



Centros de transformación

1. INTRODUCCION

La presente guía aborda el riesgo existente en centros de transformación de energía eléctrica de una forma sencilla de cara a facilitar la identificación de los riesgos presentes en este tipo de instalaciones, pudiendo así afrontar su tratamiento para la reducción o eliminación del mismo.

La ubicación de los centros de transformación ya sea exterior o interior a edificios va a definir buen número de las condiciones de protección a exigir. Por otro lado los transformadores tendrán un mayor riesgo en función de su tipología constructiva, así los transformadores de tipo seco o encapsulados generalmente el riesgo que suelen comportar es el de que en caso de fallo de funcionamiento dejará sin servicio a las instalaciones que sirva con el consiguiente perjuicio consecuencial. Por otra parte los transformadores de tipo sumergido en un líquido con funciones de tipo dieléctrico y refrigerante comportará el riesgo añadido de ser generalmente combustible lo que comportará además una carga de fuego y por tanto en caso de incendio unos daños directos de mayor extensión. Dentro de los líquidos refrigerantes empleados los aceites minerales comportan mayor riesgo frente a los aceites a base de siliconas al tener un menor punto de inflamación (comprendido entre los 165 °C y los 300 °C). Los aceites refrigerantes conocidos como piralenos tienen el riesgo adicional de su elevada toxicidad en caso de incendio por lo que su uso está prohibido.

Unas malas condiciones de mantenimiento, sobrecargas, obstrucción de los conductos de ventilación, etc. puede llegar a producir fuertes calentamientos de los aparatos con rápida generación de vapores e incluso descomposición del aceite que, aun actuando las protecciones, puede dar lugar a la emisión y proyección de llamas.

2. PROTECCIONES DE LA INSTALACION.

2.1. IMPLANTACIÓN DE LAS INSTALACIONES.

Las condiciones generales de seguridad que deben disponer estos locales y edificios son las siguientes:

- **Inaccesibilidad:** Los edificios o locales destinados a alojar en su interior instalaciones de alta tensión deberán disponerse de forma que queden cerrados de tal manera que se impida el acceso de las personas ajenas al servicio.



Ilustración 1: Salas de transformadores con acceso exclusivo desde el exterior y controlado.

- **Conducciones y almacenamiento de agua:** Debe evitarse la instalación de conducciones de agua, calefacción, vapor y de cualquier otro servicio ajeno a la instalación eléctrica en el interior del recinto de los centros de transformación, dado que su rotura podría provocar avería en la instalación eléctrica.

- **Celdas:** Cuando en la instalación de alta tensión se utilicen aparatos o transformadores que contengan aceite u otro dieléctrico combustible con capacidad superior a 50 litros se establecerán tabiques de separación entre ellos, a fin de cortar en lo posible los efectos de la propagación de una explosión y del derrame del líquido.

Los interruptores de aceite o de otros dieléctricos inflamables, sean o no automáticos, cuya maniobra se efectúe localmente, estarán separados del operador por un tabique o pantalla de material incombustible y mecánicamente resistente, con objeto de protegerlo contra los efectos de una posible proyección de líquido o explosión en el momento de la maniobra.

