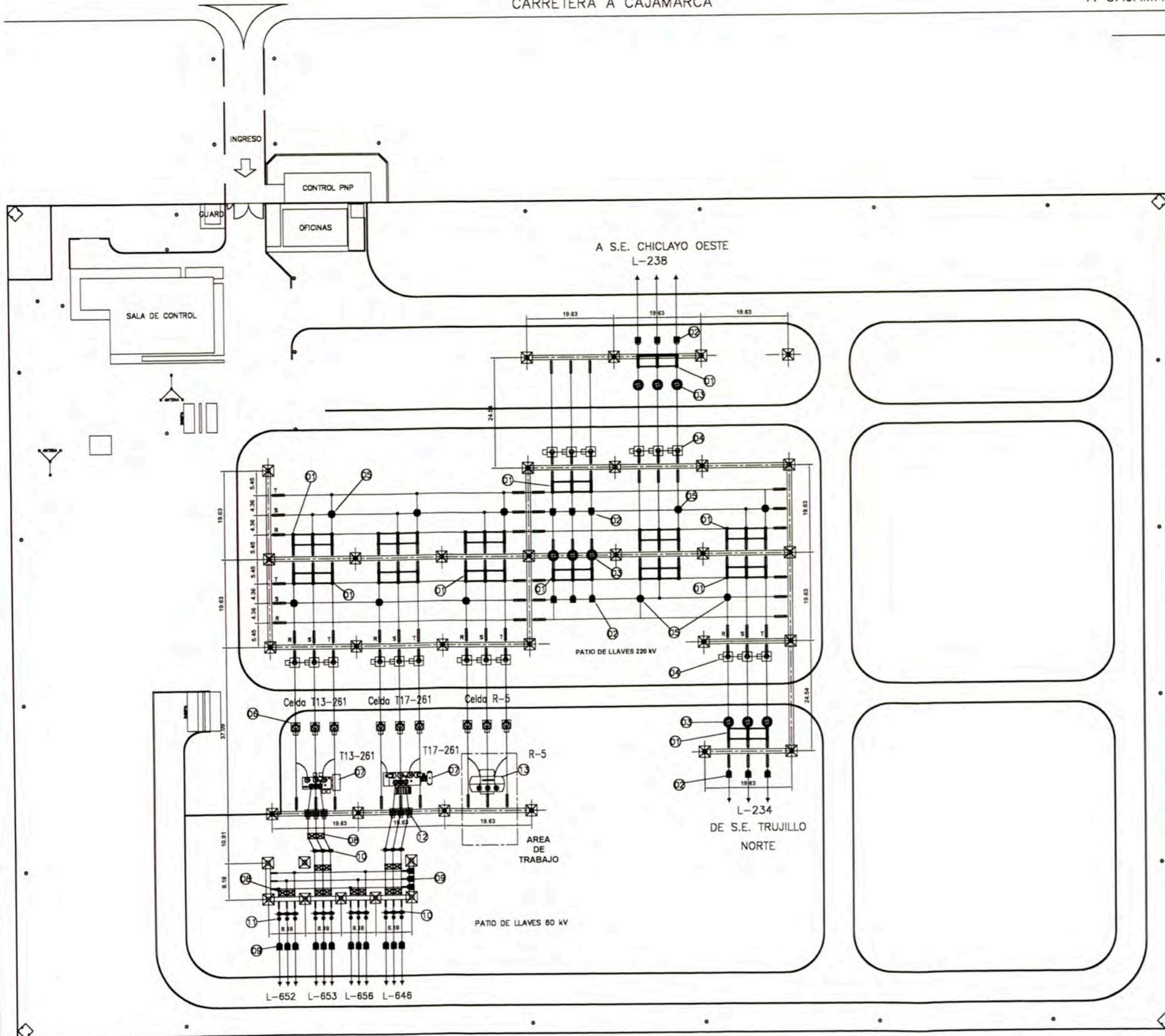
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA

DIAGRAMA UNIFILAR DE LA S.E. GUADALUPE

UBICACION: LA LIBERTAD	ESCALA: S/E	FECHA: 12.01.01	MR-07
DISEÑO: N.DELOSRIOS	DIBUJO: N.DELOSRIOS	APROBADO: J.RAMOS	

CARRETERA A CAJAMARCA

A CAJAMARCA



LEYENDA EQUIPOS 220KV

N°	DESCRIPCION
01	SECCIONADOR DE BARRAS/LINEA
02	TRANSFORMADOR DE TENSION
03	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE
04	INTERRUPTOR 220KV
05	AISLADOR SOPORTE
06	PARARRAYOS
07	TRANSFORMADOR DE POTENCIA 220KV
13	REACTOR 20 MVAR

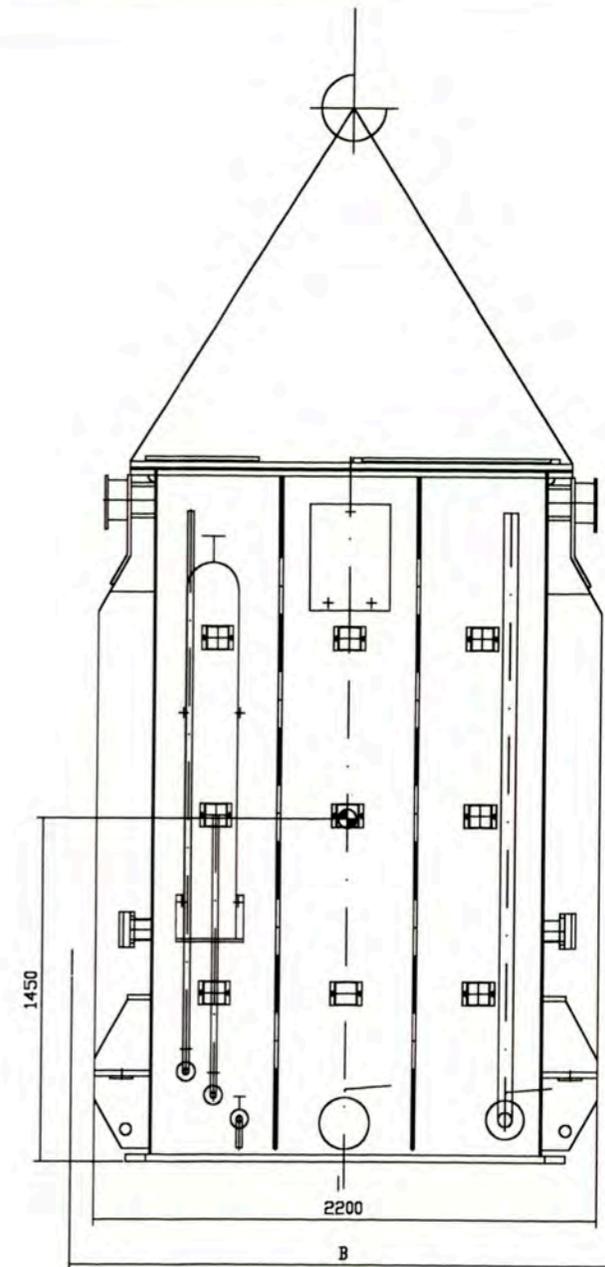
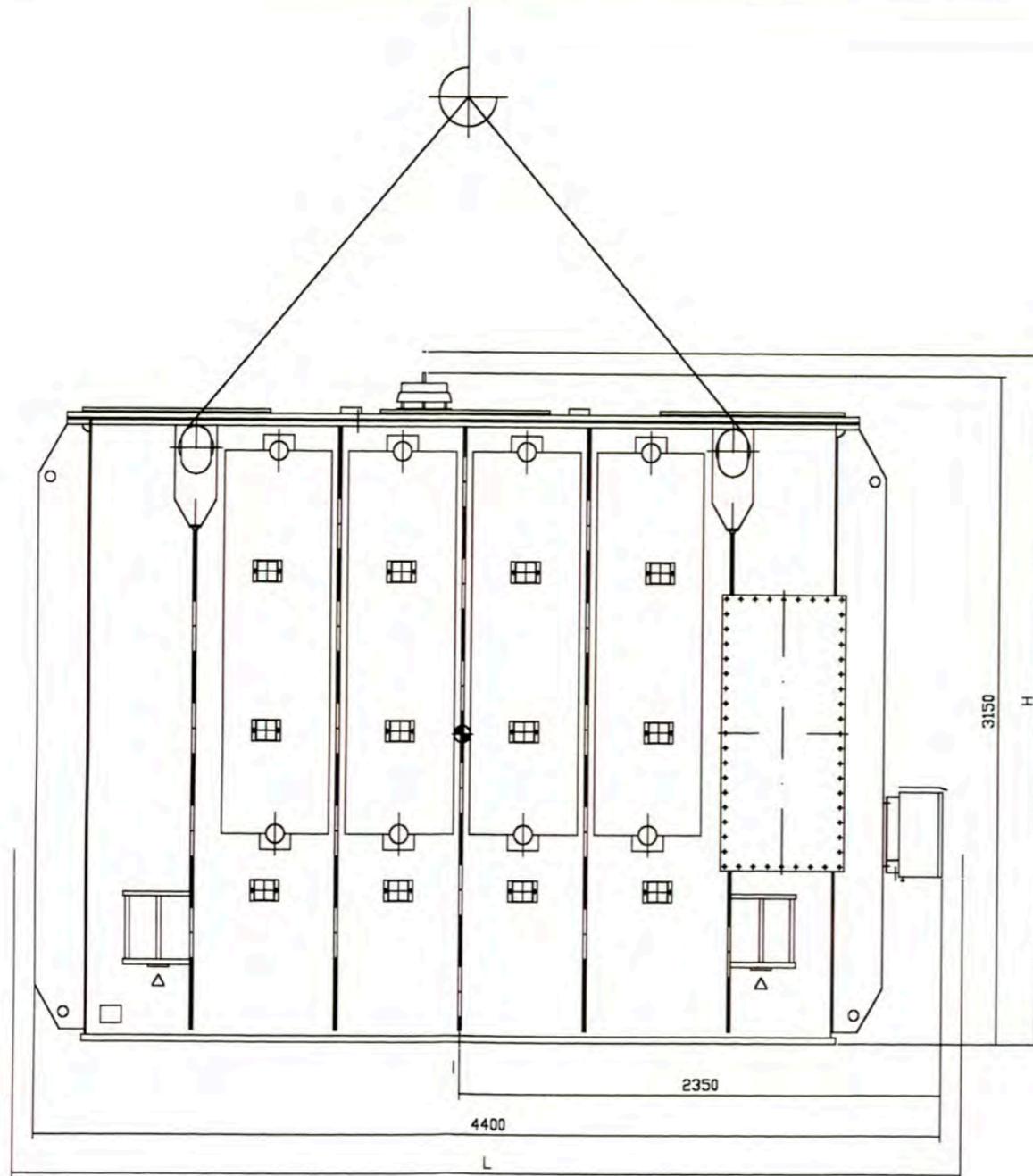
LEYENDA EQUIPOS 60KV

