

*Máster Universitario en Prevención de Riesgos
Laborales*

Trabajo final de máster
Curso académico 2018-2019

Procedimiento para la retirada de transformadores con bifenilo policlorado (PCB)

Director: Francisco Hernández Rodríguez

Alumno: Eduard Rovira Ruiz

Fecha de entrega: 01/08/2019



UNIVERSITAS
Miguel Hernández



INFORME DEL DIRECTOR DEL TRABAJO FIN MASTER DEL MASTER UNIVERSITARIO EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

D. Francisco Hernández Rodríguez, Tutor del Trabajo Fin de Máster, titulado “PROCEDIMIENTO PARA LA RETIRADA DE TRANSFORMADORES CON BIFENILO POLICLORADO (PCB)” y realizado por la estudiante D Eduard Rovira Ruiz,

Hace constar que el TFM ha sido realizado bajo mi supervisión y reúne los requisitos para ser evaluado.

Fecha de la autorización: 2 de septiembre de 2019

FRANCISCO | Firmado digitalmente
HERNANDEZ | por FRANCISCO
RODRIGUEZ | HERNANDEZ|RODRIGUEZ
Fecha: 2019.09.02
10:40:06 +02'00'

Fdo.: Francisco Hernández Rodríguez
Tutor TFM



MASTER UNIVERSITARIO EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES
Campus de Sant Joan - Carretera Alicante-Valencia Km. 87
03550 San Juan (Alicante) ESPAÑA Tfno: 965919525
Fax: 965919333 E-mail: meditrab@umh.es

Índice

1. Resumen.....	5
2. Justificación.....	6
3. Introducción.....	7
4. Objetivos	8
5. La electricidad y los efectos sobre el organismo.....	9
5.1 Qué es la electricidad	9
5.2 Conceptos técnicos.....	9
5.3 Riesgos para la salud	10
5.3.1 Factores que influirán en los efectos que tiene sobre el ser humano.....	10
5.3.2 Efectos físicos inmediatos que tiene sobre el ser humano.....	11
5.3.3 Efectos físicos no inmediatos sobre el ser humano	12
5.3.4 Quemaduras.....	13
5.3.5 Tipos de contactos eléctricos	14
6. Generación y transporte de la electricidad.....	17
6.1 Donde se genera	17
6.2 El transporte de la electricidad	18
6.2.1 Pérdidas de energía durante el transporte.....	18
6.2.2 Elementos que intervienen en el transporte.....	19
7. Centros de transformación	21
7.1 Elementos de maniobra	22
7.2 Riesgos en los centros de transformación.....	25
7.2.1 Riesgo de espacios confinados	26
7.2.2 Caídas a distinto nivel y caída de objetos.....	27
7.2.3 Atrapamientos	28
7.2.4 Riesgo eléctrico.....	28
7.2.5 Incendio/explosión.....	29

7.2.6 Daños a terceros	31
7.2.7 Señalización y alumbrado.....	31
7.3 Tipos de transformadores	32
7.3.1 Transformadores secos	32
7.3.2 Transformadores de aceite.....	33
7.3.3 Transformadores PCB.....	35
8. Trabajos eléctricos	36
8.1 EPIS y materiales utilizados.....	36
8.2 Las 5 reglas de oro	40
8.2.1 Primera regla de oro	40
8.2.2 Segunda regla de oro	41
8.2.3 Tercera regla de oro	41
8.2.4 Cuarta regla de oro.....	42
8.2.5 Quinta regla de oro.....	42
8.3 Bloqueo y señal	43
8.4 Trabajos con cortes de tensión	45
8.4 Trabajos en proximidad de tensión	48
8.4.1 Definición de las zonas y distancias	49
8.5 Trabajos en BT	51
9. Instrucción para trabajos en transformadores PCB	53
9.1 Objeto	53
9.2 Alcance.....	53
9.3 Definiciones	53
9.3.1 Identificación de los CT considerados espacios confinados	53
9.3 Riesgos.....	54
9.4 Responsabilidades.....	54
9.5 Medios necesarios	55

9.5.1 Medios humanos	55
9.5.2 Equipos necesarios	56
9.6 Desarrollo	56
9.6.1 Acceso al espacio confinado	56
9.6.2 Inicio de los trabajos de corte de tensión.....	58
9.6.3 Manipulación y movimientos del transformador PCB.....	63
10. Conclusiones.....	65
11. Bibliografía	65

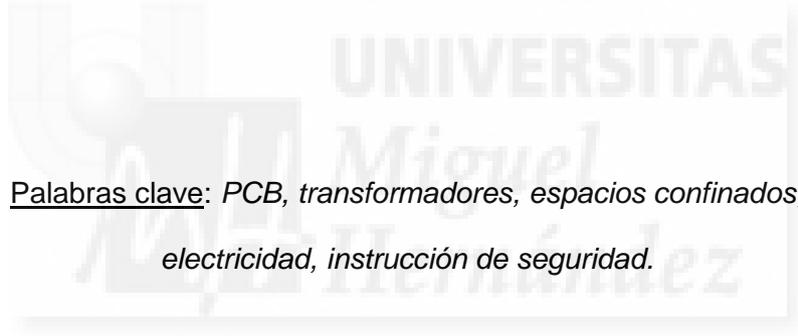


1. Resumen

En este trabajo de fin de máster se explican varios temas relacionados con la Prevención de Riesgos Laborales, más concretamente con los relacionados con los trabajos en centros de transformación.

Por esta razón, se empieza explicando la electricidad desde un punto de vista amplio y genérico, y poco a poco se centra en el transporte de la electricidad, y en las distintas fases donde intervienen los centros de transformación. A continuación se explica las partes del centro de transformación, así como de los riesgos que nos podemos encontrar.

Después de haber explicado y entendido que es un transformador, se procede a detallar una instrucción de trabajo para la retirada de centros de transformación que contienen PCB, donde se engloban todos los riesgos que se han observado en los centros de transformación.



Palabras clave: *PCB, transformadores, espacios confinados, electricidad, instrucción de seguridad.*

2. Justificación

El presente trabajo pretende definir unas pautas que clarifiquen las actuaciones a realizar, las medidas de prevención para aquellas personas que están en contacto y trabajan día a día con los transformadores y a la vez evitar el deterioro del medio ambiente.

Ya de por sí, trabajar en centros de transformación, es un trabajo complicado y arriesgado, debido a los numerosos riesgos que entraña el trabajo: por un lado el riesgo de trabajar en un espacio confinado, por la deficiencia de oxígeno o por haber una atmosfera contaminada. Por otro lado, el trabajo eléctrico, siendo igual de peligroso que lo anterior, debido principalmente a que no se ve, y al exceso de confianza de la gente que lleva años trabajando en el sector. Por último, los riesgos nocivos y tóxicos del propio aceite suman una dificultad añadida al trabajo.

En numerosos estudios se ha visto que determinados alimentos se han contaminado con dioxinas procedente de los aceites con PCB. Estas dioxinas son sustancias tóxicas muy perjudiciales para el hombre, se consideran que son cinco millones de veces más tóxicas que el cianuro, y además se ha comprobado que son cancerígenas.

Se sabe que numerosos transformadores antiguos contienen aceites de piraleno, los cuales se consideran tóxicos, y las dioxinas que contienen debido a una mala manipulación pueden transmitirse al hombre a través de la cadena alimentaria. En parte debido a que son extremadamente persistentes una vez liberado en el medio ambiente.

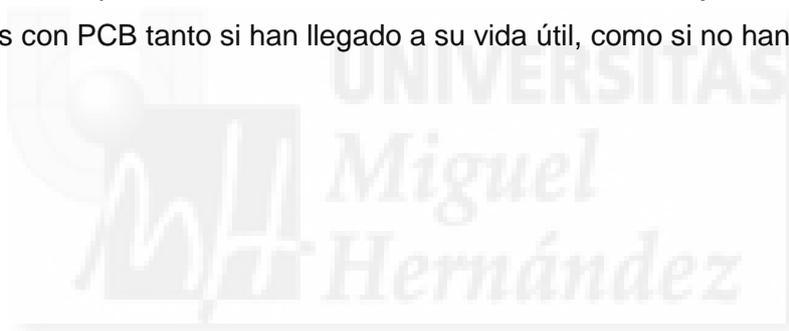
Por lo tanto el problema de las dioxinas no es algo nuevo y alejado, sino algo que tenemos a nuestro alrededor y que poco a poco se va eliminando. Aún quedan 9 años si se cumple con la normativa europea sobre la eliminación o descontaminación de los equipos que contengan aceites contaminados entre 50 ppm y 500 ppm de PCB.

3. Introducción

Hoy en día aún a pesar de leyes y convenios internacionales que promueven la eliminación de los transformadores con PCB, hoy en día aún nos podemos encontrar grandes cantidades de este peligroso material en España.

Según los estudios realizados por el Gobierno de España en el Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos 2016-2022 (PEMAR), la mayoría de los residuos generados de PCB son provenientes de aparatos del sector eléctrico (transformadores). En los últimos estudios que se disponen del 2016, seguían en servicio 19.986 toneladas de transformadores con una concentración entre 50-500 ppm de PCB. Los cuales seguirán en funcionamiento hasta acabar su vida útil.

Teóricamente en el 2028, se tendrán que haber eliminado o descontaminado todos los transformadores con PCB. De cumplir con las fechas marcadas en el Convenio de Estocolmo, en los próximos años, habrá un intenso trabajo de sustitución de transformadores con PCB tanto si han llegado a su vida útil, como si no han llegado.



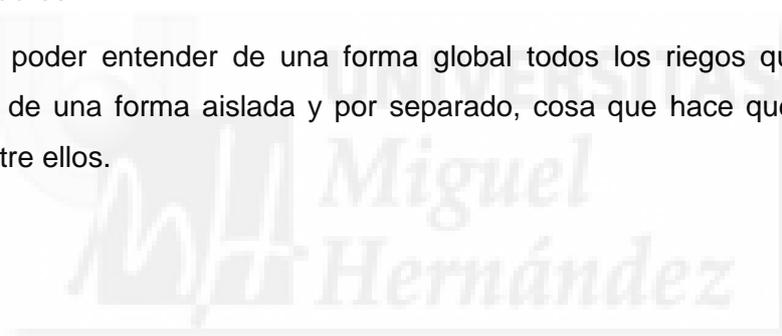
4. Objetivos

El objetivo de este trabajo, es poder analizar de una forma detallada y exhaustiva los diferentes factores y riesgos que intervienen durante la realización de trabajos en los centros de transformación.

Nos centraremos en un tipo de trabajo concreto, que es la retirada de transformadores antiguos de PCB, para ello explicaremos los riesgos que conlleva y la forma de actuar, centrándonos principalmente en los aspectos relativos a los espacios confinados y a los riesgos eléctricos, y en menor medida a los riesgos del PCB (no por ello menos importantes), debido a que son empresas especializadas las que se ocupan de su estiba y transporte

La idea es que en un solo procedimiento, poder englobar y detallar los riesgos que nos podemos encontrar en estos trabajos concretos, y así de esta forma, que sea más fácil proceder de una forma segura y eficaz, a la vez que sea de una forma entendedora y clara para los trabajadores.

De esta forma, poder entender de una forma global todos los riesgos que nos podemos encontrar, y no de una forma aislada y por separado, cosa que hace que cueste más de relacionarlos entre ellos.



5. La electricidad y los efectos sobre el organismo

5.1 Qué es la electricidad

La electricidad se puede entender como la energía que se crea o se genera por el movimiento de electrones negativos y positivos dentro de los materiales conductores.

Hemos de tener en cuenta que los polos opuestos se atraen. Por este motivo las cargas negativas y positivas se unen, creando dos tipos diferentes de energías: por un lado encontramos la electricidad estática (la cual se genera por fricción) y por otro lado la electricidad dinámica (que es concebida por la corriente).

5.2 Conceptos técnicos

A continuación pasaremos a explicar los siguientes conceptos y magnitudes, para así tener un mejor entendimiento:

Intensidad: la intensidad es la cantidad de corriente que pasa a través de un elemento conductor en un determinado tiempo, como unidad de medida se utiliza el amperio (A), aunque a veces se da la medida miliamperios (mA).

Se podría decir también que es la cantidad de corriente que circularía por nuestro cuerpo durante un choque eléctrico, es la causa fundamental de las lesiones originadas por la electricidad.

Frecuencia: es el valor que mide el cambio de dirección que sufre la corriente alterna en un segundo. Es el valor que diferencia la corriente continua de la alterna. La unidad de medida que se usa es el Hertzio (Hz).

Resistencia: es la propiedad que tiene la materia de oponerse al flujo de la corriente eléctrica. La unidad de medida para medir la resistencia es el Ohm (Ω).

Podemos decir de forma general, decir que aquellos materiales que son malos conductores (madera, plástico, goma, etc.) presentarán una elevada resistencia al paso de la corriente, en cambio aquellos materiales que son buenos conductores, ofrecen al paso de corriente una baja resistencia.

Tensión: también conocido como potencial eléctrico, esta magnitud da origen a la circulación de la corriente eléctrica, si entre dos puntos existen valores distintos. Potencial eléctrico se le denomina a la diferencia de tensiones. La unidad es el

voltio (V). El sentido de la circulación será desde el punto que tenga mayor potencial al punto que tenga menor potencial. Cuando los potenciales entre estos dos puntos son iguales, no habrá circulación de corriente.