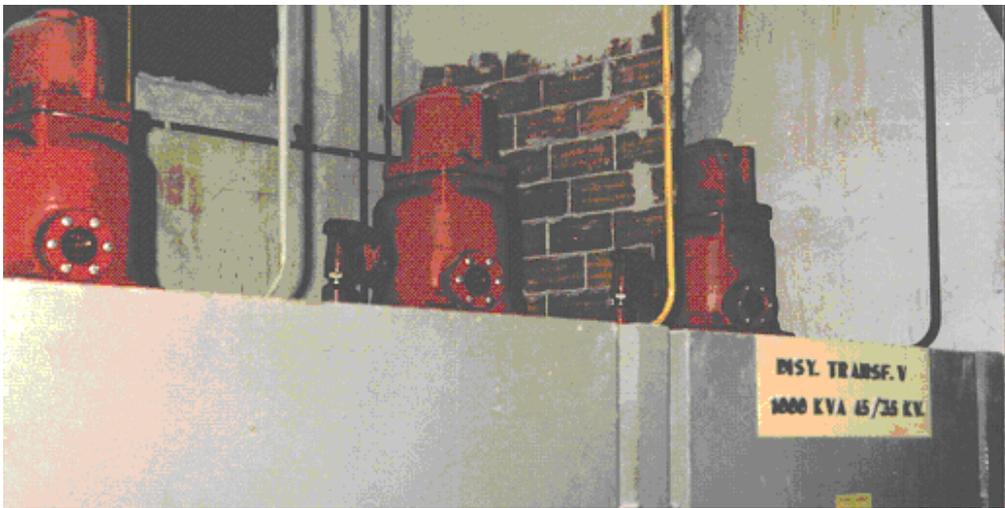


Ilustración 2: Los interruptores de aceite suponen un riesgo adicional de incendio

- Ventilación: Para conseguir una buena ventilación en las celdas, locales de los transformadores, etc., con el fin de evitar calentamientos excesivos, se dispondrán entradas de aire adecuadas por la parte inferior y salidas situadas en la parte superior, en el caso en que se emplee ventilación natural. Alternativamente la ventilación podrá ser forzada.

Los huecos destinados a la ventilación deben estar protegidos de forma tal que impidan el paso de pequeños animales, cuando su presencia pueda ser causa de averías o accidentes y estarán dispuestos o protegidos de forma que en el caso de ser directamente accesibles desde el exterior, no puedan dar lugar a contactos inadvertidos al introducir por ellos objetos metálicos. Su disposición será tal que se dificulte la entrada de agua.

- Paso de líneas y canalizaciones eléctricas a través de paredes, muros y tabiques de construcción: Las entradas de las líneas eléctricas aéreas al interior de los edificios que alojan las instalaciones eléctricas de interior se realizarán a través de aisladores pasantes dispuestos de modo que eviten la entrada de agua, o bien utilizando conductores provistos de recubrimientos aislantes. Para el sellado de los huecos se emplearán materiales resistentes al fuego con objeto de dificultar la propagación de un posible incendio.



Ilustración 3: Los pasamuros de las conducciones eléctricas deben sellarse para obtener una adecuada compartimentación

Las galerías subterráneas, zanjas y tuberías para alojar conductores deberán ser amplias y con ligera inclinación hacia los pozos de recogida de aguas, o bien estarán provistas de tubos de drenaje.

2.2. DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD DEL TRANSFORMADOR.

Dentro de las protecciones que acompañan a los centros de transformación con independencia del tipo de transformador del que se trate: seco o sumergido en dieléctrico líquido, deberán disponer de unas protecciones eléctricas mínimas como cualquier otro receptor eléctrico siguiendo las instrucciones de los fabricantes:

- Contra sobrintensidades: La protección se realizará con relés directos (magnetotérmicos) o indirectos (electrónicos).
- Contra cortocircuitos: Se realizará mediante fusibles cuya intensidad sea entre 1,5 a 2 veces la intensidad del transformador.

Como elementos accesorios se suministran de forma optativa otras protecciones, de las cuales las más frecuentes son:

- **Contra sobretensiones:** En zonas de alta frecuencia de caída de rayos y especialmente cuando las líneas de alta tensión se reciben de forma aérea, existe el riesgo de que un rayo que caiga sobre la línea eléctrica dañe al transformador.

Con objeto de proteger a los centros de transformación frente a posibles daños a consecuencia de sobreintensidades de origen atmosférico, así como debidas a maniobras inadecuadas en las líneas de distribución eléctrica, es aconsejable la instalación de pararrayos en la entrada de alta tensión lo más cerca posible de las bornas del transformador (ver Ilustración 4).