N°	DESCRIPCION
08	SECCIONADOR DE BARRAS
09	TRANSFORMADOR DE TENSION
10	INTERRUPTOR 60KV
11	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE
12	PARARRAYOS

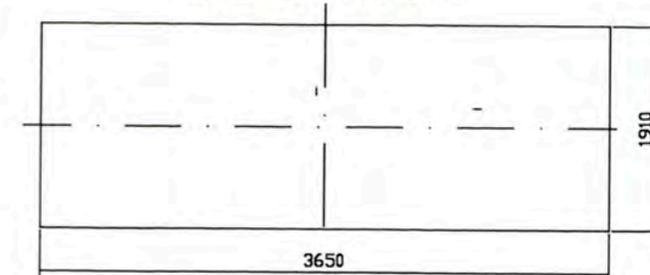
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA

DISPOSICION DE EQUIPOS DE S.E. GUADALUPE

UBICACION: S.E. GUADALUPE	ESCALA: S/E	FECHA: 12.01.01	MR-08
DISEÑO: N.DELOSRIOS	DIBUJO: N.DELOSRIOS	REVISADO: J.RAMOS	



DIMENSIONES DE LA BASE
BOTTOM PLATE DIMENSIONS



☉ : Centro de gravedad para transporte

WEIGHT AND DIMENSIONS OF
THE LARGEST PART FOR TRANSPORT

Weight (approx.): -- ton (with oil)
 Weight (approx.): 33 ton (without oil)
 Length (L) : 4600 mm
 Width (B) : 2400 mm
 Height (H) : 3250 mm

PARTE MAS GRANDE PARA EL TRANSPORTE
PESO Y DIMENSIONES DE :

Peso (aprox.): -- ton (con aceite)
 Peso (aprox.): 33 ton (sin aceite)
 Largo (L) : 4600 mm
 Ancho (B) : 2400 mm
 Alto (H) : 3250 mm

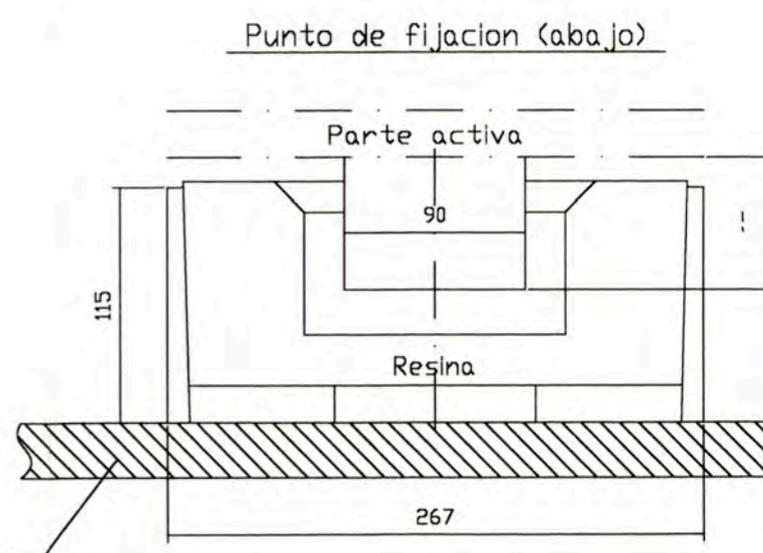
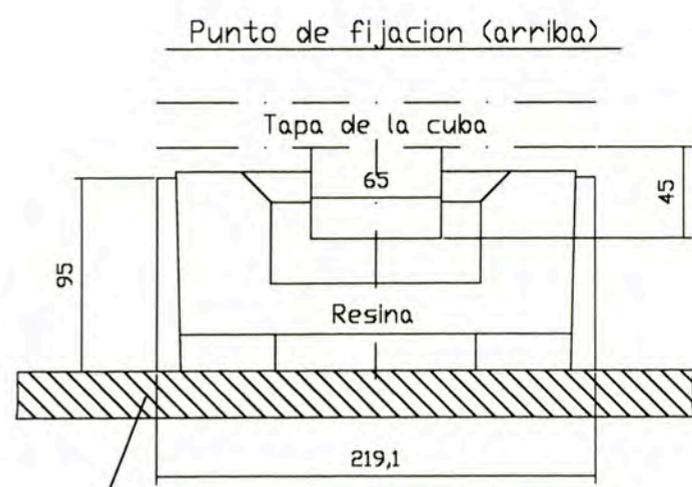
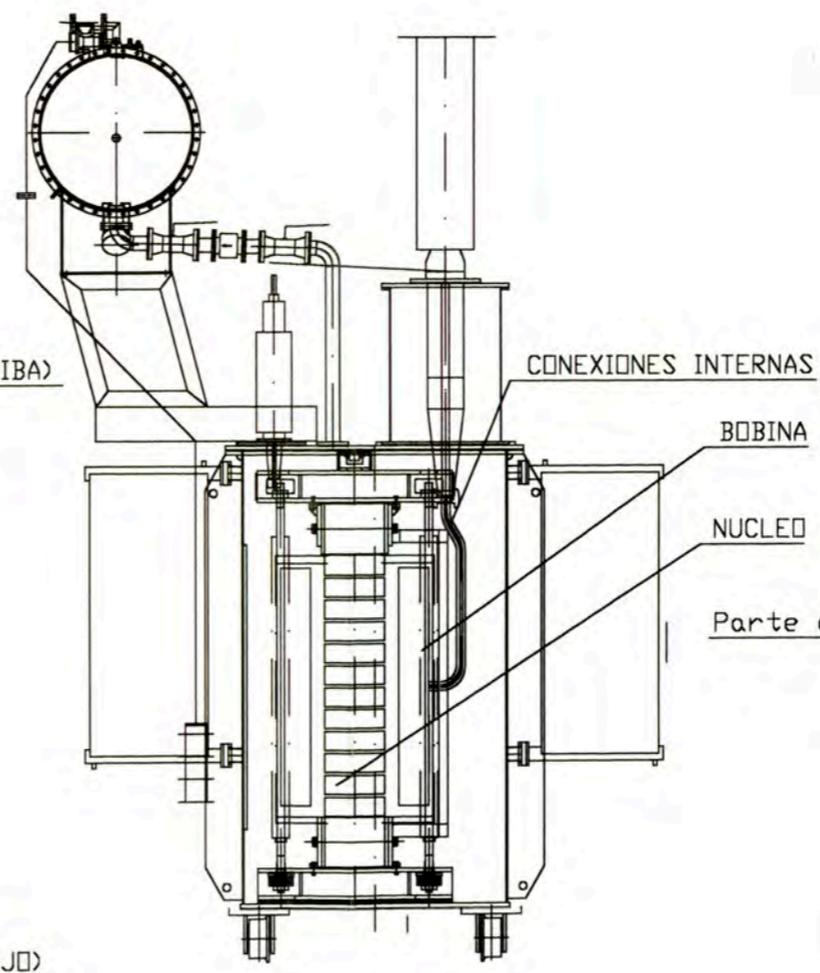
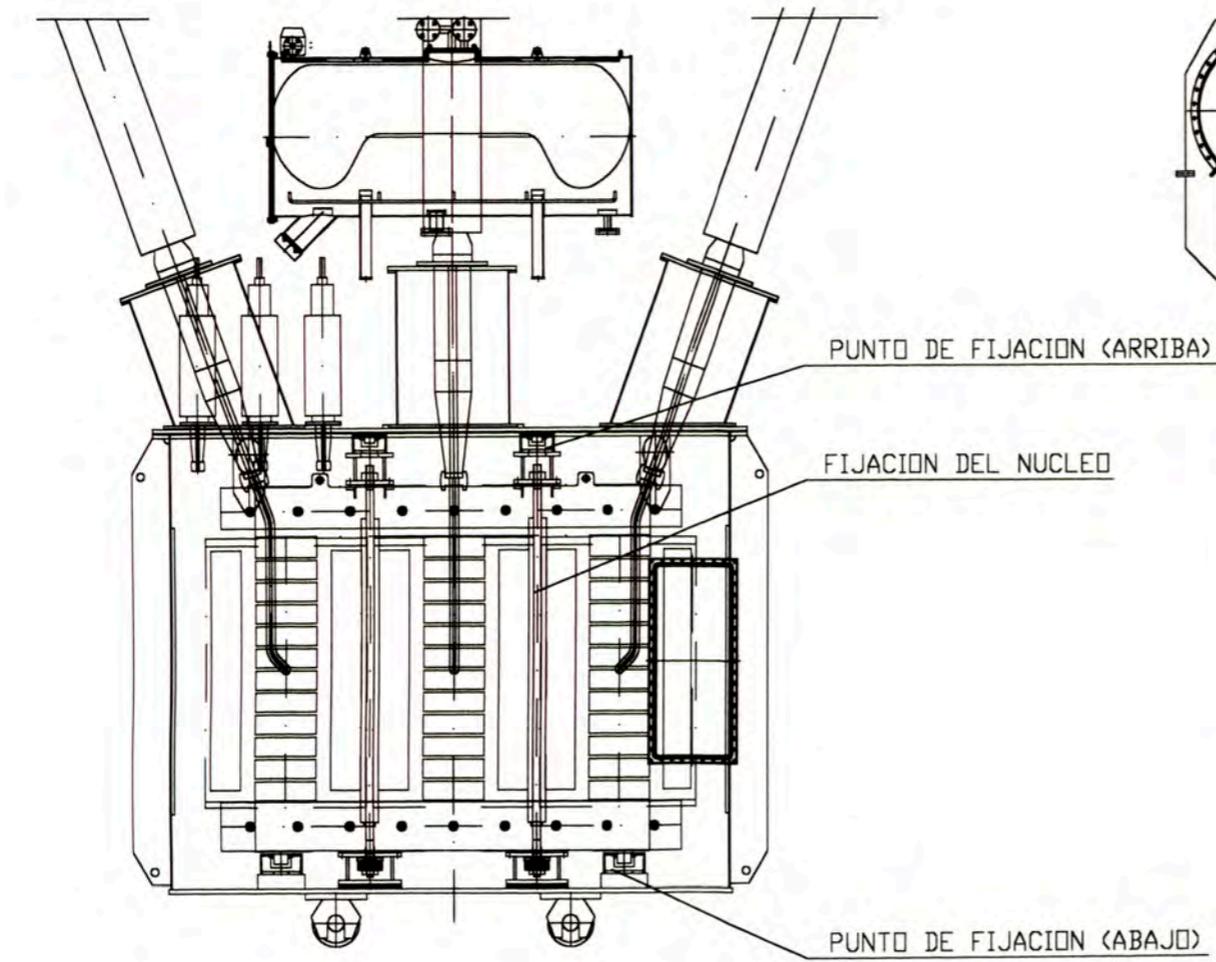
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA

**ARREGLO PARA TRANSPORTE DEL REACTOR
 DE 20 MVAR**

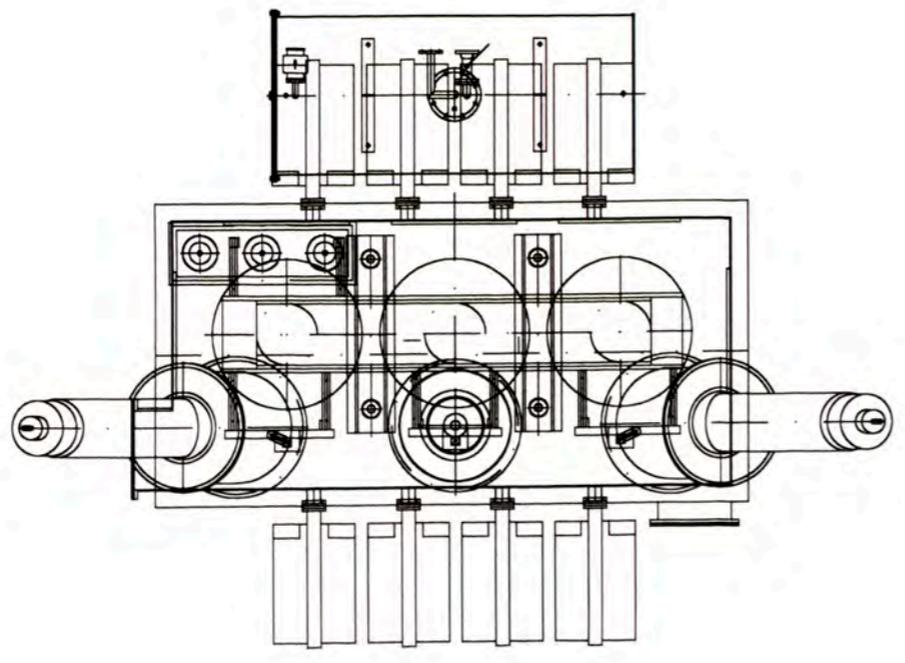
UBICACION: S.E. GUADALUPE ESCALA: S/E FECHA: 12.01.01

DISEÑO: N.DELOSRIOS DIBUJO: N.DELOSRIOS REVISADO: J.RAMOS APROBADO: J.RAMOS

MR-09



Placa base de la cuba



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA

ORGANIZACION IN
DE 21

UBICACION: LA LIBERTAD	ESCALA: S/E
DISEÑO: N.DELOSRIOS	DIBUJO: N.DELOSRIOS
REVISADO: J.RAMOS	

ANEXO A
PLANOS DEL PROYECTO

MR-01	Sistema Interconectado Nacional
MR-02	Sistema de Transmisión de ETECEN y Ubicación
MR-03	Diagrama Unifilar de las Instalaciones de la U.T. Norte
MR-04	Placa de Característica del Reactor 20 MVAR
MR-05	Diagrama de Válvulas, Tuberías y Dispositivos de Protección del Reactor
MR-06	Esquema Acotado del Reactor de 20 MVAR
MR-07	Diagrama Unifilar de la S.E. Guadalupe
MR-08	Disposición de Equipos de la S.E. Guadalupe
MR-09	Arreglo Para Transporte del Reactor de 20 MVAR
MR-10	Organización Interna del Reactor de 20 MVAR