5.3 Riesgos para la salud

En una descarga eléctrica, la gravedad o el daño de las lesiones que tengamos dependerán principalmente del tiempo que tarda la corriente en pasar por nuestro cuerpo y el voltaje. Por ejemplo, si por nuestro cuerpo pasará una corriente de 1/10 de amperio (amp) durante 2 segundos, sería suficiente para provocarnos la muerte. Una persona puede tolerar el paso de una corriente de hasta 10 miliamperios o mA, y aún podría controlar los músculos de la mano y del brazo. Si la corriente es mayor de 10 mA puede paralizar o "congelar" los músculos y, cuando ocurre esto, la persona no puede soltar el objeto que causo el paso de corriente. Puede ocurrir que apriete el objeto electrificado con más fuerza aún, provocando una exposición más prolongada a la descarga. Si no puede soltar el objeto, la corriente continuará circulando por su cuerpo durante más tiempo, cosa que agravará los problemas, pudiendo causar parálisis respiratoria (los músculos que controlan la respiración no se pueden mover). Provocará que deje de respirar durante un periodo de tiempo. Existen casos de personas que al recibir descargas de 49 voltios dejaron de respirar. En general, con 30 mA de corriente sería suficiente para que nos ocasionara una parálisis respiratoria.

5.3.1 Factores que influirán en los efectos que tiene sobre el ser humano

La intensidad de corriente que pasa por nuestro cuerpo: Cuando aumentamos los valores de intensidad, son cada vez peores las consecuencias (dificultad al respirar, paro respiratorio, fibrilación ventricular, paro cardíaco, provocará también daños en el sistema nervioso, quemaduras graves, pérdida del conocimiento y la muerte).

Frecuencia de la corriente: en nuestros hogares y en la industria, la frecuencia de corriente utilizada es la corriente alterna, la cual provoca alteraciones en el ritmo cardíaco, pudiendo existir el riesgo añadido de fibrilación ventricular.

Resistencia entre los puntos de contacto del cuerpo: Encontramos tres tipos de resistencias: por un lado la resistencia del propio cuerpo (dureza y espesor de la piel, la humedad de la piel, la superficie de contacto, etc.), la resistencia de contacto

(guantes o ropa) y la resistencia de salida (como el tipo de pavimento o el calzado).

Tiempo de contacto: Cuanto más tiempo estemos en contacto el daño será mayor, por lo cual, las protecciones que hayan de corte automático deberán actuar con gran rapidez.

Trayectoria de la corriente: Las trayectorias más habituales son mano-pie o mano-mano. Según los órganos que atraviese la corriente hará que las lesiones sean mayor o menor gravedad, por ejemplo, si traspasa los pulmones o el corazón. Por otro lado, hay que tener en cuenta además la impedancia relativa, la cual varía según el recorrido.

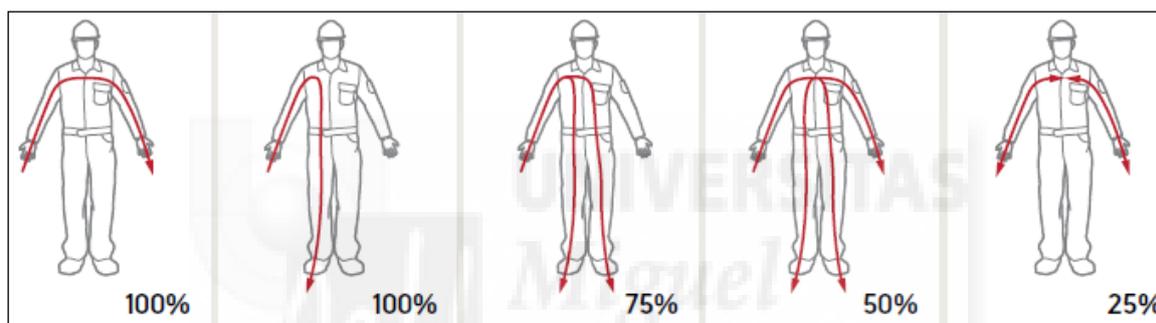


Fig. 1: Impedancia interna del organismo para diferentes trayectorias

5.3.2 Efectos físicos inmediatos que tiene sobre el ser humano

Paro cardíaco: Se produce debido a que la corriente pasa por el corazón y provoca en el organismo un paro circulatorio al pararse el corazón.

Fibrilación ventricular: Ocurre cuando después de pasar la corriente por el corazón y este sufre una alteración del ritmo cardíaco que provoca un paro circulatorio. El corazón, pasa a funcionar de una forma descoordinada, y no puede bombear la sangre correctamente. Esto es muy grave para el cerebro, porque es imprescindible que haya una oxigenación continua.

Quemaduras: Estas pueden ser externas o internas, debido al paso de la corriente a través del cuerpo. Provocan zonas de tejidos muertos (necrosis) y pudiendo llegar a alcanzar los músculos, los nervios, a órganos profundos y a los huesos.

Asfixia: Cuando el tórax es atravesado por la corriente eléctrica, se tetaniza el diafragma y provoca que los pulmones no tengan capacidad alguna para meter aire ni para sacarlo.

Tetanización: Contracción muscular, que anula la capacidad de reacción muscular, lo cual provoca que seamos incapaces de separarnos voluntariamente del punto del contacto (tanto los músculos de los brazos como los de las manos, se quedan contraídos sin relajarse).

Lesiones permanentes: Son las producidas cuando se destruyen partes del sistema nervioso (contracturas permanentes, parálisis, etc.).

5.3.3 Efectos físicos no inmediatos sobre el ser humano

Trastornos nerviosos: Debido al deterioro y destrucción de la sustancia medular o nerviosa central, una víctima que haya sufrido un choque eléctrico, a veces puede sufrir trastornos nerviosos por las pequeñas hemorragias. Además, es muy frecuente la aparición más o menos graves de neurosis del tipo funcional, pudiendo ser transitorias o permanentes.

Trastornos cardiovasculares: La descarga eléctrica puede provocar la pérdida del ritmo cardíaco y también de la conducción intraventricular y aurículo-ventricular, síntomas de insuficiencias coronarias agudas las cuales pueden desencadenar en infarto de miocardio, además de taquicardias, vértigos, cefaleas, etc.

Trastornos sensoriales, oculares y auditivos: son los trastornos oculares provocados por los efectos caloríficos y luminosos del arco eléctrico. En muchos de los casos provocan inflamaciones del segmento anterior y del fondo ojo. Los trastornos auditivos pueden llegar a la sordera total y normalmente provocados por un traumatismo craneal, o algún trastorno nervioso, o por la quemadura grave de alguna zona del cráneo.

Manifestaciones renales: pueden quedar bloqueados los riñones a causa las quemaduras, debido a que deben eliminar mioglobina y hemoglobina en grandes cantidades, después de que hayan abandonado los músculos afectados, y también las sustancias tóxicas que se generan con la descomposición y destrucción de los tejidos quemados.

5.3.4 Quemaduras

Las alteraciones en la piel humana, vendrán determinadas por dos factores principalmente: por un lado por el tiempo de exposición a la corriente, y por otro lado, por la cantidad de corriente que circula por una área determinada (mA/mm^2). En la siguiente gráfica, se diferencian 4 zonas diferentes, en función de los dos parámetros anteriormente mencionados.

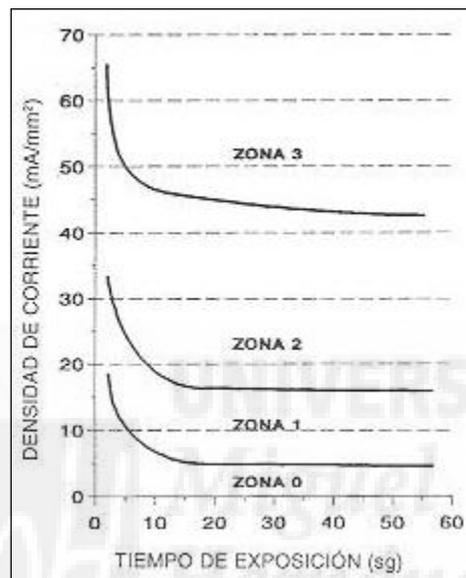


Fig. 2: Gráfica donde se muestra las diferentes zonas, en función del tiempo y la densidad de corriente

- Zona 0: normalmente no se observa alteración de la piel, a no ser que la exposición de tiempo sea de varios segundos, entonces la piel que ha estado en contacto con el foco puede tener una superficie rugosa y volverse de un color grisáceo.
- Zona 1: aparece en la piel un enrojecimiento con una hinchazón en la zona donde estaba el punto de contacto.
- Zona 2: hay una coloración de la piel que estaba situada bajo el punto de contacto que se vuelve parda. Si la duración ha sido de muchos segundos habrá una clara hinchazón.
- Zona 3: puede haber la piel carbonizada.

Es importante recordar que, cuando hay intensidades elevadas y cuando son importantes las superficies de contacto puede ocurrir una fibrilación ventricular sin existir ninguna alteración en la piel.

Intensidad eficaz a 50-60 Hz (mA)	Duración del choque eléctrico	Efectos fisiológicos en el cuerpo humano
0 - 1	Independiente	Umbral de percepción. No se siente el paso de la corriente.
1 - 15	Independiente	Desde cosquilleo hasta tetanización muscular. Imposibilidad de soltarse.
15 - 25	Minutos	Contracción de brazos. Dificultad de respiración, aumento de la presión arterial. Límite de tolerancia.
25 - 50	Segundos a minutos	Irregularidades cardíacas. Aumento de la presión arterial. Fuerte efecto de tetanización. Inconsciencia. Aparece fibrilación ventricular.
50 - 200	Menos de un ciclo cardíaco	No existe fibrilación ventricular. Fuerte contracción muscular.
	Más de un ciclo cardíaco	Fibrilación ventricular. Inconsciencia. Marcas visibles. El inicio de electrocución es independiente de la fase del ciclo cardíaco.
Por encima de 200	Menos de un ciclo cardíaco	Fibrilación ventricular. Inconsciencia. Marcas visibles. El inicio de la electrocución depende de la fase del ciclo cardíaco. Iniciación de la fibrilación sólo en la fase sensitiva.
	Más de un ciclo cardíaco	Paro cardíaco reversible. Inconsciencia. Marcas visibles. Quemaduras

Fig. 3: Cuadro sobre los efectos en el organismo según la intensidad

5.3.5 Tipos de contactos eléctricos

Existen tres tipos de contactos: directos, indirectos y arco eléctrico.

- *Contacto eléctrico directo:* Ocurre cuando la persona entra en contacto con las partes de la instalación activas. Puede suceder entre una tierra y un conductor activo, o entre dos conductores. Puede generar consecuencias graves este tipo de contactos eléctricos debido a la gran cantidad que circulará por el cuerpo.
 - i. Contacto directo entre dos fases (dos conductores activos); la persona tocando una fase, toca con la mano otra fase distinta, entonces se encontrará sometido a la tensión entre fases. La trayectoria que describe la corriente pasará por el corazón, provocando un grave riesgo de electrocución.



Fig. 4: Trayectoria corriente entre dos fases pasando por el corazón.

- ii. Contacto directo entre la tierra y un conductor activo, en baja tensión con un transformador con el neutro puesto a tierra; la persona que toca una fase con la mano y el suelo con los pies, cerrando a través de tierra el circuito. La tensión entre los pies y la mano será la tensión entre tierra y la fase. En esta situación la corriente tiene una trayectoria que atravesará el corazón con un gran riesgo de electrocución.

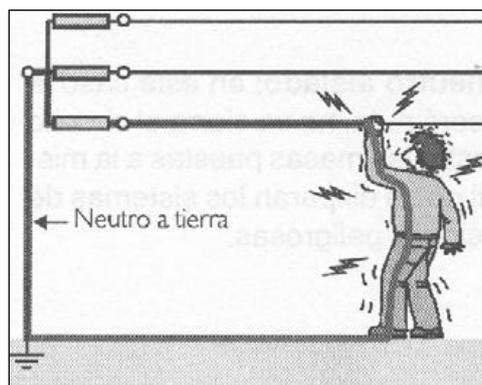


Fig. 5: Trayectoria corriente entre fase y neutro pasando por el corazón.

- *Contacto eléctrico indirecto*: Entendemos por el contacto eléctrico que sucede cuando el trabajador o una parte de su cuerpo toca una masa (pieza o parte metálica accesible de un equipo eléctrico, que no deben de estar en tensión) tiene accidentalmente tensión, como consecuencia de un problema en el aislamiento.

i. Contacto indirecto con un armario de distribución o con una masa; debido a la falta de aislamiento de alguna de las fases en su interior, la fase entra en contacto con la masa. La tensión que tendremos de contacto será la misma que la de fase tierra. Estos defectos pueden ser varios:

- A. Defecto de aislamiento interno.
- B. Defecto de origen externo.
- C. Inversión del conductor activo por el conductor de protección.
- D. Defecto entre el conductor activo y el de protección.