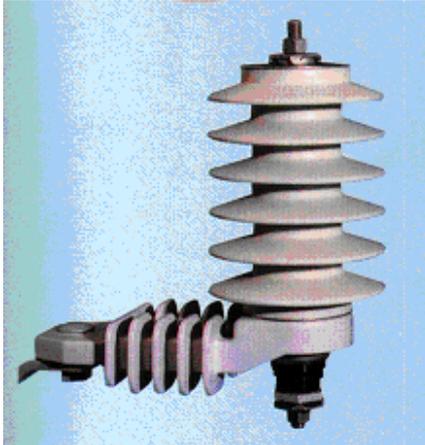


Ilustración 4:
Pararrayos para disposición de líneas en alta tensión. De especial importancia es el adecuado mantenimiento de la puesta a tierra con objeto de garantizar su eficacia. Fotografía cedida por INAEL e IMEFY.

- **Contra sobretemperaturas:** En los transformadores a partir de 500 KVA de potencia, es recomendable la disposición de protecciones contra sobretemperaturas con objeto de parar el funcionamiento con antelación a que se produzca una avería catastrófica. Estas protecciones que se suelen suministrar con el transformador de modo opcional se realizan en transformadores sumergidos a través de termómetros o relés multifunción (termostatos) que toman la temperatura del líquido dieléctrico dependiendo las temperaturas de aviso y disparo de las características de combustibilidad del líquido dieléctrico. En los transformadores de tipo seco la protección suele consistir en detectores térmicos situados en el interior del devanado de baja tensión.

- En transformadores sumergidos, en caso de defecto en el funcionamiento del transformador se liberan gases por descomposición del dieléctrico. Con objeto de detectar esta situación a través de los gases desprendidos se coloca la protección conocida como relé Buchholz (ver Ilustración 5) con la finalidad de desconectar automáticamente el transformador en caso de detectar estos gases.



Ilustración 5:
Relé Buchholz. Su disposición se realiza entre la cuba que contiene los devanados del transformador y el vaso de expansión del dieléctrico.

Otras protecciones para el funcionamiento del transformador optativas son: relé de presión súbita, protección contra carga desequilibrada (para evitar desequilibrios importantes de carga en las diferentes fases del transformador), bobinas de reactancia (para la delimitación de la corriente de cortocircuito), indicador de nivel de líquido dieléctrico, deshumificador, válvulas de alivio de presión. etc.

2.3. PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS.ç

2.3.1. Instalaciones en el exterior

En centros de transformación situados en el exterior, se deberán adoptar los materiales y los dispositivos de protección que eviten en la medida de lo posible la aparición o la propagación de incendios en las instalaciones eléctricas de alta tensión teniendo en cuenta:

- La propagación del incendio a otras partes de la instalación.
- La posibilidad de propagación del incendio al exterior de la instalación por lo que respecta a daños a terceros.
- La gravedad de las consecuencias debidas a los posibles cortes de servicio.

Los riesgos de incendio se particularizan principalmente en los transformadores o reactancias aislados con líquidos combustibles, en los que se tomarán una o varias de las siguientes medidas:

- a) Dispositivos de protección rápida que corten la alimentación de todos los arrollamientos del transformador. No es necesario el corte en aquellos arrollamientos que no tengan posibilidad de alimentación de energía eléctrica.
- b) La construcción de fosas colectoras del líquido aislante. Estas cubas o fosas colectoras no es necesario que se dimensionen para la totalidad del líquido aislante del transformador e incluso pueden eliminarse cuando la tierra contaminada pueda retirarse y el líquido aislante no pueda derramarse en cauces superficiales o subterráneos o canalizaciones de abastecimiento de aguas o de evacuación de aguas residuales. En cualquier caso cuando el transformador contenga menos de 1000 litros de líquido aislante, la fosa podrá suprimirse.
- c) Protección de los equipos expuestos a incendios tales como inmuebles habitados, proximidad a otras instalaciones con riesgo de incendio/explosión deberían ser protegidos por cualquiera de los sistemas siguientes:
 - Elección de distancias suficientes para evitar que el fuego se propague a instalaciones próximas a proteger.