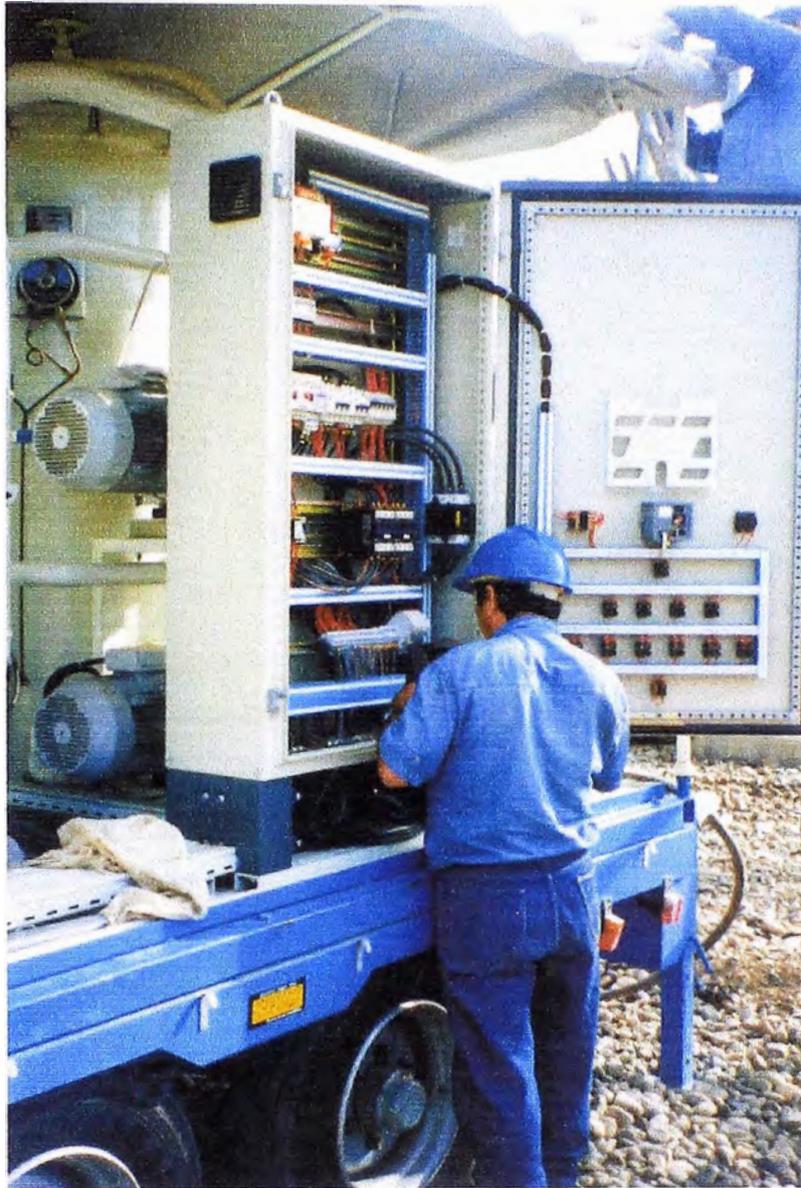
ANEXO B
INFORME FOTOGRÁFICO

ANEXO B

INFORME FOTOGRÁFICO

1. Instalación de planta de tratamiento de aceite
2. Montaje de Tanque de Expansión
3. Montaje de transformadores de corriente
4. Montaje de busching de alta tensión
5. Reparación de falla en cable de acometida de la fase “R”.
6. Conexión de relé Buchholz
7. Pruebas de rigidez dieléctrica del aceite de los cilindros
8. Pretratamiento del aceite por termo-vacio
9. Vacío del reactor
10. Conexiónado eléctrico en el reactor 20 MVAR
11. Conexiónado eléctrico de cableado de sala de control a tablero central del reactor
12. Pruebas en blanco
13. Conexiónado en Alta Tensión
14. Equipo de trabajo