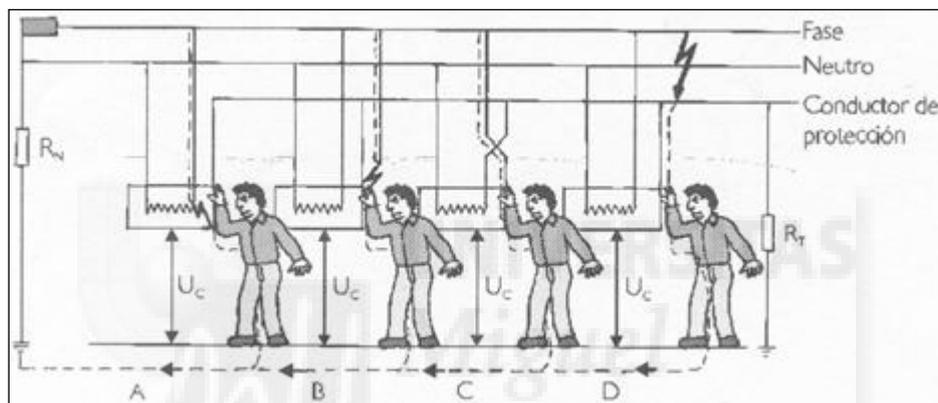


Fig. 6: En esta figura observamos defectos de aislamiento.

- *Arco eléctrico*: se produce debido a que el aire que está cerca de los elementos con tensión, puede llegar a convertirse en conductor produciendo que se cebe un arco eléctrico el cual hará un cierre del circuito en esa instalación, ocurre en las instalaciones donde haya alta tensión. El arco eléctrico llega a generar altas intensidades de calor (puede llegar hasta $20.000^{\circ} C$) y también proyección de partículas. Debido a este, puede provocar graves quemaduras de forma directa, o por las partículas que puede llegar a proyectar. Por otro lado debido a las radiaciones que genera, también puede provocar lesiones oculares e incluso ceguera. Este tipo de contacto puede darse en instalaciones tales como cuadros generales, subestaciones aéreas, cables de distribución eléctrica (aéreos o subterráneos).

6. Generación y transporte de la electricidad

6.1 Donde se genera

Entendemos la electricidad como un fenómeno natural que lo podemos encontrar en numerosos ámbitos de la vida. Pero, para poderla aprovechar como tal, se debe obtener de forma artificial en las centrales eléctricas, y después transportarla hasta las zonas de consumo.

Como no se trata de una fuente de energía primaria como podría ser el petróleo, el carbón o el gas natural (donde mediante la combustión directa, nos permite obtener calor y/o luz), la energía se ha de generar a partir de la transformación de recursos energéticos de origen fósil, nuclear o de recursos energéticos renovables. Por este motivo, se dice que la electricidad es una fuente de energía secundaria.

Generalmente, las centrales de producción de electricidad se basan en dos elementos que son clave y necesarios para conseguir esa transformación: por un lado la turbina, que transforma el movimiento o el calor producido por la fuente de energía primaria en energía mecánica, y por otro lado el generador, el cual convierte la energía mecánica de la turbina en electricidad.

Estas centrales eléctricas, habitualmente, se encuentran ubicadas en lugares adecuados para facilitar su producción: como pueden ser los puntos de abastecimiento de combustible (centrales térmicas), también junto a embalses o pantanos (centrales hidroeléctricas) o por otro lado, en los lugares que se dan condiciones de sol y viento favorables (instalaciones fotovoltaicas y termosolares o parques eólicos).

A finales del año 2018, la capacidad de generación eléctrica instalada en España es de 98.643 MW. Del total de la potencia instalada a nivel nacional, el 46,7 % corresponde a instalaciones de energía renovable y 53,3 % a tecnologías no renovables.

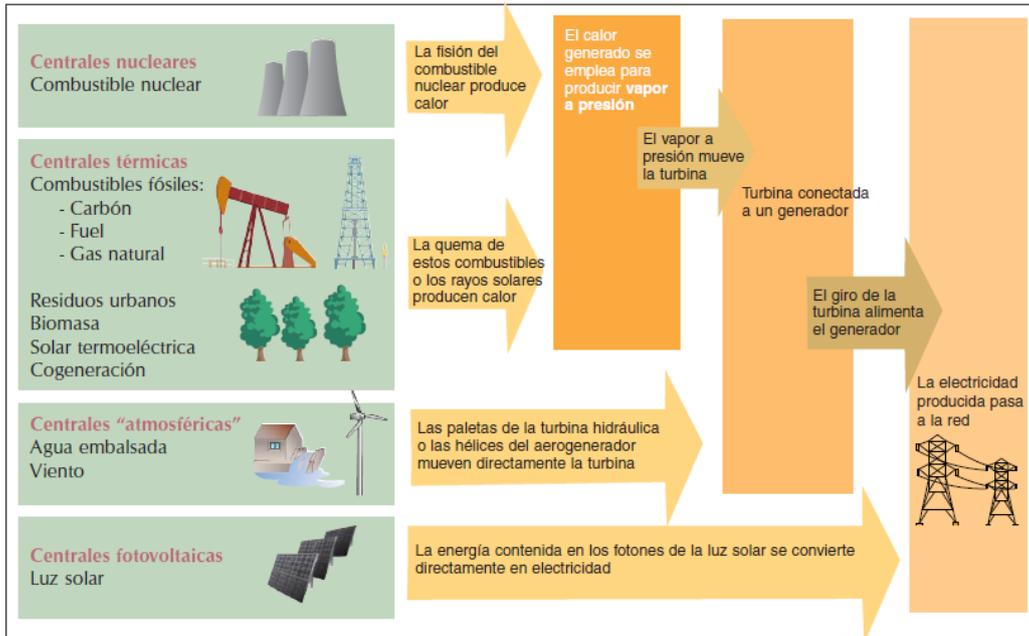


Fig. 7: Como se produce la electricidad

6.2 El transporte de la electricidad

La electricidad, una vez generada, necesita un sistema de transporte para poder llegar hasta los centros de consumo. Este transporte se realiza mediante una red de líneas eléctricas que conectan los centros de producción con los puntos de consumo.

Esta red de transporte tiene que cumplir un doble objetivo: garantizar que los consumidores disponen de electricidad en todo momento, y que ésta llega al usuario final con las menores pérdidas posibles de energía (por este motivo el transporte de electricidad entre largas distancias se efectúa a través de las líneas de alta tensión con el fin de reducir las pérdidas).

La red de transporte de electricidad en España tiene más de 34.500 km de líneas de alta tensión, a los que hay que añadir las líneas de distribución de media y baja tensión. La longitud total supera los 600.000 km.

6.2.1 Pérdidas de energía durante el transporte

Cuando la electricidad va viajando por las líneas eléctricas (de transporte), va perdiendo energía a consecuencia de la resistencia que tiene el conductor eléctrico, esta resistencia se transforma en calor, cosa que provoca un incremento en la temperatura del propio cable. La

resistencia que dicho conductor ofrece dependerá de diversos factores, que se tienen presentes cuando diseñan y construyen la línea eléctrica:

- Área de sección transversal o su diámetro, debido a que cuando se disminuye su grosor la conductividad baja.
- La longitud, debido a que la resistencia del cable es proporcional a la longitud del mismo.
- La temperatura, ya que al aumentar la temperatura hace que la resistencia también aumente.
- El material del que se fabrica.

La mejor manera de poder vencer esta resistencia, y de esta forma reducir las pérdidas a la vez que aumentamos la eficiencia de este sistema de transporte, es incrementando la tensión o voltaje al que la electricidad circula, y paralelamente utilizando materiales altamente conductores.

Los cables conductores usados en las líneas de alta tensión se fabrican usando un núcleo de acero, que da resistencia mecánica a la línea, y posteriormente recubierto en su zona exterior de aluminio, el cual es un buen conductor de electricidad.

La electricidad cuando circula por un material que sea conductor, se ve afectado por el efecto Joule.

6.2.2 Elementos que intervienen en el transporte

La energía eléctrica, una vez generada, se eleva su voltaje a alta tensión para reducir las pérdidas de energía que se producen en el transporte, y posteriormente se va transformando a media y baja tensión para acercarla al consumidor final a través de las redes de distribución.

Durante este recorrido intervienen diferentes elementos que pasaremos a explicar a continuación:

Líneas de transporte: Cuya misión es transportar la energía eléctrica desde las centrales productoras hasta las subestaciones transformadoras. Tienen unos niveles de tensión comprendidos entre los 400 kv y los 132 kv.

Subestación transformadora: Cuya misión es reducir las tensiones de la línea de transporte a tensiones de reparto, de una forma controlada y protegiendo las

instalaciones. Pasan de las tensiones comprendidas entre 400 kv y 132 kv hasta las tensiones comprendidas entre los 66 kv y los 30 kv.

Líneas de reparto: Cuya misión es transportar la electricidad entre las subestaciones de transformación, y las subestaciones de reparto. Tienen unos niveles de tensión comprendidos entre los 66 kv y los 30 kv.

Subestación transformadora de reparto: Cuya misión es reducir las tensiones de la línea de reparto a tensiones de distribución, de una forma controlada y protegiendo las instalaciones. Pasan de las tensiones comprendidas entre 66 kv y 30 kv hasta las tensiones comprendidas entre los 20 kv y los 11 kv.

Líneas de distribución: Cuya misión es transportar la energía eléctrica desde las subestaciones de reparto a los centros de transformación. Tienen unos niveles de tensión comprendidos entre los 20 kv y los 11 kv.

Centro de transformación: Cuya misión es transformar la tensiones de distribución a tensión de utilización. Pasan de las tensiones comprendidas entre 20 kv y 11 kv hasta las tensiones comprendidas entre los 380 v y los 127 v.

Líneas de distribución en BT: Transportar la energía eléctrica desde los centros de transformación a las instalaciones finales de uso.

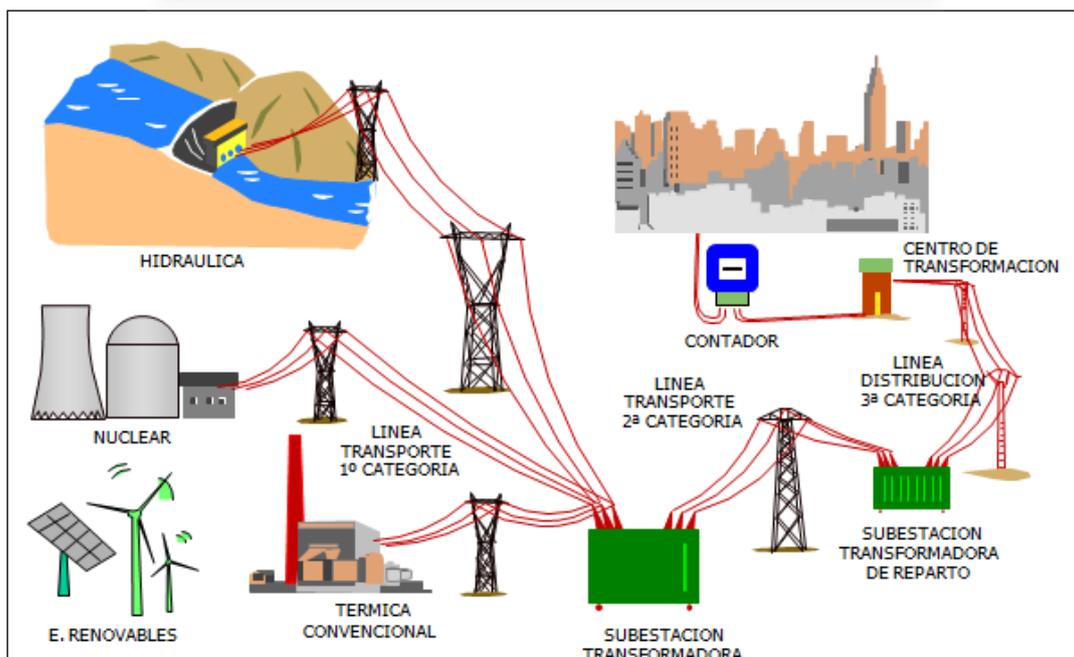


Fig. 8: Esquema de los elementos que intervienen en la distribución de la electricidad.

7. Centros de transformación

Los centros de transformación se pueden clasificar de dos formas diferentes: según su ubicación o en función de su aparamenta.

- En función de su ubicación:
 - i. Centro de transformación en superficie
 - ii. Centros de transformación subterráneos
 - iii. Centros de transformación semienterrados
 - iv. Centros de transformación de intemperie
 - v. Centro de transformación tipo palomar
- En función de su aparamenta:
 - i. Aparamta de corte al aire o convencionales. Todos los elementos en tensión están dispuestos al aire, en el interior de tabiques macizos y enrejados. Los elementos de maniobra son de corte visible.



Fig. 9: CT al aire o convencional

- ii. Aparamta con envolvente metálica. Los elementos bajo tensión están dispuestos en el interior de compartimentos metálicos. Los elementos de maniobra son de corte visible a través de mirillas ubicadas en el panel frontal.



Fig. 10: CT con envoltente metálica

- iii. Aparata con celdas de SF₆ (Hexafluoruro). Es en la que los elementos en tensión están contenidos en recipientes o envoltentes metálicos rellenos en SF₆. Los elementos de corte no son visibles, pero su estado se puede comprobar a través de indicadores de posición ubicados en la parte frontal.