La separación entre el transformador y las edificaciones más próximas se deducirá de la Tabla 1:

Tabla 1: Distancias de separación entre transformadores con líquido dieléctrico y edificaciones

Líquido dieléctrico	Volumen (litros)	Distancia horizontal de separación mínima (metros)			Distancia vertical de separación
		Construcción resistente al fuego	Construcción no combustible	Construcción combustible	
Menos inflamable (ej. silicona)	⊕ 4000	1,5		7,5	7,5
	> 4000	5		15	15
Aceite mineral	< 2000	5,5	4,5	7,5	7,5
	2000 - 20000	5	7,5	15	15
	> 20000	7,5	15	30	30

* Fuente: Data Sheet 5-4 Factory Mutual

Cuando se trate de otros equipos de bajo riesgo, la distancia mínima de separación se establecerá de acuerdo a la Tabla 2:

Tabla 2: Distancias de separación entre transformadores con líquido dieléctrico y otras instalaciones

Líquido dieléctrico	Volumen (litros)	Distancia de separación (metros)
Menos inflamable (ej. Silicona)	⊕ 4000	1
	> 4000	1,5
Aceite mineral	< 2000	1,5
	2000 - 20000	7,5
	> 20000	15

* Fuente: Data Sheet 5-4 Factory Mutual

- Colocación de paredes cortafuegos: Las barreras cortafuegos serán realizadas en hormigón armado con un espesor suficiente para conferir una resistencia al fuego de 180 minutos (RF 180).

Cuando las paredes de las edificaciones, son empleadas como barreras cortafuegos, la pared expuesta con características RF se prolongará vertical y horizontalmente respecto del cubeto de contención de aceite o del transformador de acuerdo a las distancias recogidas en la Tabla 1 (ver construcción resistente al fuego). Los techos expuestos de las edificaciones serán RF en un área que se prolongará: 5 metros del transformador que contenga entre 4.000 y 20.000 litros de aceite mineral para techos inferiores a 7,5 metros y 7,5 metros para transformadores que superen los 20000 litros de aceite mineral donde la altura del techo sea inferior a 15 metros.

Para el empleo de barreras cortafuegos frente a otros equipos, los muros RF se extenderán no menos de 0,3 metros verticalmente y 0,6 metros horizontalmente medidos desde los componentes del transformador que puedan ser sometidos a presión como consecuencia de un fallo eléctrico tal como: venteos para ruptura en caso de sobrepresión, radiadores, bornes, etc.

- Sistema de refrigeración de agua pulverizada: Los sistemas de agua pulverizada son considerados los sistemas fijos de protección activa más adecuados para la protección de transformadores situados en intemperie. La activación de estos sistemas envuelve el transformador con una espesa niebla que extingue el fuego por disipación de calor y por desplazamiento de oxígeno.

Para garantizar la eficacia de estos sistemas, estas instalaciones requieren ser diseñadas conforme a normas UNE 23501-07. Con objeto de garantizar en todo momento el suministro de agua a la instalación, se debe tener en cuenta que la alimentación eléctrica del equipo de bombeo puede quedar interrumpida por incendio en el centro de transformación por lo que se dispondrá del correspondiente sistema alternativo (bomba principal accionada por motor diesel).

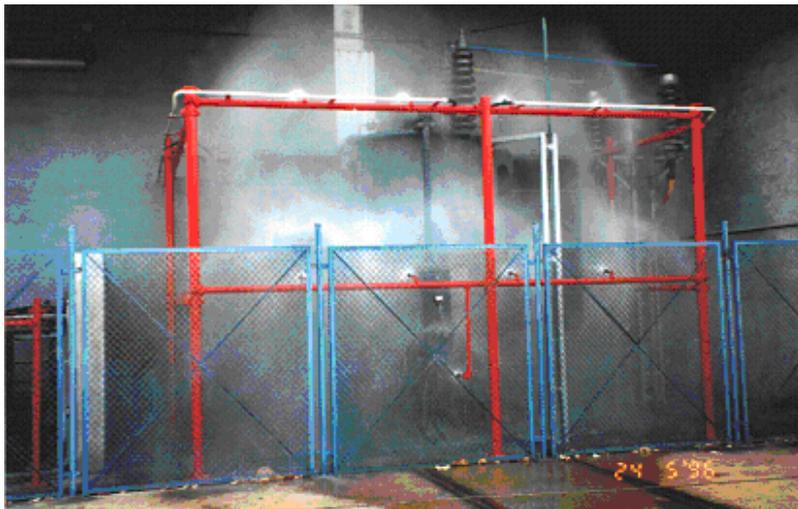


Ilustración 6: Dos momentos durante las pruebas de verificación del adecuado funcionamiento de un sistema fijo de extinción por agua pulverizada sobre un transformador en intemperie. La verificación periódica de la adecuada cobertura de la instalación es una de las pruebas del mantenimiento.