1. Instalación de planta de tratamiento de aceite



1.1 Conexión eléctrica de la planta de tratamiento de aceite

2. Montaje de Tanque de Expansión

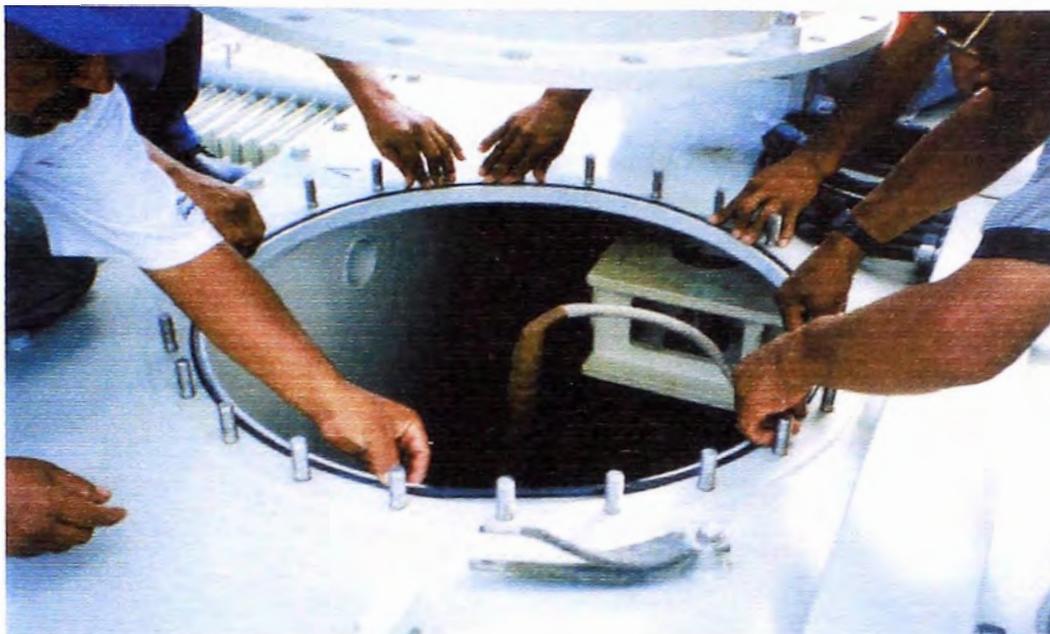


2.1 Montaje de estructura soporte del tanque de expansión



2.2 Montaje del tanque de expansión

3. Montaje de transformadores de corriente



3.1 Instalación de empaquetadura

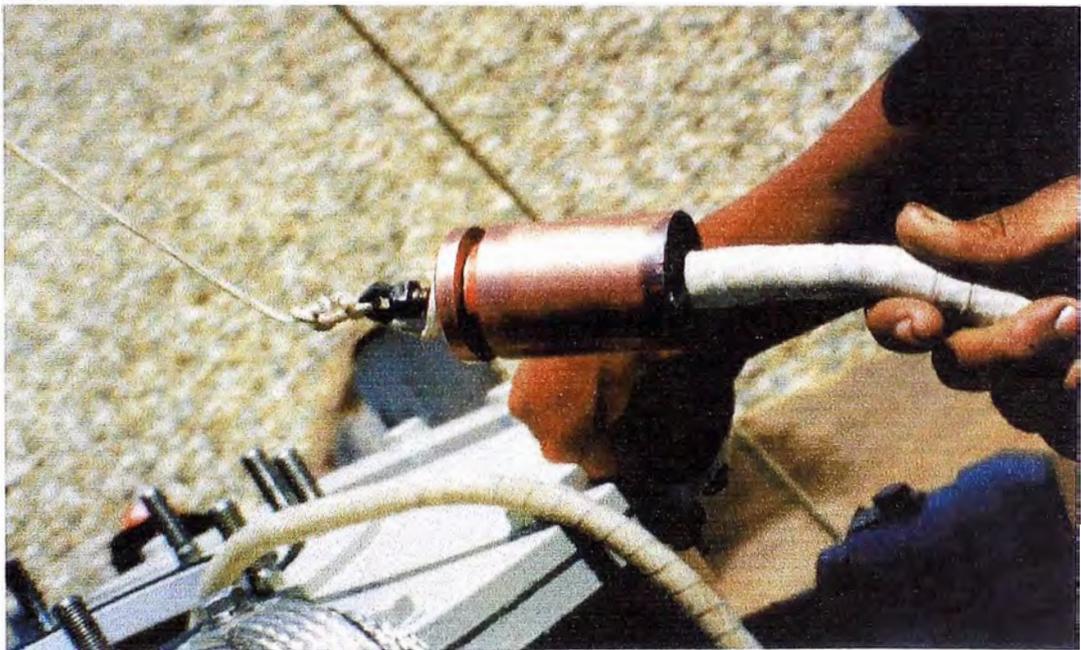


3.2 Izamiento de los transformadores de corriente toroidales

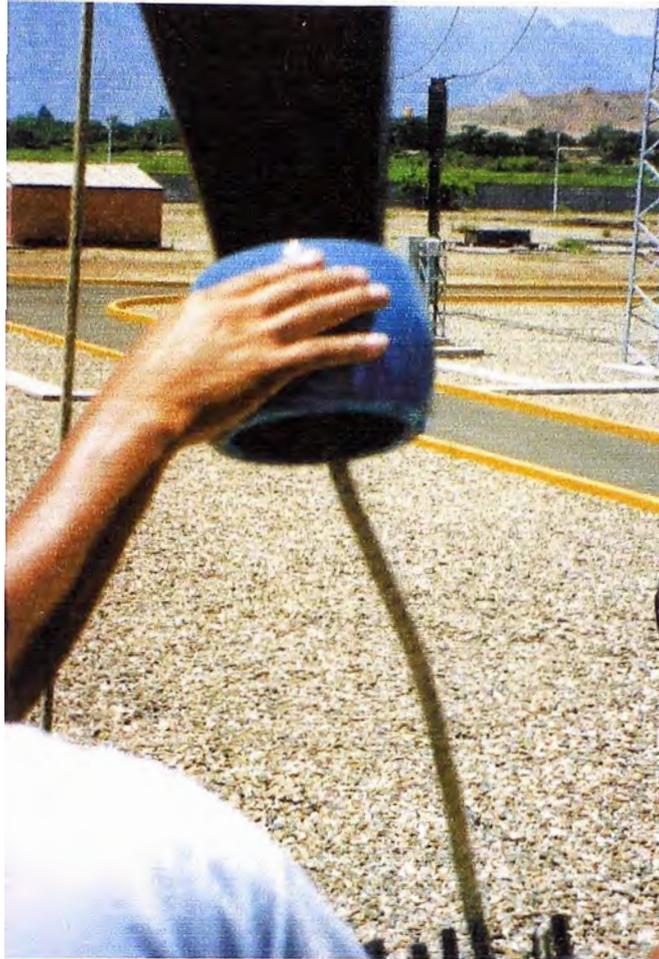
4. Montaje de bushing de alta tensión



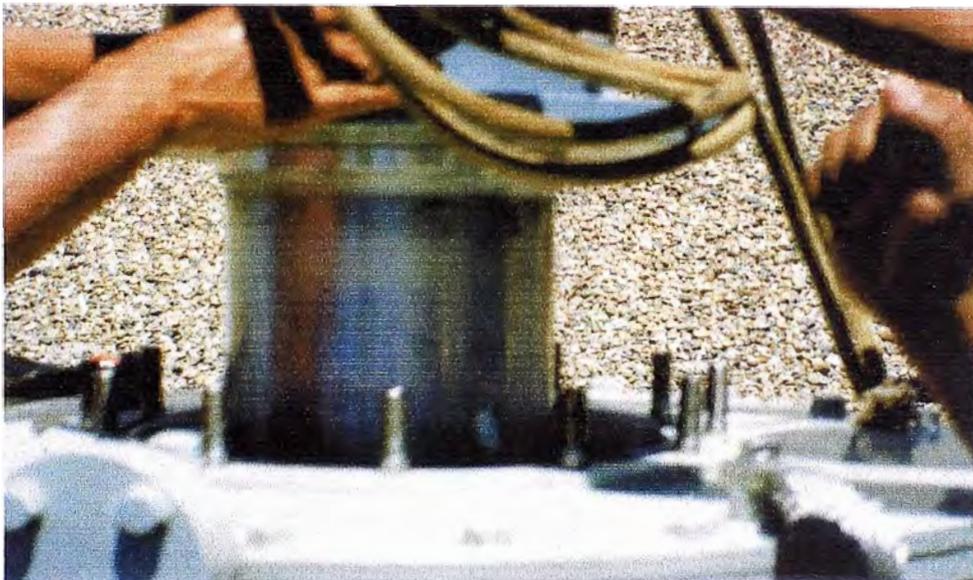
4.1 Limpieza e inspección de los bushings 220 kV