Fig. 11: CT con celdas de SF₆

7.1 Elementos de maniobra

Principalmente nos encontraremos los siguientes elementos:

- Interruptor seccionador (IS): En su posición de apertura cumple las condiciones de aislamiento propias de un seccionador. En aquellos aparatos en que el corte no pueda ser visible, existirán dispositivos que garantizarán e indicarán que el

corte es efectivo. Un interruptor-seccionador, tiene capacidad de abrir y cerrar en tensión y con carga, en condiciones normales de funcionamiento.

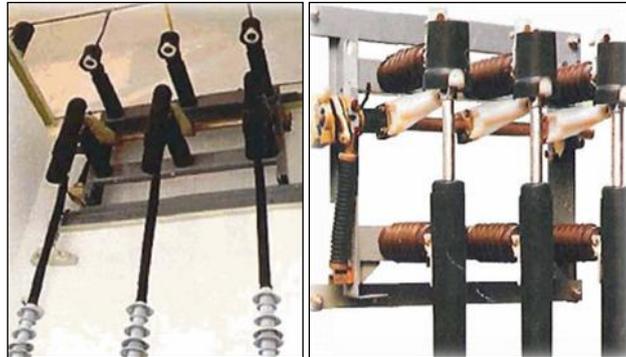


Fig. 12: Interruptor autoneumático en posición abierta y cerrada

- Ruptofusibles: son IS que llevan instalados fusibles para proteger contra circuitos a transformadores o a derivaciones en MT. Requiere que los muelles de apertura estén siempre cargados para que el elemento esté siempre preparado para abrir. En el rearme manual, es el operario quien debe rearmar manualmente los muelles.
- Interruptor automático: dotado de poder de corte capaz de establecer, mantener e interrumpir la intensidad de la corriente de servicio, o de interrumpir automáticamente o establecer, en condiciones predeterminadas, intensidades de corriente elevadas, tales como las corrientes de cortocircuito. La apertura de los contactos no garantiza la efectividad del corte. Este último sólo puede efectuarse abriendo seccionadores o sacando el carro de un interruptor extraíble.



Fig. 13: Interruptor automático

- Seccionador: En posición de abierto, garantiza el aislamiento eléctrico entre dos partes de una instalación, produciendo un corte efectivo en el circuito eléctrico. Puede considerarse un dispositivo de seguridad. Pero hay que recordar que el seccionador no tiene poder de corte, es decir, no tiene medios para extinguir el arco eléctrico que se produciría al abrir el circuito. No se puede abrir o cerrar en carga, previamente hay que abrir el interruptor. El corte de los seccionadores puede ser visible o no. Los de corte visible se encuentran instalados en instalaciones convencionales o en celdas con envolvente mecánica. Los de corte no visible son elementos que normalmente se encuentran dentro de una envolvente blindada en gas SF6. Estas celdas tienen dispositivos (indicadores de posición y enclavamientos) que garantizan la efectividad del corte.

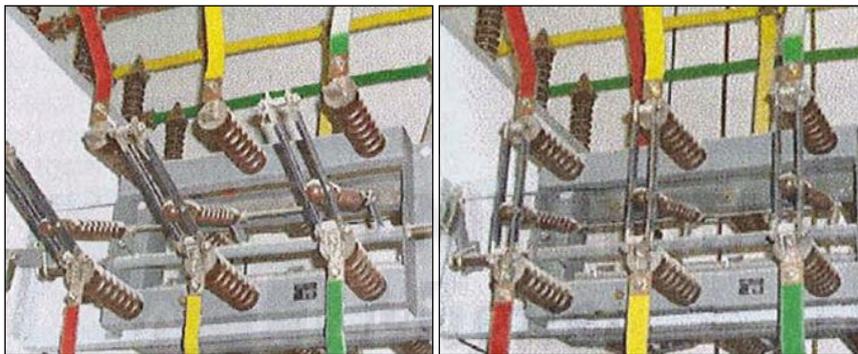


Fig. 14: Seccionador en posición abierta y cerrada.

- Seccionador de puesta a tierra: Elemento de seguridad cuya misión es la de poner en cortocircuito y a tierra las tres fases de la línea que conecta a una instalación con su calle o celda.
- Elementos de maniobra en una celda SF6: El elemento de maniobra es un interruptor de tres posiciones que realiza las funciones de interruptor-seccionador y de seccionador de puesta a tierra. Para poner a tierra y en cortocircuito debe comprobarse ausencia de tensión, aplicando las mismas medidas que en una maniobra en convencional. La siguiente imagen muestra el interior de una celda modular de SF6 representando virtualmente los tres estados posibles del elemento de maniobra.

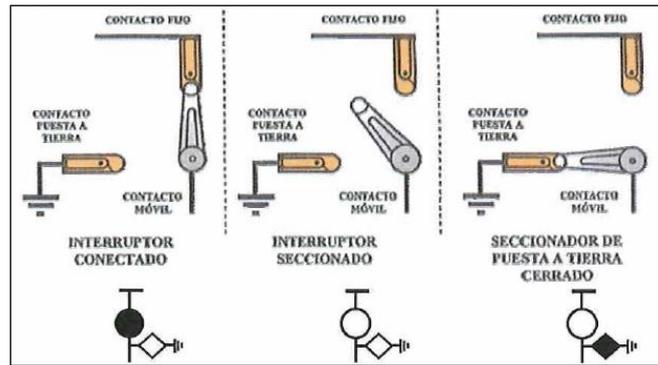


Fig. 15: Diferentes posiciones de funcionamiento

- Celdas de protección en SF₆: Estas celdas son las equivalentes blindadas en SF₆ de los ruptofusibles. Los fusibles suelen montarse sobre unos carros que se introducen en los compartimientos portafusibles de la celda. Una vez manipulados, no nos hemos de olvidar de rearmar los muelles. Las celdas SF₆ suelen contar con mecanismos de bloqueo para recordar al operario esta operación. Los fusibles fundidos aún pueden estar calientes o pueden estar rotos. Usar protección mecánica para su extracción.



Fig. 16 y 17: Cambio de un fusible FS6

7.2 Riesgos en los centros de transformación

Los principales riesgos que nos podemos encontrar son los siguientes:

- Riesgo de espacio confinado
- Caídas a distinto nivel y caída de objetos

- Atrapamientos
- Contactos eléctricos
- Daños a terceros
- Incendio/Explosión

7.2.1 Riesgo de espacios confinados

Los centros de transformación subterráneos y semienterrados tendrán la consideración de espacios confinados. Antes de entrar, se comprobará con un detector de gases la ausencia de atmósfera explosiva o tóxica y que la concentración de oxígeno está entre el 20,5 y 23,5%. Habrá una ventilación previa siempre.

Una hayamos comprobado la ventilación, se realizarán mediciones en los siguientes momentos:

- zona de la entrada
- a media altura
- el interior del centro, sin acceder previamente al mismo.

El detector de gases se mantendrá en funcionamiento durante todo el trabajo y lo más próximo a los operarios posible. En caso de que se active la alarma del detector, se evacuará el recinto inmediatamente.

Cuando se realice una ventilación forzada, ésta debe proceder de un compresor/extractor situado en el exterior del recinto, perfectamente delimitado. En caso de atmósferas explosivas por la ubicación del CT o por los trabajos a realizar, estos equipos serán además antideflagrantes.

7.2.1.1 Sistema de ventilación

Para conseguir una buena ventilación en el CT, evitando así también calentamientos excesivos, se utilizarán dos sistemas diferentes: ventilación natural o ventilación forzada. En caso de ser de forma natural, habrá entradas de aire adecuadas por la parte inferior y salidas situadas en la parte superior. Si se usa la ventilación forzada, se usará la más idónea según el diseño de la instalación eléctrica, y dispondrá de dispositivos de parada automática en caso de incendio.

Los huecos que se usarán para la ventilación, deberán estar protegidos de tal forma que puedan impedir el paso de animales pequeños, y también en caso de ser accesible desde el exterior, tendrá que evitar el paso de objetos metálicos de forma intencionada. Adicionalmente, deberán de disponer de las protecciones adecuadas para impedir la entrada de agua.

Los CT situados en edificios que no son destinados exclusivamente a instalaciones eléctricas, el conducto de salida estará de tal forma que no moleste a los demás usuarios del edificio.

7.2.2 Caídas a distinto nivel y caída de objetos

- Las vías de evacuación deberán estar libres de obstáculos para favorecer la salida.
- Las puertas de acceso se anclarán o sujetarán de forma que no se cierren de manera imprevista.
- Protección perimetral del hueco.
- Señalización según proceda (diurno y / o nocturno).
- Cuando se ocupen los espacios destinados a la circulación peatonal, se habilitarán pasos alternativos debidamente señalizados y protegidos.
- Cuando se abandone el centro, aunque sea de forma momentánea, se cerrará el acceso.
- Se hará uso de la herramienta adecuada para la apertura y cierre de las puertas de acceso.
- No se colocarán objetos al borde del hueco.
- Se hará uso de dispositivos de cuerda para bajar y subir equipo y materiales.
- Antes de hacer uso de la escalera fija o escala, hay que asegurarse de que está en buen estado.
- No se transportará cargas mientras se sube o se baja.
- Se hará uso de la barandilla de la escalera con ambas manos libres.
- Se pisarán los peldaños de la escalera uno a uno.
- El calzado deberá estar limpio.

- Cuando la escalera o la escala se encuentre en mal estado, se deberá hacer uso de una escalera portátil.
- La escalera portátil deberá estar sujeta por la parte superior a un punto fijo y estable y sobresalir al menos 1 m de la zona del desembarco.

7.2.3 Atrapamientos

- No situarse en la vertical de la carga.
- Se darán órdenes claras y precisas, controlando en todo momento los trabajos y situaciones.

7.2.4 Riesgo eléctrico

- Personal cualificado, con formación adecuada a los trabajos que se vayan a realizar.
- Uso obligatorio de ropa ignífuga y de protección contra el arco eléctrico. Esta será de CAT III.
- En los lugares donde no se pueda respetar la DISTANCIA DE PROXIMIDAD se protegerán todos los puntos o elementos en tensión, mediante técnicas de trabajos en tensión y haciendo uso de los procedimientos de trabajo específicos para ello:
 - A) Para Alta Tensión se apantallarán las celdas o barras en función de la necesidad, mediante barreras físicas de fibra aislante (pantallas) por personal habilitado en trabajos en tensión AT y siguiendo las instrucciones de los procedimientos y las herramientas adecuadas.
 - B) Para Baja Tensión se utilizarán telas vinílicas, capuchones, por personal cualificado en trabajos en tensión BT y siguiendo las instrucciones de los procedimientos y las herramientas isoplastificadas.
- No se maniobrará ningún seccionador sin haber comprobado la ausencia de carga. (Que no tenga carga no quiere decir que no tenga tensión.)
- En la apertura y cierre de los elementos de corte, se comprobará la correcta apertura o cierre de las cuchillas. En caso de que alguna no haya abierto/cerrado correctamente, se avisará de inmediato al mando superior y al centro de control.

- Se prohíbe el uso de elementos metálicos (llaveros, cadenas...) que puedan provocar un arco eléctrico en la zona de trabajo.

7.2.5 Incendio/explosión

- Disponer de extintor adecuado.
- Está prohibido fumar dentro del CT.
- No se guardarán combustibles ni trapos grasientos dentro del CT.
- Iluminación adecuada.
- Se dispondrá de un sistema de alumbrado adicional conectado a la red a través de un equipo portátil de protección o se utilizarán sistemas autónomos si el CT está sin tensión.

7.2.5.1 Protección de los transformadores por sobretensión

En los transformadores en servicio, principalmente hay dos focos de calor. Uno es debido a las pérdidas producidas por el efecto Joule ($I^2 R$), y el otro, en el núcleo magnético provocado por las pérdidas por corrientes de Foucauld y por histéresis, en conjunto denominadas pérdidas magnéticas.

En los transformadores denominados en baño de aceite, la protección se realiza mediante un termostato, o con un termómetro que tiene contactos eléctricos ajustables, que controlan la temperatura del aceite de la capa superior (debido a la convección es la más caliente) y actuaran cuando se sobrepase el valor de ajuste. Actualmente los termómetros (los termostatos son menos usados) normalmente tienen dos niveles de actuación, los dos regulables. Uno se utiliza para dar una señal de aviso/alarma y después otro, que está se regula a una temperatura superior, para poder provocar que se abra el interruptor de alimentación.

En cambio en los transformadores denominados secos, la vigilancia y el control de la temperatura se realiza mediante sondas PTC (termistores) que están situados sobre las partes activas del transformador, en cada fase o columna dos, en alojamientos que permiten una futura sustitución. Se ubican en la parte superior de dichas columnas, que son la parte más caliente.

Estas dos sondas, se taran a diferentes temperaturas, la primera a 150°C (será el primer nivel de alarma o aviso), y la segunda a 160°C (será un segundo nivel de alarma, y a la vez se usará como disparo del interruptor de la alimentación). Estas sondas transmitirán una señal a unos convertidores electrónicos, que están situados en una parte externa al transformador. Pueden situarse por ejemplo en el armario o cuadro de BT.

7.2.5.2 Protección contra incendios

En los centros de transformación, encontraremos dos sistemas protección CI: los sistemas pasivos y los sistemas activos.