Adicionalmente es importante señalar que estos sistemas están sujetos a un programa de mantenimiento mínimo de acuerdo al Reglamento de instalaciones de protección contra incendios¹. La experiencia demuestra que el desuso de estos sistemas (por no producirse incendios), da lugar a que el personal de mantenimiento no lo considere como un equipo a tener en cuenta dentro de los programas de mantenimiento preventivo de las instalaciones, esta situación ocasiona que cuando se hace necesaria su activación estos sistemas operan con cierto grado de probabilidad de forma inadecuada.

¹ Real Decreto 1942/1993 de 5 de Noviembre en el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones de protección contra Incendios.

En las instalaciones dotadas de sistemas de extinción de tipo fijo, automático o manual, deberá existir un plano detallado de dicho sistema, así como instrucciones de funcionamiento, pruebas, mantenimiento, etc.

Con independencia del sistema de protección elegido: Distancia de separación, muros RF o sistemas de agua pulverizada, es conveniente la instalación de un sistema de lucha manual contra incendios formado por extintores portátiles y mangueras.

Los extintores móviles o portátiles, estarán situados de forma racional, según dimensiones y disposición del recinto que alberga la instalación y sus accesos.

En la elección de aparatos o equipos extintores móviles o fijos se tendrá en cuenta si van a ser usados en instalaciones en tensión o no, y en el caso de que sólo puedan usarse en instalaciones sin tensión se colocaran los letreros de aviso pertinentes.

Respecto a los sistemas de mangueras complementarios, estos deben garantizar que al menos durante 2 horas suministren un caudal mínimo de 2.000 litros/minuto (a efectos de diseño para apoyo manual de lucha contra incendios mediante mangueras se estiman dos hidrantes funcionando simultáneamente y alimentando en su conjunto a seis líneas de mangueras arrojando un caudal de 350 l/min). El personal que vaya a utilizar estos equipos debe ser instruido en su uso. No deben usarse estos equipos si no existen garantías de que el suministro eléctrico a los equipos ha sido interrumpido.

2.3.2. Instalaciones en el interior

Para la determinación de las protecciones contra incendios de centros de transformación situados en el interior de edificios

al menos se tendrá en cuenta:

- La posibilidad de propagación del incendio a otras partes de la instalación.
- La posibilidad de propagación del incendio al exterior de la instalación, por lo que respecta a daños a terceros.
- La presencia o ausencia de personal de servicio permanente en la instalación.
- La naturaleza y resistencia al fuego de la estructura soporte del edificio y de sus cubiertas.
- La disponibilidad de medios públicos de lucha contra incendios.

Con carácter general en transformadores de tipo sumergido se exige² la compartimentación con elementos RF180, cuando el acceso se efectúe desde el interior del edificio debe contar con vestíbulo previo y puertas RF 60.

² Disposiciones locales como el Reglamento de la Comunidad de Madrid establecen este criterio para los locales que alberguen transformadores de aceite mineral, para los transformadores de punto de inflamación mayor que los 300 °C (siliconas), exige elementos compartimentadores RF 60 y puertas RF 30. También la Ordenanza Municipal del Ayuntamiento de Barcelona los equipara a locales de riesgo especial (según la NBE CPI 96) exigiendo para los transformadores de más de 100 KVA similares características que las señaladas (RF 180 y vestíbulo previo) y para los recintos de transformadores con menor potencia instalada se establece el requerimiento de compartimentación con elementos RF 120 y puertas RF 60 sin necesidad de vestíbulo previo.