4.2 Amarre de cable de acometida para la instalación de los bushing

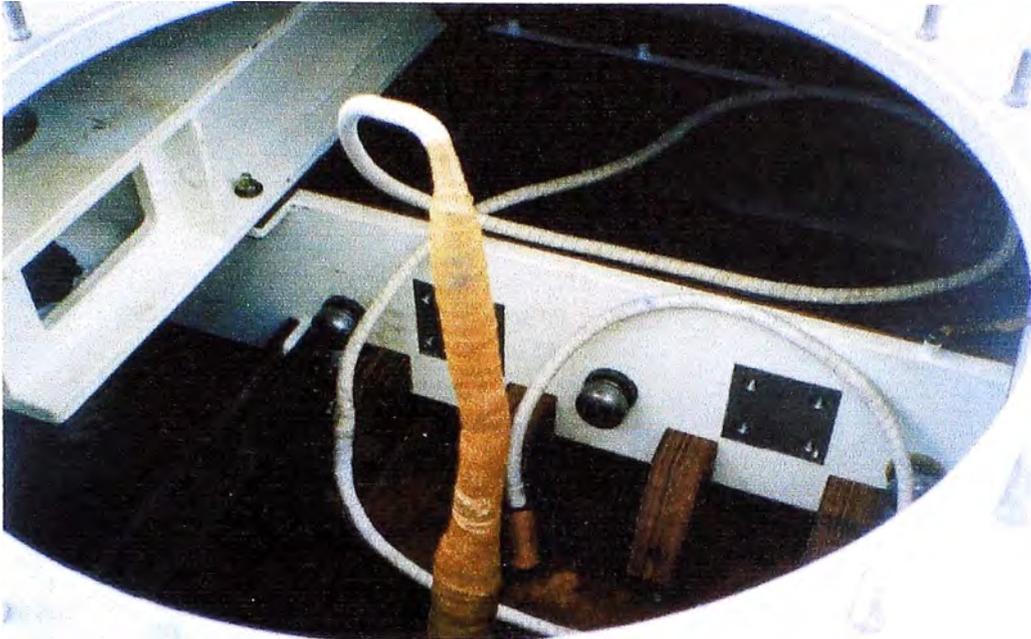


4.3 Montaje de bushing de alta tensión



4.4 Montaje de bushing de alta tensión

5. Reparación de falla en cable de acometida de la fase “R”.



5.1 Ubicación de la falla en cable de acometida



5.2 Aislamiento de la zona para iniciar los trabajos



5.3 Retiro de papel crepe dañado para aplicar una nueva capa de aislamiento



5.4 Cable de acometida con aislamiento de papel reparado

6. Conexión de relé Buchholz



6.1 Montaje de relé Buchholz



6.2 Aplicación de silicona para protección del empaque

7. Pruebas de rigidez dieléctrica del aceite de los cilindros



7.1 Extracción de muestra de aceite para su análisis



7.2 Prueba de rigidez dieléctrica con espinterometro BAUR

8. Pre-tratamiento del aceite por termo-vacío



8.1 Llenado de aceite de los cilindros hacia la bolsa contenedora mediante la planta de termo-vacío



8.2 Tratamiento del aceite de la bolsa contenedora por termo-vacío

9. Vacío del reactor



9.1 Sistema de vacío de la planta de termo-vacío



9.2 Control del proceso de vacío del reactor 20 MVar

10. Conexión eléctrica en el reactor 20 MVAR

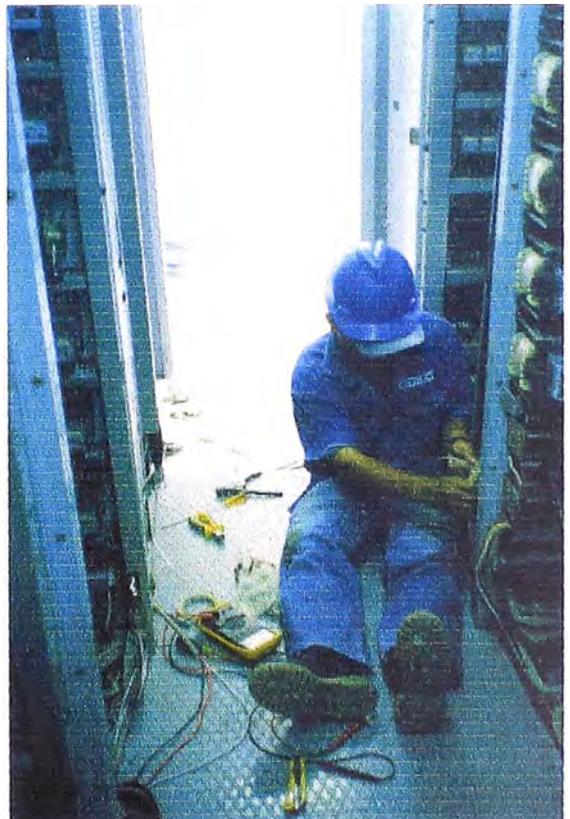


10.1 Conexión de las salidas del secundario de los transformadores de corriente

11. Conexión eléctrica de cableado de sala de control a tablero central del reactor



11.1 Conexión de cableado en caja de distribución del reactor

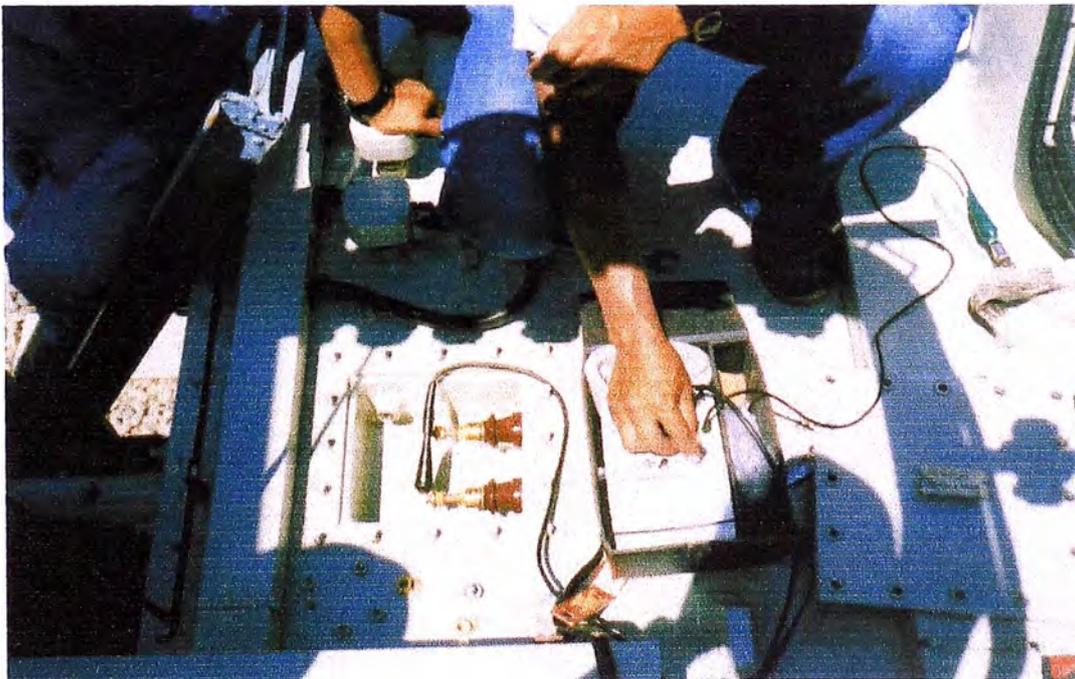


11.2 Verificación del cableado en sala de control

12. Pruebas en blanco



12.1 Pruebas de indicadores de temperatura



12.2 Medición del aislamiento

13. Conexionado de conductor en Alta Tensión

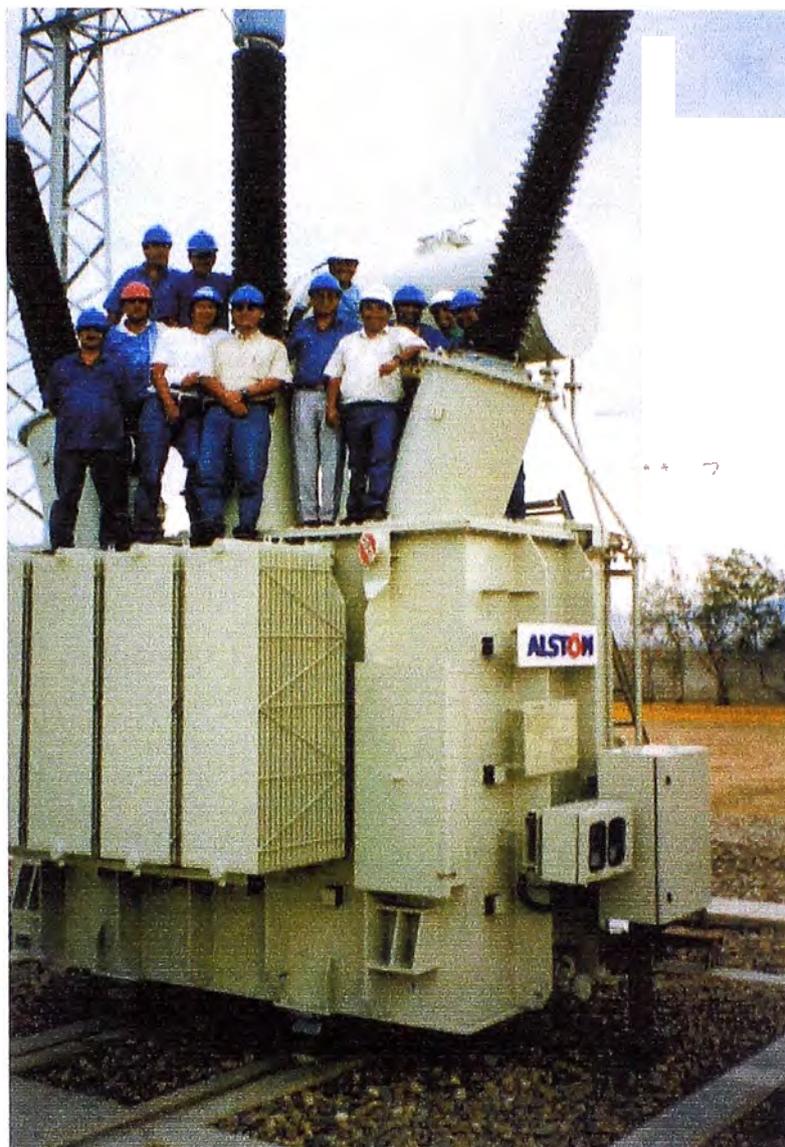


13.1 Conexionado bornas AT



13.2 Limpieza del aislamiento de los bushing

14. Equipo de trabajo



14.1 Personal participante en los trabajos de montaje del reactor de 20 MVar en la subestación Guadalupe

APÉNDICE C

ACTA DE ENERGIZACIÓN E INICIO DE LA OPERACIÓN EXPERIMENTAL

ACTA DE ENERGIZACIÓN E INICIO DE LA OPERACIÓN EXPERIMENTAL

PROYECTO: "Suministro, Transporte, Pruebas, Supervisión Y Puesta en Servicio de un Reactor de 20 MVAR en la S.E. Piura Oeste"

CONTRATO: CM3N-004-2000

FECHA: 31 de Enero del 2001

LUGAR: Subestación Guadalupe

1. PARTICIPANTES:

POR ETECEN (Propietario):

Ing. César Moreno Cueva

Ing. Néstor De Los Ríos Gonzáles

Ing. Javier Castro Mellado

Tec. Carlos Zapata Ballena

POR ALSTOM HOLDINGS SUCURSAL DEL PERU (Contratista):

Ing. Hernán Carrero Hurtado

Ing. Pedro Sánchez Huapaya

2. ACTIVIDADES PREVIAS A LA ENERGIZACION E INICIO DE LA OPERACIÓN EXPERIMENTAL

2.1 El 12.01.2001 se recepcionó la cuba del reactor en la S.E. Guadalupe; ubicándose en su lugar de operación el 14.01.2001.

2.2 El 17.01.2001 se recepcionaron en la S.E. Guadalupe los accesorios del reactor (tanque de expansión, cúpulas, radiadores y 78 cilindros de aceite); con la excepción de los bushings. Durante la descarga se observó un radiador dañado; lo cual fue comunicado al Ing. Hernán Carrero de ALSTOM mediante Oficio N° T-022-2001 del 23.01.2001.

2.3 El 20.01.2001 se recepcionan en la S.E. Guadalupe los bushings, los cuales se encontraron en buen estado.

2.4 El 22.01.2001 se inició el montaje del reactor a cargo de ETECEN con la supervisión técnica del especialista de ALSTOM Sr. Lucio Angeles Carranza. El montaje y pruebas de campo se culminaron el 28.01.2001, con resultados satisfactorios.

2.5 Mediante Oficio N° T-034-2001 ETECEN comunica a ALSTOM la culminación del montaje del reactor y a la vez solicita su participación, supervisión y conformidad para el Protocolo de Pruebas en Blanco y la Energización e Inicio de la Operación experimental, programada para el 31.01.2001 a las 14:00 horas.

2.6 El Protocolo de Pruebas en Blanco, realizadas el 30 y 31.01.2001 resultaron satisfactorias, los cuales consistieron en:

- Verificación integral del montaje y suministro
- Pruebas de aislamiento y factor de potencia
- Pruebas de rigidez dieléctrica del aceite
- Prueba de punto de rocío
- Pruebas de las protecciones propias del reactor (Buchholz, temperatura del aceite, temperatura del arrollamiento, válvula de sobrepresión, indicador del nivel de aceite, relé de flujo tanque conservador)
- Pruebas de la protección de sobre corriente, verificación del relé diferencial de barras 220 kV y relé de sobretensión de barras 220 kV.

3. ACUERDOS

3.1 De acuerdo a los resultados de las pruebas en blanco, ALSTOM mediante documento HC/kg/T&D/C4083-01 del 30.01.2001, da su conformidad y autorización para la energización e inicio de la operación experimental a partir del 31.01.2001.

3.2 ETECEN entregará a ALSTOM un (01) juego de los protocolos de pruebas en blanco e incluirá en los seis (06) volúmenes del Manual del Reactor.

3.3 Los representantes de ETECEN y ALSTOM dieron su conformidad para el inicio del programa de maniobras de Energización del Reactor de 20 MVAR de la S.E. GUADALUPE, elaborado por el Centro de Control de ETECEN; con lo cual se da inicio a la Operación Experimental por un periodo de treinta (30) días calendario.