- Sistema pasivo:
 - i. Habrá un pozo colector para la recogida de aceite, uno por cada transformador, con dispositivo apagallamas. Deben de tener una capacidad suficiente para todo el aceite del transformador. Encima de este pozo se colocará una chapa ranurada o de reja, y adicionalmente por encima una capa de piedras (similares a las usadas en el ferrocarril) a modo de apagallamas. Otra forma sería colocando dos rejillas metálicas cortafuegos.
 - ii. Obra civil que será resistente al fuego (paredes y techo).
 - iii. Las puertas y sus marcos, las aberturas de ventilación, ventanas, etc., todas deben de ser de material metálico (normalmente se utiliza el acero). Esta precaución se usa también habitualmente en los CT que tienen transformadores secos.
 - iv. También es recomendable que dentro del CT, entre el transformador y el resto de elementos del propio centro, se dispongan de tabiques de obra civil o metálicos (los cuales serán resistentes al fuego), para que actúen como separadores cortafuegos.
- Sistema activo: adicionalmente de los sistemas activos anteriormente descritos, deberá de contar con un sistema activo, cuando se excedan los siguientes volúmenes de aceite:
 - i. 600 l. por transformador individual.
 - ii. 2.400 l. para la suma total de los transformadores que estén instalados en el CT.

- iii. Cuando los CT estén ubicados en locales que sea de pública concurrencia, los valores anteriormente descritos se reducirán a 400 l. por un transformador, y 1.500 l. por el total de transformadores que haya en el centro de transformación.

Estos sistemas de protección activa serán los siguientes:

- Equipo o sistema de extinción de fuego automático, que se activará con detectores y/o sensores. Este tipo de sistema automático de extinción, será acorde con las RD 513/2017.
- Instalación de un sistema de compuertas, que cerrarán automáticamente las entradas y salidas de ventilación del aire.
- Habrá una separación entre las celdas del transformador y el resto del centro.

7.2.6 Daños a terceros

- Protección perimetral del hueco.
- Señalización según proceda (diurno y / o nocturno).
- Cuando se ocupen los espacios destinados a la circulación peatonal, se habilitarán pasos alternativos debidamente señalizados y protegidos.

7.2.7 Señalización y alumbrado

- Señalización:
 - i. Tanto las puertas para acceder al CT, como las puertas de acceso a las celdas, llevarán carteles indicado el peligro de riesgo eléctrico según el RD 485/1997.
 - ii. En el interior del centro de transformación, se colocará en un lugar visible, un cartel con los pasos e instrucciones de primeros auxilios en caso de accidente.
 - iii. En los CT que se tengan que realizar maniobras con pértiga, dispondrán de un taburete de aislamiento, para que lo pueda utilizar el operario durante la maniobra con la pértiga.

- iv. Adicionalmente es conveniente que en el CT haya un par de guantes aislante, guardados de forma óptima.
- Alumbrado:
 - i. La instalación de BT para dar servicio al CT, dispondrá de un interruptor diferencial (10 mA o 30 mA).
 - ii. Habrá como mínimo dos puntos de luz, el nivel medio de iluminación será de 150 lux por lo menos.
 - iii. Los interruptores estarán situados en la proximidad de las puertas de acceso.
 - iv. Adicionalmente, podrá haber un alumbrado de emergencia, el cual tendrá generación autónoma, que entrará en funcionamiento de forma automática cuando se corte el servicio eléctrico.

7.3 Tipos de transformadores

7.3.1 Transformadores secos

Son los más utilizados en los CT de abonado que en los CT de red pública.

- Ventajas frente a los transformadores en baño de aceite:
 - i. Menor coste de instalación al no necesitar el depósito colector en la obra civil, antes mencionado,
 - ii. Menor riesgo de incendio. Es su principal ventaja frente a los transformadores en baño de aceite. Los materiales empleados en su construcción (resina epoxy, polvo de cuarzo y de alúmina) son autoextinguibles, y no producen gases tóxicos o venenosos. Se descomponen a partir de 300°C y los humos que producen son muy tenues y no corrosivos. En caso de fuego externo (en el entorno), cuando la resina alcanza los 350°C arde con llama muy débil y al cesar el foco de calor se autoextingue aproximadamente a los 12 segundos. Puede decirse que este menor riesgo de incendio fue la principal razón y objetivo que motivó su desarrollo.
- Desventajas frente a los transformadores en aceite:
 - i. Mayor coste, en la actualidad del orden del doble.
 - ii. Mayor nivel de ruido.

- iii. Menor resistencia a las sobretensiones,
- iv. No son adecuados para instalación en intemperie, ni para ambientes contaminados.
- v. Presentan menos seguridad frente a contactos indirectos que los transformadores en aceite dentro de caja metálica conectada a tierra.

En la actualidad, disponibles sólo hasta 36 kV y hasta 15 MVA.



Fig. 18: Dibujo de un transformador seco

7.3.2 Transformadores de aceite

Son los utilizados mayoritariamente para los CT de las redes públicas. Has dos tipos de transformadores de aceite: los herméticos, y los que tienen depósito conservador.

- Ventajas frente a los transformadores secos:
 - Coste unitario menor. Actualmente su precio es alrededor de la mitad que lo cuesta uno seco a igual potencia y tensión.
 - Un control de funcionamiento mejor.
 - Nivel de ruido menor.
 - Pérdidas de vacío Menores.

- En atmósferas contaminadas tienen también un buen funcionamiento.
- Se pueden instalar en la intemperie.
- Mayor resistencia a las sobrecargas prolongadas y a las sobretensiones.

Los transformadores que se fabrican en baño de aceite se pueden construir para todas las tensiones y potencias, pero para tensiones y/o potencias superiores a los usados en distribución MT/BT para CT, se siguen utilizando con depósito conservador.

- Desventajas frente a los transformadores secos:
 - El principal hándicap, es la baja temperatura que tiene el aceite de inflamación, en consecuencia el riesgo de incendio que tiene y además con un elevado desprendimiento de humos. Por esta razón (además de por razones medioambientales), debe haber debajo de cada transformador, un depósito colector o pozo, con una capacidad suficiente para albergar todo el aceite del transformador.
 - Debe realizarse un control periódico del aceite, debido a que sufre un proceso de envejecimiento, que con el aumento de la temperatura se acelera su deterioro.



Fig. 19: Dibujo de un transformador en aceite

7.3.3 Transformadores PCB

Bajo la denominación de piralenos se conocen los compuestos formados a base de triclorobencenos y policlorobifenilo, teniendo a su vez un porcentaje de contenido en cloro. Comercialmente se les conoce también con el nombre de eskarel, araclor e inerten.

Su uso en nuevos transformadores está prohibido, según el RD 228/2006, y se considera PCB cualquier sustancia con un contenido de PCB líquido igual o superior a 50 ppm (partes por millón). Los equipos comprendidos entre 50 y 500 ppm deben ser descontaminados o destruidos antes del 31-12-2028. Por esta razón, aún nos podemos encontrar algunos transformadores antiguos de este tipo.

Su uso estuvo extendido debido a que posee unas características muy buenas que le hacen ideal como fluido dieléctrico en transformadores y condensadores, en sustitución de los tradicionales aceites minerales.

- Como ventajas se pueden citar:
 - Mayor permitividad que los aceites minerales.
 - Rigidez dieléctrica.
 - Alta estabilidad química.
 - Viscosidad elevada.
 - Menos inflamabilidad
 - Poco volátil

8. Trabajos eléctricos

8.1 EPIS y materiales utilizados

- Casco: nos protegerá por un lado tanto frente a choques como a impactos, pero también nos tiene que proteger de contactos eléctricos. Será acorde a la norma EN 397 y EN 50365.
- Casco de seguridad con pantalla inactiva: se utilizará en todos los trabajos con riesgo eléctrico en BT a distancias $D_{prox} 1$ (ejemplo abrir cajas, etc.). La fecha que se indica en la visera del casco es la de fabricación. No caduca. Sustituir a los 2 años en utilización a diario. Desechar si esta rallado o a sufrido un golpe o descarga. Es importante recordar que la pantalla es un elemento crítico en tu seguridad, ya que detiene el impacto físico producido por el arco eléctrico. Puede salvarte la vista. Tienes que bajar la pantalla antes de acercarse a cualquier elemento en tensión (ejemplo abrir cajas). Será acorde a la norma EN 397, EN 50365 y EN 166.



Fig. 20: Casco con pantalla protectoras para trabajos eléctricos

- Casco de seguridad con pantalla inactiva para revisiones MT: En todos los trabajos con riesgo eléctrico en MT a distancias $D_{prox} 1$ (revisiones de tierras, etc.) para utilización intensiva. Más completo que el anterior tiene la pantalla más gruesa y no desmontable. La fecha que se indica en la visera del casco es la de fabricación. Caduca a los 5 años todo el conjunto casco-pantalla. Desechar en caso de golpe o descarga. Será acorde a la norma EN 397 y EN 166.

- Gafas de seguridad antiproyecciones: se deberán de sustituir en caso de estar ralladas, picadas o dañadas. Será acorde a la norma EN 166.
- Gafas de seguridad inactivas: En todos los trabajos con riesgo de arco en BT o MT a distancias de seguridad $D_{prox} \geq 1$. Se utilizará siempre como complemento a la pantalla de protección. Hay que ponérselas antes de entrar en el CT. Será acorde a la norma EN 166.
- Guantes de protección mecánica: Muy importante acordarse de utilizarlos para protegernos al abrir puertas y trapas de CT. Y también para descender por escaleras de gato oxidadas. Se deben de sustituir En el caso de desgaste y/o deshilachado de costuras. Será acorde a la norma EN 388.
- Guantes anticalóricos (bajo guante): bajo el guante de protección dieléctrica para proteger las manos contra el calor. No caduca. Antes de cada utilización examinar posibles zonas deterioradas y en su caso sustituir ante la mínima duda. Será acorde a la norma EN 388.
- Guantes aislantes de BT: se usarán Todos los trabajos con exposición al arco en instalaciones BT. Como apertura de armarios y cajas BT, toma de cargas en líneas BT. Caducidad: no caducan. Hay que poner la fecha de puesta en servicio en el guante (en la bolsa original y en el guante ya pone la fecha de fabricación). Revisiones cada 2 meses. Cada 6 meses hacer prueba neumática y poner la fecha en el recuadro de cada guante. Sustituir inmediatamente si tiene poros/fugas o cualquier deterioro. Es muy importante igual que con los guantes aislantes de MT, que antes de cada uso, inspeccionar roturas/desgastes en superficie interior o exterior. Inflar los guantes (puede utilizarse un accesorio neumático para ello) comprobando que no existen fugas.
- Será acorde a la norma EN 420 y EN 60903.

Clase de guante según el voltaje:

- clase 0: hasta 0.5 Kv alterna y 0.75 Kv,
- Clase 00: hasta 1 Kv alterna y 1.5 Kv.
- Guantes aislantes MT: se usarán para todos los trabajos con exposición al arco en instalaciones MT. Ejemplo: revisiones reglamentarias en cuadros e instalaciones MT, mediciones de resistencia y tensiones de paso y contacto. Será acorde a la norma EN 420 y EN 60903. Caducidad: caducan a los 12 meses fecha de fabricación (la

fecha la pone en el guante y la bolsa). Hay que poner la fecha de puesta en servicio en el guante y posteriormente todas las revisiones que hagamos o cada 2 meses máximo. Únicamente pueden utilizarse durante 6 meses (dentro del año). Si a los 6 meses están en buen estado porque se han usado muy poco pueden reutilizarse, para ello tienen que pasar revisión en organismo acreditado.

Clase de guante según el voltaje

- Clase 1: hasta 7.5 kV en alterna y 11.25 kV en continua.
- Clase 2: hasta 17 kV en alterna y 25.5 kV en continua.
- Clase 3: hasta 26.5 kV en alterna y 39.75 kV en continua.
- Clase 4: hasta 36 kV en alterna y 54 kV en continua.



Fig. 21: Guantes aislantes de electricidad

- Sobreguantes mecánicos: se usarán sobre el guante de protección dieléctrica MT o BT para protegerlo de agresiones mecánicas (cortes, rozaduras y pinchazos).
- Manguitos aislantes: se colocarán adicionalmente a los guantes aislantes. Tienen una clasificación similar a los guantes.
- Calzado: deberá protegernos del riesgo eléctrico, además de los riesgos mecánicos. Deberá cumplir EN 20345, EN 50321
- Ropa: la ropa de trabajo debe de ser ignífuga, tener propiedades aislantes. Por otro lado, en trabajos en tensión en MT y AT, se utilizará ropa conductora que puede

llegar a tensiones de 800 KV en ca y 600 KV en cc. Deberá cumplir con EN 61482-1-1/2 y EN 50286.

- Banqueta aislante: es un elemento indispensable para realizar las maniobras y trabajos eléctricos. Proporcionará aislamiento respecto al suelo, y así evitará el paso de corriente a tierra por los pies. Seguirán UNE 204001. En función del nivel de aislamiento encontraremos los siguientes modelos:
 - Clase 0: Se puede utilizar para tensiones de hasta 1 kV en alterna y 1.5 kV en continua – Color rojo
 - 7.5 kV en alterna y 11.25 kV en continua – Color Blanco
 - 17 kV en alterna y 25.5 kV en continua – Amarillo
 - 26.5 kV en alterna y 39.75 kV en continua – Verde
 - 36 kV en alterna y 54 kV en continua – Naranja
 - 45 kV en alterna y 67.5 kV en continua – Azul
 - 66 kV en alterna y 99 kV en continua – Negro



Fig. 22: Banqueta aislante para trabajos eléctricos

- Detector de ausencia de tensión + pértiga: se usará para comprobar la ausencia de tensión. Se usará el equipo adecuado a la tensión que vayamos a comprobar. Se comprobará su correcto funcionamiento antes y después de usarlo.