Además y con carácter específico se adoptarán las medidas siguientes:

- Instalación de dispositivos de recogida del aceite en fosos colectores. Si se utilizan aparatos o transformadores que contengan más de 50 litros de aceite mineral, se dispondrá de un foso de recogida de aceite con revestimiento resistente y estanco, teniendo en cuenta en su diseño y dimensionado el volumen de aceite que pueda recibir. En dicho depósito o cubeta se dispondrán cortafuegos tales como: lechos de guijarros, sifones en el caso de instalaciones con colector único, etc. Cuando se utilicen pozos centralizados de recogida de aceite es recomendable que dichos pozos sean exteriores a las celdas.

Cuando se utilicen dieléctricos líquidos con temperaturas de inflamación inferiores a 300° C, se dispondrá de un sistema de recogida de posibles derrames, que impida su salida al exterior.

- Extintores móviles: Se colocará como mínimo un extintor de eficacia 89 B en aquellas instalaciones en las que no sea obligatoria la disposición de un sistema fijo. Este extintor deberá colocarse siempre que sea posible en el exterior de la instalación para facilitar su accesibilidad y, en cualquier caso, a una distancia no superior a 15 metros de la misma.

- Sistemas fijos de extinción: En aquellas instalaciones con transformadores o aparatos cuyo dieléctrico sea inflamable o combustible de punto de inflamación inferior a 300°C con un volumen unitario superior a 600 litros o que en conjunto sobrepasen los 2400 litros deberá disponerse un sistema fijo de extinción automático adecuado para este tipo de instalaciones, tal como el CO₂.

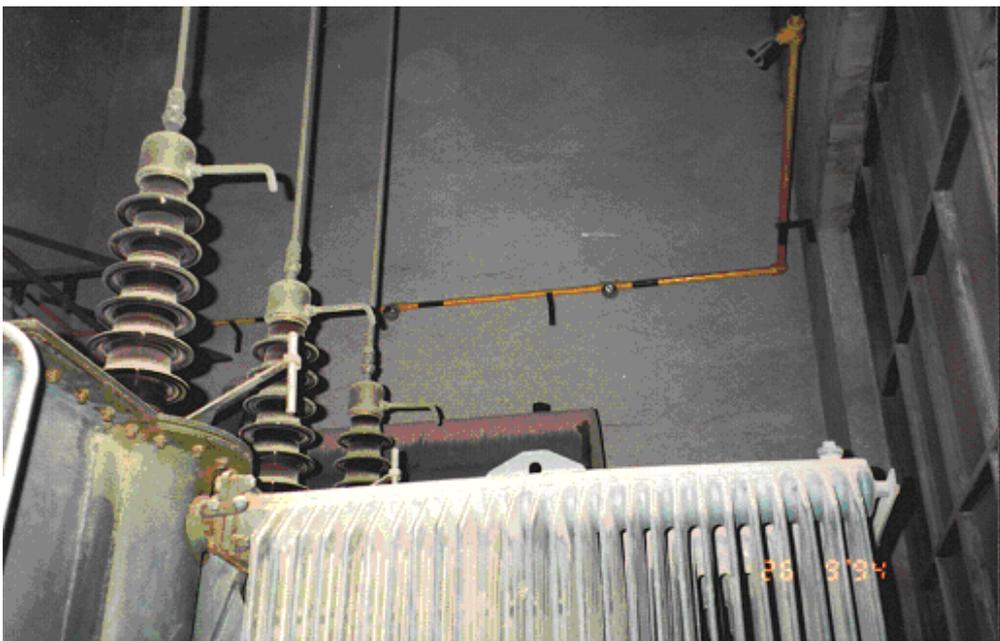


Ilustración 7: En la fotografía se observa una vista parcial de un transformador de alta tensión protegido por un sistema fijo de extinción por CO₂ (ver tuberías color negro y amarillo).

Si se trata de instalaciones en edificios de pública concurrencia con acceso desde el interior de los mismos, se reducirán estos volúmenes a 400 litros y 1600 litros, respectivamente.