4. PENDIENTES

4.1 ALSTOM entregará a la brevedad posible un (01) CD conteniendo los Planos Como Construido en CAD versión 14.0, los cuales deben mostrar en detalle tal como ha quedado instalado el reactor.

4.2 De acuerdo a las Especificaciones Técnicas, numeral 6.2 está pendiente la entrega por parte de ALSTOM, la información referida a la organización interna del reactor y especialmente en lo que se refiere a la sujeción del bobinado.

4.3 Referente a lo solicitado por ETECEN con Oficio N° T-022-2001 del 23.01.2001, el cambio de un radiador dañado; ALSTOM manifiesta que dentro del periodo de operación experimental, dos (02) especialistas de su fábrica visitarán la S.E. Guadalupe para inspeccionar el reactor instalado y dar propuestas de solución. Sin embargo ETECEN manifiesta que el radiador está reparado en forma provisional y solicita su cambio de acuerdo al numeral 11.3 del Contrato N° CM3N-004-2000.

En señal de conformidad con los términos del presente Acta, suscriben el 31 de enero del 2001.

ANEXO D
PROTOCOLO DE PRUEBAS EN BLANCO DEL REACTOR DE 20 MVAR

ANEXO D

PROTOCOLO DE PRUEBAS EN BLANCO DEL REACTOR DE 20 MVAR

- Pruebas de punto de rocío
- Medición de resistencia de aislamiento
- Medición de rigidez dieléctrica del aceite
- Pruebas de factor de potencia del aislamiento
- Pruebas de corriente de excitación e inductancia de los devanados del reactor
- Prueba de relé de sobrecorriente
- Control final
- Análisis de físico – químico del aceite aislante
- Análisis Cromatográfico del aceite aislante



GERENCIA DE TRANSMISIÓN PRUEBAS DE PUESTA EN SERVICIO REACTOR 20 MVAR 225 kV. N° SERIE 316035	MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO	FECHA: 30.01.2001
--	---	-------------------

Subestación: GUADALUPE

Equipo Intervenido Reactor R-5	Fechas de ejecución <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 25%;">Fecha inicio</th> <th style="width: 25%;">Fecha final</th> <th style="width: 25%;">N° días</th> <th style="width: 25%;">Horario</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">30.01.2001</td> <td style="text-align: center;">30.01.2001</td> <td style="text-align: center;">01</td> <td></td> </tr> </table>	Fecha inicio	Fecha final	N° días	Horario	30.01.2001	30.01.2001	01	
Fecha inicio	Fecha final	N° días	Horario						
30.01.2001	30.01.2001	01							

Conexiones	Tensión de Ensayo	15 s (MΩ)	30 s (MΩ)	45 s (MΩ)	60 s (MΩ)	PE (60/30)
Alta Tensión – Masa	5 kV	7500	8500	9000	10000	1.17
Núcleo – Masa	1 kV	-	-	-	11000	-

Equipo Utilizado : Megohmetro 5000 V AEMC, modelo 5000N, N° Serie 145259WFV
 Temperatura Ambiente : 30 °C
 Humedad Relativa : 50 %

Observaciones: Resultados satisfactorios.



GERENCIA DE TRANSMISIÓN PRUEBAS DE PUESTA EN SERVICIO REACTOR 20 MVAR 225 kV N° SERIE 316035	MEDICIÓN DE RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE	FECHA: 30.01.2001
--	--	-------------------

Subestación: GUADALUPE

Equipo intervenido Reactor R-5	Fechas de ejecución <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <th>Fecha inicio</th> <th>Fecha final</th> <th>N° días</th> <th>Horario</th> </tr> <tr> <td>30.01.2001</td> <td>30.01.2001</td> <td>01</td> <td></td> </tr> </table>	Fecha inicio	Fecha final	N° días	Horario	30.01.2001	30.01.2001	01	
Fecha inicio	Fecha final	N° días	Horario						
30.01.2001	30.01.2001	01							

Muestra	Resultados de los Ensayos (kV)						Promedio (kV)
	1	2	3	4	5	6	
1	78	77	79	78	78	79	78.1
2							
3							

Equipo Utilizado : Espinterómetro Baur Tipo PGO S-3, N° Serie 85 07 34/7
 Temperatura Ambiente :
 Humedad Relativa :

Observaciones: Resultados Satisfactorios. Prueba realizada bajo la Norma IEC-156



GERENCIA DE TRANSMISIÓN
 PRUEBAS DE PUESTA EN
 SERVICIO REACTOR 20 MVAR
 225 kV
 N° SERIE 316035

PRUEBAS DE FACTOR DE POTENCIA DEL AISLAMIENTO

FECHA: 30.01.2001

Subestación:

GUADALUPE

Equipo Intervenido

Reactor R-5

Fechas de ejecución

Fecha inicio	Fecha final	N° días	Horario
30.01.2001	30.01.2001	01	

Aislamiento Medido	Tensión de Ensayo (kV)	Factor de Potencia Medido (%)	Factor de Potencia a 20 °C (%)	Capacitancia (pF)
General (Overall)	10	0.32	0.30	6417
Bushing Terminal U (Fase R)	10	0.46	0.52	437.1
Bushing Terminal V (Fase S)	10	0.46	0.52	438.1
Bushing Terminal W (Fase T)	10	0.46	0.52	439.1
Bushing Neutro (N)	10	0.43	0.49	132.7

Equipo Utilizado : Analizador de Aislamiento Doble M4000
 Temperatura Ambiente : 32 °C
 Humedad Relativa : 45%

Observaciones: Resultados satisfactorios

[Handwritten signatures]

GERENCIA DE TRANSMISIÓN PRUEBAS DE PUESTA EN SERVICIO REACTOR 20 MVAR 225 kV N° SERIE 316035	PRUEBAS DE CORRIENTE DE EXCITACIÓN E INDUCTANCIA DE LOS DEVANADOS DEL REACTOR	FECHA: 30.01.2001
--	--	-------------------

Subestación: GUADALUPE

Equipo intervenido Reactor R-5	Fechas de ejecución			
	Fecha inicio	Fecha final	N° días	Horario
	30.01.2001	30.01.2001	01	

Medida Realizada	Tensión de Ensayo (kV)	Corriente (mA)	Inductancia (H)	Observaciones
Terminales 1U - N	0.500	4350	6.114	
Terminales 1V - N	0.500	4365	6.092	
Terminales 1W - N	0.500	4351	6.113	

Equipo Utilizado : Analizador de Aislamiento Doble M4000
 Temperatura Ambiente :
 Humedad Relativa :

Observaciones: Los resultados obtenidos pasan a formar parte del historial del equipo para fines de Mantenimiento.