Fig. 23: Pértiga + medidor de tensión.

- Equipo de salvamento/rescate: en caso de que algún trabajador haya sufrido un accidente, se usará un material preparado y específico para poder actuar, entre el material encontraremos:
 - Pértiga para poder separar al accidentado del lugar de contacto eléctrico.
 - Cizalla cortacable aislada.

8.2 Las 5 reglas de oro

Se denominan las 5 reglas de oro, a 5 pasos que se deben seguir para trabajar de una forma segura en los trabajos frente a riesgo eléctrico, siguiendo las disposiciones del RD 614/2001, para realizar trabajos sin tensión.

1. Desconectar.
2. Prevenir cualquier posible realimentación.
3. Verificar la ausencia de tensión.
4. Poner a tierra y en cortocircuito.
5. Proteger frente a elementos próximos en tensión, en su caso, y establecer una señalización de seguridad para delimitar la zona de trabajo.

8.2.1 Primera regla de oro

Desconectar todas las posibles fuentes de tensión.

Lo primero que debemos hacer es desconectar cada una de las posibles alimentaciones que tenga línea, cuadro eléctrico o transformador, antes de iniciar cualquier tipo de trabajo eléctrico sin tensión. Prestaremos una atención especial a la alimentación que provenga a

través de otros generadores y grupos electrógenos, baterías de condensadores, sistemas de alimentación interrumpida, etc.

Podremos considerar que el corte es bueno cuando por nosotros mismos podamos ver los contactos abiertos y estos tienen suficiente espacio como para asegurar un correcto aislamiento. A esto se dice que el corte es visible.

Como no es posible ver en los equipos modernos directamente estos contactos, los fabricantes han incorporado indicadores de la posición de éstos. La aparatada si está debidamente homologada, nos da la garantía que el corte está hecho en condiciones de seguridad. A esto se le denomina corte efectivo.

8.2.2 Segunda regla de oro

Bloqueo, si es posible, de los aparatos de corte y señalización siempre del mando.

Hemos de prevenir cualquier posible re-conexión accidental, para ello utilizaremos medios mecánicos (como por ejemplo candados). Nunca emplearemos medios fácilmente anulables, tales como bridas, cinta aislante o similares, para enclavar el dispositivo de mando.

Si los dispositivos son telemandados, hemos de anular el telemando quitando la corriente del circuito de maniobra.

Se señalará claramente en los dispositivos que sean de mando enclavados que se están haciendo trabajos.

Adicionalmente, se debe advertir a los otros compañeros que el dispositivo está enclavado y ya se ha hecho el corte.

8.2.3 Tercera regla de oro

Verificación de la ausencia de tensión.

Siempre hemos de tener presente cuando realicemos trabajos eléctricos la siguiente norma o principio: hasta que no se pueda demostrar lo contrario, aquellos elementos que puedan tener tensión, lo tendrán de forma efectiva.

Siempre debemos comprobar que no haya tensión donde vayamos a iniciar cualquier trabajo, utilizando los equipos de medida y procedimientos apropiados a los niveles de tensión más elevados que pueda haber en la instalación.

Cuando hayamos efectuado los pasos anteriores no nos garantiza que en la instalación no haya tensión.

Cuando comprobemos la ausencia de tensión se debe hacer en todas las fases y en caso de existir, también en el conductor neutro. Adicionalmente se recomienda que también se compruebe todas aquellas masas que siendo accesibles, puedan quedar puntualmente en tensión.

8.2.4 Cuarta regla de oro

Puesta a tierra y en cortocircuito, de cada una de las posibles fuentes de tensión.

Este paso es muy importante, debido a que nos ayudará a crear virtualmente una zona de seguridad alrededor de donde trabajemos.

Gracias a ello, si el equipo o la línea volvieran a tener tensión, debido a una realimentación, o por accidente en otra línea (a causa de un fallo de aislamiento) o por una descarga atmosférica (rayo), haríamos que se produjera un cortocircuito y conseguiríamos derivar la corriente accidental a Tierra, de esta forma quedando la parte donde estamos realizando los trabajos sin peligro.

Los dispositivos o equipos usados para la puesta a tierra tienen que soportar la máxima intensidad de defecto trifásico que pueda haber en esa instalación sin estropearse. Adicionalmente, las conexiones tienen que ser mecánicamente resistentes y en ningún momento deben soltarse. No hemos de olvidar que un cortocircuito llega a generar importantes esfuerzos electrodinámicos.

8.2.5 Quinta regla de oro

Proteger frente a elementos próximos en tensión, si es necesario, y señalizar la zona de trabajo.

La zona dónde estemos realizando los trabajos se deberá señalizar por medio de conos, vallas o dispositivos análogos. Si se da el caso, también tenemos que tener en cuenta de

señalizar aquellas zonas seguras para todo el personal que estén realizando trabajos en otras zonas cercanas al lugar.

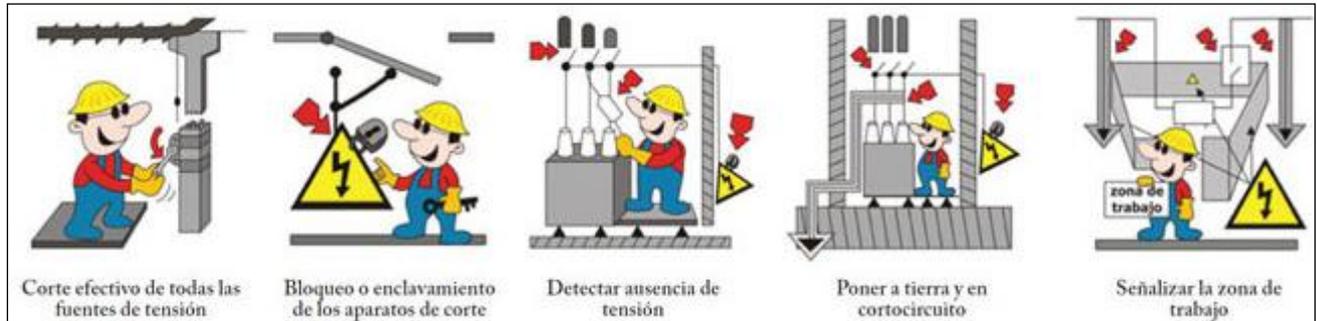


Fig. 24: Ilustraciones de las 5 reglas de oro

8.3 Bloqueo y señal

El bloqueo y posterior señalización, forma parte de la segunda regla de oro, explicada anteriormente. A pesar de ello, dada su importancia y relevancia, se ha dedicado un apartado específico dada sus particularidades.

El objetivo principal de esta acción es impedir el accionamiento por fallo técnico, error humano o por cualquier causa imprevista de la sección cortada/desconectada.

Recordaremos que para realizar el corte, usaremos medios mecánicos (candados), eléctricos (cuando se ha inmovilizado mediante la apertura del circuito eléctrico de accionamiento), o físico (colocación de elementos aislantes que impidan físicamente la conexión).



Fig. 25: Celda bloqueada con candado y señalizada

Al realizar el bloqueo eléctrico de las celdas con mando eléctrico teledirigidas, seguiremos los siguientes pasos:

1. Pasar el control del teledirigido a local.
2. Abrir eléctricamente el interruptor.
3. Disparar el magnetotérmico de control



Fig. 26: Los tres pasos a seguir en el bloqueo eléctrico



Fig. 27: Ejemplo de bloqueo físico con pantallas

Cuando vayamos a señalar, seguiremos los siguientes criterios:

1. Se colocará sobre el mando de accionamiento del aparato de corte.
2. Si el aparato de corte, además de mando local tiene mando a distancia, la señalización se colocará en ambos mandos.
3. Si el aparato de corte no tiene mando de accionamiento, la señalización deberá colocarse en el aparato o en su proximidad.

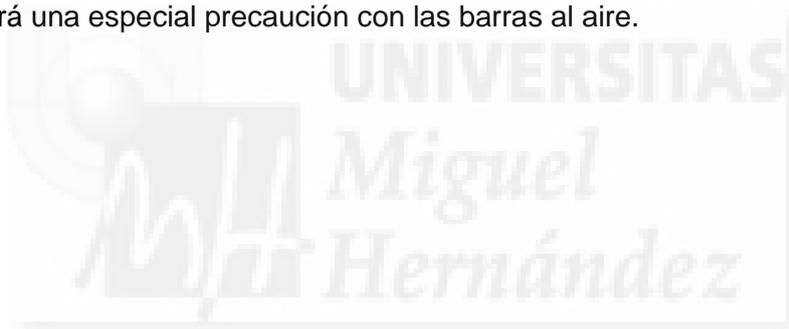
8.4 Trabajos con cortes de tensión

Para la realización de los trabajos con corte con tensión, será muy importante seguir rigurosamente los pasos detallados en el cuestionario para la realización de trabajo con corte de tensión. En este tipo de cuestionario, hay 4 partes diferenciadas: datos del lugar de intervención, pasos a seguir antes de empezar los trabajos, pasos a seguir a para la realización del corte de tensión, los pasos a seguir para restaurar la corriente una vez realizado los trabajos.

Adicionalmente es importante recordar y remarcar los siguientes puntos.

- Es obligatoria la aplicación de las "5 REGLAS DE ORO " en todos los trabajos realizados en frío.

- Para la realización de las cinco reglas de oro, los trabajadores deberán hacer uso de un doble aislamiento (guantes+banqueta, guantes+pértiga, pértiga+banqueta), de pantalla facial contra arco eléctrico y ropa ignífuga. Los elementos aislantes serán adecuados al nivel de tensión de la línea.
- Se comprobará ausencia de tensión en las entradas y salidas de la/s zona/s de trabajo.
- Se pondrán a tierra las entradas y salidas de todos los conductores que incidan en la zona de trabajo y de aquellos puntos susceptibles de entrar en tensión, mediante un retorno.
- Cuando por la configuración del cuadro de BT, o por el tipo de trabajo a realizar (cambio de cuadro), no se puedan colocar tierras en baja tensión para la protección desde abonados, se deberán desconectar las líneas que salen del cuadro mediante técnicas de trabajos en tensión y protegerlas, para la creación de la zona de trabajo.
- Se tendrá una especial precaución con las barras al aire.



CUESTIONARIO PARA TRABAJOS CON CORTE DE TENSIÓN		
Fecha: _____	Lugar: _____	Cliente: _____
Instalación: _____		
D.N.: _____		Delegación: _____
Descripción de los trabajos a realizar: _____		C.P.: _____

ANTES DE EMPEZAR LOS TRABAJOS		
1º ¿Conoces el trabajo a realizar con precisión y lo has preparado debidamente?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
2º ¿Has explicado a todo el personal las tareas concretas y operaciones a realizar?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
3º ¿Dispones de los equipos de protección y de todos los elementos necesarios para efectuar el corte de tensión? (por ejemplo: sistema anticaídas/línea de vida, pértiga detectora de tensión, juegos de puestas a tierra)	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
SI TODAS LAS RESPUESTAS SON POSITIVAS, PUEDES EMPEZAR EL CORTE DE TENSIÓN		
REALIZACIÓN DEL CORTE DE TENSIÓN		
RECUERDA QUE LOS OPERARIOS QUE REALICEN ESTAS OPERACIONES DEBEN SER TRABAJADORES CUALIFICADOS		
RECUERDA QUE TODO EL PERSONAL DEBERÁ ESTAR VISIBLE Y REUNIDO ANTES DE EFECTUAR EL CORTE DE TENSIÓN Y TENERLOS CONTROLADOS HASTA QUE SE HAYA REALIZADO EL MISMO: NUNCA ACCEDAS O PERMITAS EL ACCESO A UNA INSTALACIÓN HASTA COMPLETAR LAS 5 REGLAS DE ORO		
1º ¿Se han desconectado todas las fuentes de tensión? ej. : Accionar interruptores o disyuntores; tras ello, abrir seccionadores, retirar fusibles, abrir puentes, extraer carretones, etc. (en función de la instalación)	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
2º ¿Se han enclavado o bloqueado, si es posible, los aparatos de corte, y señalizado siempre en el mando?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
3º Tras comprobar que el detector de tensión funciona correctamente, ¿se ha verificado la ausencia de tensión en todos los conductores o posibles fuentes de tensión, comprobando tras ello que el detector continúa funcionando correctamente?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
4º ¿Se han puesto a tierra y en cortocircuito todas las posibles fuentes de tensión?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
(Colocando TODAS las puestas a tierra necesarias si existen cables duplex, triplex, etc.)		
5º ¿Se ha comprobado si hay elementos próximos en tensión y, si los hay, se han protegido y señalizado debidamente, delimitando la zona de trabajo?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
RECUERDA QUE SI ALGUNO DE LOS APARTADOS ESTÁ EN BLANCO O CONTESTADO NEGATIVAMENTE, NO PUEDES PROSEGUIR CON LA REALIZACIÓN DEL CORTE DE TENSIÓN O DEL TRABAJO HASTA CORREGIRLO		
REPOSICIÓN DE LA TENSIÓN		
1º ¿Se han realizado las tareas necesarias para finalizar el trabajo, retirado todos los trabajadores no necesarios para la reposición y recogidas todas las herramientas y equipos empleados?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
2º ¿Se han retirado todos los elementos de señalización, protección y delimitación?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
3º ¿Se han retirado las puestas a tierra y en cortocircuito?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
4º ¿Está TODO el personal reunido y visible, fuera de las zonas de peligro?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
5º ¿Se han retirado los dispositivos de bloqueo?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
6º ¿Se han conectado correctamente los circuitos y repuesto con ello la tensión?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
DESDE EL MOMENTO EN QUE SE SUPRIMA ALGUNA DE LAS MEDIDAS ARRIBA INDICADAS, SE CONSIDERARÁ QUE LA INSTALACIÓN ESTÁ EN TENSIÓN.		
OBSERVACIONES :	CUMPLIMENTADO POR :	
	Nombre :	
	Firma :	
NOTA: ENVIAR ESTE CUESTIONARIO AL JEFE DE OBRA UNA VEZ FINALIZADO EL TRABAJO PARA SU ARCHIVO EN LA CARPETA DE OBRA		

Fig. 28: Ejemplo de cuestionario para trabajos con corte de tensión.