Ilustración 8: Las unidades extintoras colgantes como las de las fotografías, constituidas por un recipiente con polvo extintor y gas propelente bajo el cual se inserta una cabeza rociadora suelen ser una solución frecuentemente utilizada por su bajo coste "cumpliendo" el requisito legal de disponer instalación fija. Sin embargo no es una instalación válida que ofrezca garantías de protección.

2.4. OTRAS PROTECCIONES.

Como medios de protección complementarios, estas instalaciones contarán con:

- Alumbrado de emergencia de conmutación automática, en caso de fallo eléctrico.
- Elementos y dispositivos de seguridad personal para maniobras.
- Instrucciones y elementos para prestación de primeros auxilios a los posibles accidentados por contactos con elementos en tensión.

En adición a todas las medidas de prevención y seguridad anteriormente comentadas, la empresa debe contemplar la posibilidad de afrontar un posible incidente/accidente en el transformador, que lo pueda dejar temporalmente inhabilitado. Como medida de protección se debería de contemplar en el plan de contingencia las actuaciones a realizar para la puesta en servicio de un sistema portátil tal como el que se refleja en la ilustración.

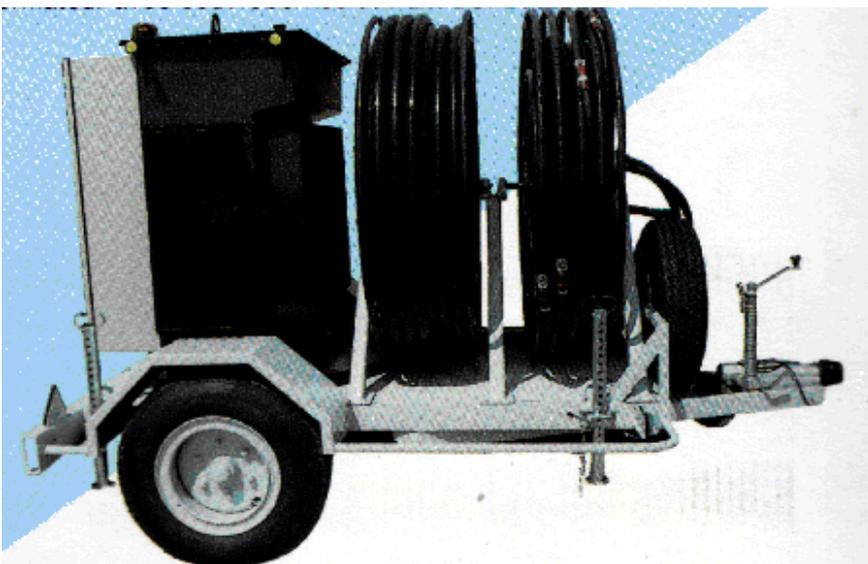


Ilustración 9: Unidad de transformación móvil sobre plataforma.
Fotografía cedida por INAEL e IMEFY.

Por último señalar, que tan importantes son las medidas de protección como las medidas de prevención y por tanto los locales donde se ubican los elementos de transformación y distribución de energía eléctrica no podrán usarse como lugar de almacenamiento de materiales. Lo mismo se aplica a las celdas de reserva, equipadas o no, así como a partes del edificio en construcción, cuando están próximas a instalaciones en servicio.

3. INSTALACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Los transformadores deben ser instalados, puestos en operación y mantenidos, de acuerdo a las instrucciones de los fabricantes.

En caso de que el transformador sea recibido sin líquido dieléctrico, se deben seguir estrictamente las instrucciones del fabricante en relación a los procedimientos de deshumidificación y relleno de líquido.

Al recibir los transformadores se deben observar como mínimo los siguientes aspectos:

- El estado general de la maquinaria. Ausencia de golpes, con especial importancia en los elementos de refrigeración y en los aisladores tanto de alta tensión como de baja tensión.
- El estado de la pintura. Ausencia de rayaduras, desconchones, etc.
- Verificación de que los datos del transformador se corresponden con las especificaciones del diseño.
- Para la elevación y transporte de los transformadores estos deben ser suspendidos exclusivamente de los anclajes destinados a tal fin y de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

Si el transformador no va a ser instalado de inmediato sino que va a ser almacenado durante cierto período, se debe almacenar en lugar lo más limpio y seco posible.