GERENCIA DE TRANSMISIÓN PRUEBAS DE PUESTA EN SERVICIO REACTOR 20 MVAR 225 kV N° SERIE 316035	PRUEBA DE RELÉ DE SOBRECORRIENTE	FECHA: 30.01.2001																																																
Subestación: GUADALUPE																																																		
Equipo intervenido Sistema de Protección Reactor R-5	Fechas de ejecución																																																	
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 25%;">Fecha inicio</th> <th style="width: 25%;">Fecha final</th> <th style="width: 25%;">N° días</th> <th style="width: 25%;">Horario</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">30.01.2001</td> <td style="text-align: center;">30.01.2001</td> <td style="text-align: center;">01</td> <td></td> </tr> </table>	Fecha inicio	Fecha final	N° días	Horario	30.01.2001	30.01.2001	01																																										
Fecha inicio	Fecha final	N° días	Horario																																															
30.01.2001	30.01.2001	01																																																
Ajustes: <table style="width: 100%; margin-left: 100px;"> <tr> <td style="text-align: right;">$I(r)$</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: right;">T (s)</td> <td style="text-align: center;">0.3</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">I_0</td> <td style="text-align: center;">0.2</td> <td style="text-align: right;">T_0 (s)</td> <td style="text-align: center;">0.3</td> </tr> </table>			$I(r)$	1	T (s)	0.3	I_0	0.2	T_0 (s)	0.3																																								
$I(r)$	1	T (s)	0.3																																															
I_0	0.2	T_0 (s)	0.3																																															
Pruebas: I arranque: I fase R = 1.18 A I fase T = 1.20 A I Neutro = --																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2" style="width: 10%;">x In</th> <th rowspan="2" style="width: 15%;">Tiempo Teórico</th> <th colspan="3" style="width: 70%;">Tiempo Medido (s)</th> </tr> <tr> <th style="width: 20%;">Fase R</th> <th style="width: 20%;">Fase T</th> <th style="width: 30%;">Neutro</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td style="text-align: center;">1.000</td><td style="text-align: center;">1.020</td><td style="text-align: center;">1.020</td><td style="text-align: center;">1.060</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">3</td><td></td><td style="text-align: center;">0.626</td><td style="text-align: center;">0.626</td><td style="text-align: center;">0.742</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">4</td><td></td><td style="text-align: center;">0.502</td><td style="text-align: center;">0.503</td><td style="text-align: center;">0.590</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">5</td><td></td><td style="text-align: center;">0.425</td><td style="text-align: center;">0.426</td><td style="text-align: center;">0.519</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">6</td><td></td><td style="text-align: center;">0.383</td><td style="text-align: center;">0.382</td><td style="text-align: center;">0.482</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">8</td><td></td><td style="text-align: center;">0.340</td><td style="text-align: center;">0.340</td><td style="text-align: center;">0.428</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">10</td><td style="text-align: center;">0.300</td><td style="text-align: center;">0.311</td><td style="text-align: center;">0.310</td><td style="text-align: center;">0.380</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">15</td><td></td><td style="text-align: center;">0.261</td><td style="text-align: center;">0.260</td><td style="text-align: center;">0.322</td></tr> </tbody> </table>			x In	Tiempo Teórico	Tiempo Medido (s)			Fase R	Fase T	Neutro	2	1.000	1.020	1.020	1.060	3		0.626	0.626	0.742	4		0.502	0.503	0.590	5		0.425	0.426	0.519	6		0.383	0.382	0.482	8		0.340	0.340	0.428	10	0.300	0.311	0.310	0.380	15		0.261	0.260	0.322
x In	Tiempo Teórico	Tiempo Medido (s)																																																
		Fase R	Fase T	Neutro																																														
2	1.000	1.020	1.020	1.060																																														
3		0.626	0.626	0.742																																														
4		0.502	0.503	0.590																																														
5		0.425	0.426	0.519																																														
6		0.383	0.382	0.482																																														
8		0.340	0.340	0.428																																														
10	0.300	0.311	0.310	0.380																																														
15		0.261	0.260	0.322																																														
Señalización: <u>OK</u> Disparos: <u>OK</u>																																																		
Equipo Utilizado: Doble F2252 N° Serie 069801155																																																		
Observaciones: De las pruebas inicialmente se obtuvieron valores incorrectos de tiempo para el Neutro. Se realizó mantenimiento al relé (ajuste, limpieza de contactos) obteniéndose mejora en Los resultados. Queda operativo. Se recomienda en próxima intervención realizar su cambio.																																																		



GERENCIA DE TRANSMISIÓN
 PRUEBAS DE PUESTA EN
 SERVICIO REACTOR 20 MVAR
 225 kV
 N° SERIE 316035

CONTROL FINAL

FECHA: 31.01.2001

Subestación: GUADALUPE

Equipo intervenido
 Reactor R-5

Fechas de ejecución

Fecha inicio	Fecha final	N° días	Horario
31.01.2001	31.01.2001	01	

1	Puesta a tierra : Cuba	OK	9	Dispositivo de sobrepresión de la cuba	OK
	Neutro	OK	10	Indicador de nivel de aceite	OK
2	Separación de ruedas	OK	11	Monitoreo de temperaturas	OK
3	Posición de válvulas : Radiadores	OK	12	Transformador de corriente : Revisión de terminales	OK
			Terminales aterrados	OK
4	Nivel de aceite : Cuba	OK	13	Termómetro aceite : Alarma 65 °C	OK
5	Purga : Radiadores	OK		Disparo 105 °C	OK
	: Bushings	OK	14	Termómetro devanado : Alarma 65 °C	OK
	: Relé buchholz	OK		Disparo 105 °C	OK
6	Prueba de Fugas : Cuba	OK	15	Acabado (Pintura) : Sin daños	OK
	Radiadores	OK		Daños menores	---
	Conservador	OK	16	Esfuerzo dieléctrico del aceite 78 kV/2.5 mm	OK
	Bushings	OK	17		
	Uniones	OK	18		
	Válvulas	OK	19		
7	Deshidratador : Operación	OK	20		
8	Relé Buchholz : Cuba	OK	22		
	Conservador	OK	22		

Observaciones



HISTORIA DEL ANALISIS FISICO-QUIMICO DEL ACEITE AISLANTE

TC N° . 2001/071

DATOS DEL TRANSFORMADOR

Planta : ETECEN
Estación : Guadalupe .
Fabricante : Alstom
Potencia : 20 MVA
Interruptor bajo carga : No.
Transformador en operación : Si.

No. de Serie : 316025
Año de fabricación : 2000
Peso del aceite : 13100 Kg.
Tensión : 225 KV
Tanque separador : No.

Fecha de tratamiento o reparación :

Fecha del tratamiento o reparación :

Motivo del análisis : Se cumplimiento del aceite aislante.

Fecha	Indice de Acidez (mgKOH/gr) (ASTM D974)	Rigidez dieléctrica (KV) (ASTM D1816)	Contenido de Agua (Karl Fisher) (ppm) (ASTM D1533)	Pérdidas dieléctricas a 25°C (%) (ASTM D924)	Tensión Interfacial (dy/cm) (ASTM D971)	Observaciones
02/2001	0.01 AC	62 AC	7 AC	0.015 AC	42 AC	

Limites aceptables :
Indice de Acidez : < 0.05
Rigidez dieléctrica : > 30
Contenido de Agua : < 30
Pérdidas dieléctricas : < 0.1
Tensión Interfacial : > 28

Abreviatura : AC : Aceptable CU : Cuestionable IN : Inaceptable

Observaciones :

- El valor de Indice de Neutralización (acidez) y Tensión interfacial se encuentran dentro de los límites aceptables .
- El valor de Rigidez dieléctrica y Contenido de agua se encuentran dentro de los límites aceptables .
- El valor de Perdidas dieléctricas se encuentra dentro del limite aceptable .

Recomendaciones :

- Realizar un nuevo análisis Físico-Químico dentro de doce meses para llevar un mejor control del aceite .

Electro Service S.A.

Luis Trujillo

Analista

Ing. Luis Trujillo Pizarro



Vº

Electro Service S.A.

BONILLA

Fecha de análisis : 9-12-01



HISTORIA DEL ANALISIS CROMATOGRAFICO DEL ACEITE AISLANTE

TC N° . 2001/044

DATOS DEL TRANSFORMADOR

Nombre :	ETECEN	No. de Serie :	316025
Destación :	Guadalupe	Año de fabricación :	2000
Fabricante :	Alstom	Peso del aceite :	13100 Kg.
Potencia :	20 MVA	Tensión :	225 KV
Operador bajo carga :	No.	Tanque separador :	No
Transformador en operación :	Si.	Fecha de muestreo :	01/02/2001

Fecha de tratamiento o reparación :
 Fecha del tratamiento o reparación :
 Tipo del análisis :

Seguimiento del aceite aislante .

Gases analizados		Resultados (ppmv)	Valores limites S.D. Myers
Hidrogeno	(H2)	ND	<150
Oxigeno	(O2)	1000	0.2-3.5%
Nitrógeno	(N2)	2000	1-10%
Metano	(CH4)	ND	<25
Monóxido de Carbono	(CO)	ND	<500
Dióxido de Carbono	(CO2)	430	<10,000
Etileno	(C2H4)	ND	<20
Etano	(C2H6)	ND	<10
Acetileno	(C2H2)	ND	<5
TOTAL DE GASES COMBUSTIBLES		0	<500
TOTAL GENERAL DE GASES		3430	

NOTA : ND = No detectado

LT = Leves trazas (<1.0 ppmv)

Norma de análisis : ASTM D3612

Observaciones :

Esta muestra se tomará como punto de partida para el seguimiento e historial de este transformador .

Recomendaciones :

Debido a que el transformador recién inicia su trabajo, sugerimos la extracción de una nueva muestra para análisis cromatográfico dentro de 3 meses .

Electro Service S.A.

Analista

Luis Trujillo Pizarro

Electro Service S.A.

VºBº

MA

NILLA

Fecha de análisis : 9-2-01

Electro Service

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. ALSTOM, “Instrucciones de Operación para Reactor 20 MVAR”, 2000.
- [2]. WESTINGHOUSE, “Manual de Instrucciones Transformador de 100 MVA”, 1984.
- [3]. ITALTRAFO, “Transformatori di Media e Grande Potenza – Istruzioni di Montaggio e Manutenzione”.
- [4]. Jorge Ramos Carrión, “Apuntes de Transformadores de Potencia y Pruebas”, UNIFIEE, 2001.
- [5]. MEM-DEP, “Especificaciones Técnicas de Montaje Electromecánico para Subestaciones”, MEM/DEP-223, 2001.
- [6]. Armando Aguilar Sánchez, “Mantenimiento de Transformadores en Aceite”, Perú.
- [7]. NYNAS, “Manual de Aceites de Transformador”, 1982.