	QUÉ HACER	SOBRE QUÉ ACTUAR	EQUIPOS DE PROTECCIÓN
1.	Desconectar todas las fuentes de tensión	<ul style="list-style-type: none"> • Interruptores • Seccionadores • Fusibles • Puentes • Carretones • Posibles fuentes de alimentación (retornos) 	<ul style="list-style-type: none"> • Casco y botas de seguridad • Guantes de protección mecánica • Guantes aislantes apropiados a la tensión
2.	Enclavamiento o bloqueo, si es posible, de los aparatos de corte y señalización siempre en el mando de estos	<ul style="list-style-type: none"> • Interruptores • Seccionadores • Fusibles • Sistemas de telemando • Fuentes de energía auxiliares 	<ul style="list-style-type: none"> • Guantes ignífugos • Ropa de trabajo ignífuga y de protección contra el arco eléctrico
3.	Verificación de la ausencia de tensión	<ul style="list-style-type: none"> • En, o lo más cerca posible, de la zona de trabajo • Todos los conductores de la zona de trabajo 	<ul style="list-style-type: none"> • Equipos de Puesta a Tierra adecuados a la instalación (tantos como zonas y conductores a proteger)
4.	Puesta a tierra y en cortocircuito de todas las posibles fuentes de tensión	<ul style="list-style-type: none"> • Todos los puntos de la instalación desde los que pueda llegar tensión al lugar de trabajo, creando las zonas protegidas y de trabajo • Todas las fases de todos los conductores existentes, en caso de líneas duplex o triplex • Instalaciones de B.T. 	<ul style="list-style-type: none"> • Verificador de ausencia de tensión adecuado a la instalación • Elementos de señalización y protección • Elementos de enclavamiento • Otros Equipos de Protección Individual o Colectiva necesarios por el trabajo: pértigas, banquetas o alfombras aislantes, pantalla de protección facial inactiva, sistema anticaídas, etc.
5.	Proteger frente a elementos próximos en tensión y establecer la señalización de seguridad adecuada, delimitando la zona de trabajo	Espacios a delimitar: <ul style="list-style-type: none"> • Zona de peligro • Zona de trabajo • Zona protegida 	

Fig.29: Resumen de los trabajos con cortes de tensión

8.4 Trabajos en proximidad de tensión

Los trabajos deberán ser realizados por trabajadores autorizados: “trabajador que ha sido autorizado por el empresario para realizar determinados trabajos con riesgo eléctrico, en base a su capacidad para hacerlos de forma correcta” ¹(INSHT, RD 614/2001) o, en el caso de personal sin autorización, bajo la vigilancia de un trabajador autorizado.

La determinación de la viabilidad de los trabajos y la protección y señalización serán realizadas por un trabajador cualificado.

En todo trabajo en proximidad de elementos en tensión, el trabajador deberá permanecer fuera de la zona de peligro y lo más alejado de ella que el trabajo permita.

Se deberá respetar siempre la distancia de peligro (D_{pel}) indicada en el dibujo siguiente, realizando las medidas entre los puntos más próximos en tensión y cualquier parte extrema del operario, herramienta o elemento que esté manipulando, teniendo en cuenta tanto movimientos voluntarios como accidentales.

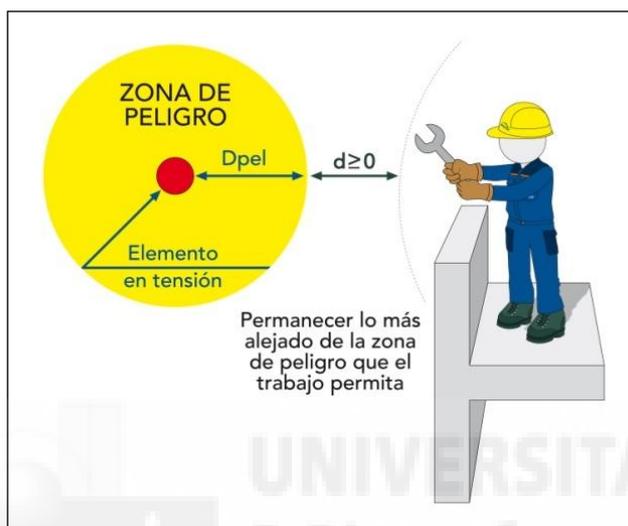


Fig. 30: Ilustración de la distancia de peligro

8.4.1 Definición de las zonas y distancias

Pasaremos a definir los siguientes conceptos utilizados en la tabla que hay más adelante, la cual utilizaremos para calcular las distancias a las cuales hemos de estar, para trabajar de una forma segura:

- “Zona de peligro o zona de trabajos en tensión: espacio alrededor de los elementos en tensión en el que la presencia de un trabajador desprotegido supone un riesgo grave e inminente de que se produzca un arco eléctrico, o un contacto directo con el elemento en tensión, teniendo en cuenta los gestos o movimientos normales que puede efectuar el trabajador sin desplazarse.” (Instituto Nacional Seguridad Higiene Trabajo [INSH], 2001).
- “Trabajo en proximidad: trabajo durante el cual el trabajador entra, o puede entrar, en la zona de proximidad, sin entrar en la zona de peligro, bien sea con una parte de su cuerpo, o con las herramientas, equipos, dispositivos o materiales que manipula.” (INSH, 2001).

- “Zona de proximidad: espacio delimitado alrededor de la zona de peligro, desde la que el trabajador puede invadir accidentalmente esta última. Donde no se interponga una barrera física que garantice la protección frente al riesgo eléctrico”, estas distancias desde el elemento que tiene tensión hasta el límite exterior de dicha zona viene indicada la tabla que hay a continuación. (INSH, 2001).
- Un: Tensión nominal de la instalación en kv.
- D pel -1: Distancia en la que se entra en la zona de peligro cuando pueda existir riesgo de sobretensión por rayos.
- D pel -2: Distancia en la que se entra en la zona de peligro (cuando no hay riesgo de rayo).
- D prox-1: Distancia en la que se entra en la zona de proximidad, cuando resulte posible con precisión delimitar la zona de trabajo.
- D prox-2: Distancia en la se entra en zona de proximidad, cuando no es posible delimitar la zona de trabajo con precisión.

Tabla 1. Distancias límite de las zonas de trabajo*				
U n	D PEL-1	D PEL-2	D PROX-1	D PROX-2
1	50	50	70	300
3	62	52	112	300
6	62	53	112	300
10	65	55	115	300
15	66	57	116	300
20	72	60	122	300
30	82	66	132	300
45	98	73	148	300
66	120	85	170	300
110	160	100	210	500
132	180	110	330	500
220	260	160	410	500
380	390	250	540	700

Fig. 31: Tabla con las distancia en centímetros

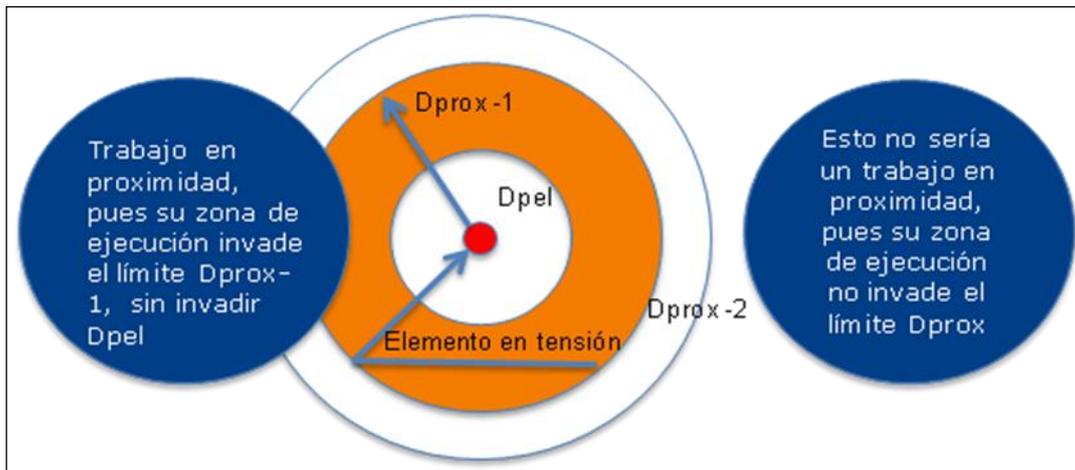


Fig. 32: Ilustración con la diferencia entre trabajo de proximidad y no proximidad.

8.5 Trabajos en BT

Los trabajos que realizaremos de BT dentro de los CT, principalmente serán los siguientes: sustitución de fusibles o cambios de cuadros. Para estos trabajos tendremos en cuenta los siguientes aspectos:

- Se ha de comprobar la estanqueidad de cada uno de los guantes aislantes al inicio de cada utilización.
- Se ha de comprobar antes de utilizar los aparatos de medición que funcionan correctamente.
- Es obligatorio usar botas, casco, guantes aislantes / ignífugos, pantalla facial o gafas inactivas.
- Adicionalmente de las protecciones individuales anteriormente descritas se deberá utilizar:
 - Banqueta aislante
 - Herramientas isoplastificadas y protecciones aislantes.
 - Iluminación portatil autónoma.
 - Pertiga sacafusibles o pinzas/maneta extractora.
 - Aparatos de medición en BT.

Aspectos adicionales en la sustitución de fusibles:

- Comprobar visualmente, cuando hayamos abierto las puertas de las cajas, el correcto estado de los diferentes elementos y conductores interiores (conexiones y aislamiento).
- Cuando manipulemos nunca forzar en ningún momento las conexiones, conductores, etc.
- Si no podemos realizar los trabajos que tenemos que hacer, cumpliendo correctamente con la normativa vigente, a causa de irregularidades ajenas o propias de la instalación, se deberá proceder a realizar el descargo de la misma para poder realizar el trabajo.
- Se ha de disponer de iluminación portátil o fija que sea adecuada a la zona donde vayamos a trabajar.
- No hemos de abandonar, aunque sea por un espacio corto de tiempo, el lugar de trabajo, sin antes dejar todo debidamente protegido.
- Al final las operaciones hemos de tener en cuenta que se ha de dejar la instalación en condiciones adecuadas, estas deben ser realizadas dejando el mismo grado que había de protección tanto de tipo colectivo como individual.

Aspectos adicionales durante el cambio de cuadro:

- Verificar la ausencia de tensión.
- Poner a tierra del transformador el secundario.
- Se ha de ir aislando las terminales a medida que las vayan desconectando.
- Es obligatorio siempre el uso de pantalla o gafas de protección contra proyecciones.
- Los equipos, herramientas y útiles que utilicemos serán los adecuados teniendo en cuenta el trabajo a realizar, se han de mantener en perfecto estado y se deben utilizar para lo que están pensados.

9. Instrucción para trabajos en transformadores PCB

9.1 Objeto

Establecer las pautas de actuación en los trabajos en centros de transformación PCB: tanto la entrada en un espacio confinado, pasos a seguir para dejar sin tensión, y las precauciones especiales del PCB para su manipulación y transporte.

9.2 Alcance

Será de aplicación en los CT que se consideren espacio confinado, donde se tengan que realizar trabajos para suprimir la tensión eléctrica de la instalación, para posteriormente retirar el CT de PCB.

9.3 Definiciones

“Recinto confinado: es cualquier espacio con aberturas limitadas de entrada y salida, y una ventilación natural desfavorable, en el que pueden acumularse contaminantes tóxicos o inflamables, o tener una atmósfera deficiente en oxígeno y que no está concebido para una ocupación continuada por parte del trabajador.” (INSH, 1989)

“Atmósfera peligrosa: una atmósfera se considera peligrosa para las personas, cuando debido a su composición, existe riesgo de muerte, incapacitación, lesión o enfermedad grave, o dificultad para abandonar el recinto por sus propios medios.” (INSH, 1989).

PCB: policlorobifenilos.