Antes de la puesta en servicio, los transformadores deben ser inspeccionados y probados de acuerdo a las especificaciones de los fabricantes. Las características de aislamiento del transformador (aislamiento de los devanados, aislamiento del líquido, bornas, etc.) deben ser medidas y registradas para establecer marcas de referencia con objeto de futuros controles de mantenimiento preventivo y predictivo.

Los transformadores con depósito de expansión deben estar perfectamente nivelados o ligeramente levantados de la parte del depósito.

Inmediatamente después de la puesta en servicio y periódicamente durante varios días, el transformador debería ser inspeccionado a fondo con objeto de detectar posibles síntomas de defectos de instalación o funcionamiento que pudieran derivar en un siniestro tal como: Indicador de sobretensión, fugas de líquido aislante, bornas de conexión, válvula de drenaje de líquido refrigerante, etc.).

La operación de cada transformador, debe ser supervisada de acuerdo a un plan establecido con objeto de detectar síntomas de mal funcionamiento que pueda ser inmediatamente corregido. Los transformadores en los que la continuidad de su servicio sea crítica para la continuidad del proceso productivo de la empresa deberían recibir un mantenimiento más exigente de cara a incrementar las garantías de continuidad de la instalación.

En caso de prever una sobrecarga temporal del transformador, por ejemplo debido a la desconexión de otros equipos por mantenimiento, estas verificaciones deben incrementarse de acuerdo a las instrucciones de los fabricantes. En especial y con objeto de no reducir la vida útil del equipo se deberá consultar al fabricante sobre las necesidades de ventilación adicional necesaria con objeto de disipar correctamente el calor que se genere.

3.1. INSPECCIONES PERIÓDICAS.

Los propietarios de las instalaciones eléctricas de alta tensión, de acuerdo a lo establecido en el RAT³, deberán presentar, antes de su puesta en marcha, un contrato, suscrito con persona física o jurídica en el que éstas se hagan responsables de mantener las instalaciones en el debido estado de conservación y funcionamiento.

³ RAT. *Reglamento de Alta Tensión. Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación.*

Se efectuarán inspecciones periódicas de las instalaciones. Estas inspecciones se realizarán, al menos, cada tres años. Las inspecciones periódicas se realizarán por entidades colaboradoras designadas por la administración. El órgano inspector conservará acta de todas las inspecciones que realice y entregará una copia de la misma al propietario o arrendatario de la instalación, así como al órgano competente de la administración.

3.2. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO.

Con independencia de las inspecciones periódicas a las que reglamentariamente se encuentran sujetas estas instalaciones, los programas de mantenimiento establecidos por los fabricantes de los transformadores deberán conllevar como mínimo las siguientes acciones que se realizarán una o dos veces al año en función de la agresividad del medio:

- Revisión de apriete y conexiones de tornillos de acuerdo a fabricante.
- Inspección visual completa del equipo para detectar puntos de óxido, defectos, etc.
- Verificación de buen funcionamiento de los dispositivos de protección del transformador como de los cuadros de protección y las conexiones entre éste y los elementos externos asociados.

- Medición de resistencia de aislamiento entre devanados y de estos a masa.

- En transformadores sumergidos en cubas: Medición de la rigidez dieléctrica del aceite en transformadores donde el aceite pueda estar en contacto con el aire no siendo necesario en los de llenado integral. En caso de ser necesaria la reposición de aceite este debe estar deshidratado.

- En transformadores secos eliminación de polvo exterior e interior (mediante soplado presión máxima de acuerdo con el fabricante aprox. 2 kg/cm²). El mantenimiento de las placas filtrantes en las rejillas de ventilación de la sala se realizarán con una regularidad establecida en función de las condiciones de la sala.

La implementación de un adecuado programa de mantenimiento de las instalaciones, no sólo alargará la vida útil de los equipos, sino que además reducirá el riesgo de avería evitando así las posibles pérdidas consecuentes por paralización de la actividad que pudieran producirse.

[volver arriba](#)