9.3.1 Identificación de los CT considerados espacios confinados

- CT subterráneo con entrada del tipo boca de hombre: serán considerados todos espacios confinados de manera estricta, se deberá cumplir las siguientes medidas de seguridad: una ventilación inicial, unas mediciones previas y de manera continuada, y una vigilancia exterior de forma continuada.
- CT subterráneo que no sean de boca de hombre: en este tipo de acceso, al tener una ventilación más favorable y abundante, debido a tener una apertura más amplia, los consideraremos susceptibles de poder convertirse en espacio confinado, por ellos

realizaremos mediciones previas y continuas, pero no será necesario de la vigilancia exterior de forma continua.

9.3 Riesgos

Los riesgos específicos previsible que nos podremos encontrar en estos trabajos serán los siguientes:

- Asfixia.
- Intoxicación.
- Incendio y explosión.
- Caídas a distinto nivel.
- Caídas al mismo nivel.
- Golpes.
- Caídas de objetos.
- Cortes.
- Contactos eléctricos.
- Arco eléctrico.
- Incendios o explosiones originadas por la electricidad.

9.4 Responsabilidades

a) Jefe de obra / Encargado

- Planificar correctamente la realización de los trabajos en espacios confinados, previendo las necesidades humanas, de material, y de equipos de trabajo y de protección necesarios.
- Reconocimiento de las zonas de trabajo y comprobar la existencia o no de otras líneas.
- Seleccionar al personal cualificado para realizar el trabajo.

- Comprobar que la empresa encargada del transporte y manipulación de los transformadores con PCB, cumplen con la normativa vigente.

b) Jefe de equipo

- Rellenar el parte de autorización de entrada al espacio confinado.
- Realizar comprobaciones previas que todos los equipos están en buen estado.
- Velar que todos los operarios a su mando utilicen los equipos previstos.
- Comprobar antes de la manipulación del transformador, si existen derrames de piraleno, y si se disponen de los medios necesarios para evitar derrames incontrolados.

c) De los trabajadores

- Revisar los equipos antes de su utilización.
- Hacer uso de los equipos de seguridad previstos.
- Realizar los trabajos conforme a la información y formación recibidas sobre riesgo eléctricos

d) Operador local

- Realizar las operaciones de corte de tensión.

e) Agente de descargo

- Rellenar documentación de los trabajos realizados.

f) Transportista

- Usar todos los equipos necesarios para la manipulación del PCB, así como cumplir adicionalmente con la normativa ADR.

9.5 Medios necesarios

9.5.1 Medios humanos

Por las características de este tipo de emplazamientos donde se realizarán los trabajos, será obligatorio siempre que se acceda al espacio confinado, que el equipo de este compuesto como mínimos dos personas, uno de ellos en el exterior vigilando, además deberá haber un recurso preventivo. El personal deberá tener los conocimientos y formación relacionado en

espacios confinados. Además tendrán que ser trabajadores cualificados, debiendo existir la figura del agente de descargo y jefe de trabajo.

9.5.2 Equipos necesarios

- Detector de gases, con medidor de explosividad.
- Iluminación de seguridad de 24v.
- Extintores
- Guantes de protección mecánica, los ignífugos, guantes aislantes según la tensión instalada.
- Ropa ignífuga y de protección contra arco eléctrico.
- Equipos de puesta a tierra.
- Elementos de señalización y protección aislante.
- Verificador de ausencia de tensión.
- Pértiga, banquetas o alfombras, sistemas de comunicación, equipo de rescate.
- Para la manipulación del transformador:
 - Buzos desechable, cubre zapatos desechables.
 - Guantes de protección química.
 - Gafas de seguridad que protejan de los vapores.
 - Protección respiratoria.

9.6 Desarrollo

9.6.1 Acceso al espacio confinado

Para la autorización de entrada al recinto, se tendrá que ir rellenando, formulario para acceso a espacios confinados. Se irá cumplimentando a medida que se vayan realizando los pasos que aparecen. Hay que recordar, que sólo será válido para una jornada de trabajo, ya que las condiciones ambientales pueden cambiar de una jornada a otra.

En caso de arquetas, se dispondrá de ganchos de abertura adecuados para la operación. Antes de abrir el recinto, se realizará una primera medición alrededor de la puerta o tapa,

por si existiera concentración de gases peligrosos. Una vez abierto, se controlará de nuevo con el detector para controlar la atmósfera que sale y si es explosiva. Se dejará abierto unos minutos, y en caso necesario colocar barandillas para proteger el espacio. En caso de tener que descender más de dos metros por medio de escaleras verticales, se procederá a utilizar los medios de protección en contra de caídas.

Una vez hayamos empezado a bajar, se tomará una segunda medida, sobre la media altura, desde un punto calificado como no peligroso. Previamente habremos comprobado que el detector está bien calibrado y funciona correctamente. Posteriormente desde el fondo, hemos de recordar que pueden existir diferentes gases, y cada uno con una densidad diferente. Se pueden tomar las medidas, bajando el detector con una cuerda.

Si las mediciones no son correctas, no se accederá al espacio, se tendrá que proceder a renovar el aire con un equipo de ventilación forzada, y posteriormente, volver a tomar medidas, En caso de ser correctas, se procederá a acceder al espacio, llevando el detector a la altura de la cabeza.

Menos si consideramos espacio confinado no estricto, en todo momento habrá un control desde el exterior, con un contacto continuo con los del interior. En caso de producirse una emergencia, no podrá acceder al interior, sin avisar previamente a los equipos de emergencia, y disponer de unos equipos de rescate mínimos adecuados.

VALORES CORRECTOS DE LAS MEDICIONES
Oxígeno: % de O ₂ comprendido entre 20,5 y 23, 5%
Metano: CH ₄ es < de 5%
Monóxido de carbono: CO < 25 ppm
Ácido sulfhídrico: SH ₂ es menor de 10 ppm

Hemos de recordar los siguientes puntos respecto a la ventilación:

- Favorecer lo máximo posible la ventilación natural.
- Aplicar ventilación forzada si la natural no es suficiente, o se realicen trabajos contaminantes.

- El aire introducido deberá abarcar todos los puntos del recinto.
- Un ventilador proporcionará caudales más reducidos proporcionalmente a la longitud de las mangueras acopladas.

En caso de usar ventilación forzada, existen dos formas diferentes de realizarla: por impulsión y por extracción.

9.6.2 Inicio de los trabajos de corte de tensión

Nunca se iniciará un trabajo en una instalación en la que un tercero indique que ya se ha realizado el corte de tensión, si no se verifica por el Jefe de Trabajo su correcta realización. Se debe tener en cuenta y aplicar en todas las operaciones en las que se actúe sobre elementos que tengan tensión o eventualmente se puedan poner en tensión (Operaciones de maniobras, verificación de ausencia de tensión, colocación de puestas a tierra, etc...), que éstas operaciones se deben realizar utilizando dos elementos aislantes (uno de ellos siempre será guantes) adecuados a la tensión nominal de la instalación, por ejemplo: guantes+pértiga, guantes+banqueta, guantes+alfombra, etc...

Para la apertura de cajas, cuadros o cualquier otro envolvente de apartamiento, de la que previamente no conozcamos el estado, se deberá utilizar de forma obligatoria ropa ignífuga y de protección contra el arco eléctrico, doble aislamiento y pantalla de protección contra el arco eléctrico.

Una vez identificados los elementos y la zona de la instalación donde vayamos a realizar los trabajos, se seguirán los procesos que se describen a continuación, en cinco etapas:

1. Desconectar toda fuente de tensión:

La desconexión de todas las posibles fuentes de tensión debe realizarse accionando primero los aparatos preparados para abrir con carga: interruptores o disyuntores, siempre que sea posible se realizará apertura sin carga.

Una vez hecho esto, se abrirán después seccionadores, se retirarán fusibles, se abrirán puentes, se extraerán carretones, etc., en función del tipo de instalación, y con el fin de aumentar las garantías de mantener aislada la instalación en la que va a realizarse el trabajo.

Se debe tener en cuenta como posibles fuentes de tensión cualquier elemento de la instalación por el cual puede llegar una tensión, que en condiciones normales no está previsto que llegue. Por ejemplo, puede haber una tensión de retorno producida por:

- Doble suministro a abonados.
- Grupos electrógenos.
- Producción de energía de los propios abonados.

En el caso de que exista neutro, éste también se debe desconectar. Si es posible, se debe desconectar el último.

2. Enclavamiento o bloqueo, si es posible, de los aparatos de corte, y señalización siempre en los mandos de estos

El enclavamiento o bloqueo de un aparato es el conjunto de operaciones destinadas a impedir la maniobra de dicho aparato y evitar el cierre intempestivo del mismo, por ejemplo debido a:

- El cierre de un seccionador por caída accidental de un objeto sobre las cuchillas.
- La intervención de una persona ajena a la obra.
- El cierre de un interruptor por un contacto eléctrico accidental en el circuito de control del mismo.

Para realizar el bloqueo, se puede:

- Colocar candado, cerradura o cadenas al mando de un seccionador (bloqueo mecánico). Siempre que sea posible la llave del bloqueo sea única.
- Colocar entre las cuchillas del seccionador el elemento físico de bloqueo que imposibilita la unión de sus contactos (bloqueo físico). Esto deberá ser realizado por trabajadores habilitados para TET AT, salvo que no se invadieran las distancias de peligro y pudieran ser colocadas por trabajadores cualificados.
- Desconectar los sistemas de telemando que pudieran existir.
- Eliminar las fuentes de energía requeridas para accionar los aparatos de maniobra.

La Señalización es colocar al aparato las señales con las limitaciones a las que está sometido.

- La señalización de los aparatos de corte se debe de colocar en el mando de accionamiento.
- Cuando un aparato de corte además del mando de accionamiento local, tiene accionamiento a distancia se señalizarán los dos mandos. Si tiene selección de mando local/telemando, siempre que sea posible se pondrá en modo local.
- Cuando un aparato de corte no dispone de mando de accionamiento la señalización se coloca en el propio aparato o en sus proximidades.
- SIEMPRE se deben señalar los aparatos en los que se haya realizado el corte.

3. Verificación de la ausencia de tensión

La verificación de ausencia de tensión es el conjunto de operaciones, mediante aparatos adecuados, que se realizan para comprobar que no hay tensión en todos los conductores o partes activas de una instalación eléctrica. Se debe realizar en, o lo más cerca posible de la zona de trabajo.

Para la verificación de ausencia de tensión SIEMPRE debemos de actuar como si la instalación estuviese con tensión y por ello se han de:

- Usar los equipos de protección adecuados.
- Mantener de las distancias de seguridad.
- Verificar la ausencia de tensión en todos los conductores o partes activas.

Debemos de tener siempre presente que cada detector de tensión tiene un campo de utilización determinado y fuera de esas tensiones no se puede utilizar. Los detectores de tensión se comprobarán siempre inmediatamente antes y después de su utilización.

4. Puesta a tierra y en cortocircuito de todas las posibles fuentes de tensión.

Las puestas a tierra y en cortocircuito se deben de colocar en todos aquellos puntos de la instalación desde los cuales pueda llegar tensión al lugar donde se realizan los trabajos. A estos efectos, se debe tener en cuenta la posible caída de conductores en el cruzamiento con otras líneas o la existencia de fenómenos atmosféricos o de inducción por otras instalaciones eléctricas próximas en servicio.

Las puestas a tierra deben de colocarse protegiendo la parte de la instalación donde se realizarán los trabajos (Zona protegida entre los 2 cortes visibles) y, como hemos dicho ya, en todas las posibles fuentes de tensión. En ningún caso para la colocación de las puestas a tierra, se invadirá la distancia de peligro, si así fuera, esto se considera un trabajo en tensión con tensión.

Las puestas a tierra y en cortocircuito se deben de colocar también en las proximidades inmediatas del lugar donde se realizan los trabajos. (Zona de trabajo).

Las puestas a tierra y en cortocircuito se deben de conectar: primero a la toma de tierra y después a los elementos que queremos poner a tierra, y deben de ser visibles desde la zona de trabajo, si no fuera posible se colocarán lo más cerca de la zona de trabajo.

Se deben colocar también puestas a tierra en las instalaciones de baja tensión, debiendo ser éstas de cinco ramales (tres fases + neutro + tierra).

Se tomarán las precauciones necesarias para que las puestas a tierra permanezcan correctamente conectadas durante todo el tiempo que duren los trabajos.

Las puestas a tierra se mantendrán y verificarán de forma adecuada.

Nos aseguraremos tras realizar el corte que no hay tensión en la salida del elemento de corte, se deberán bloquear siempre los elementos de corte mediante los bloqueadores para ello diseñados (ver ejemplos en el anexo 1) y se cerrará si es posible el cuadro y se señalizará en todos los casos con la señal normalizada de “No maniobrar”. Una vez llegados a la parte de la actuación donde vamos a trabajar si es distinta de donde hemos realizado el corte, comprobaremos nuevamente la ausencia de tensión previamente a iniciar los trabajos.

5. Proteger frente a elementos próximos en tensión y establecer la señalización de seguridad adecuada, delimitando la zona de trabajo.

Estableceremos las protecciones adecuadas de los elementos en tensión de instalaciones próximas, delimitaremos y señalizaremos según corresponda, la zona de peligro, zona de proximidad y zona de trabajo.

Siempre que sea posible, se utilizarán las señales que hay homologadas en el mercado. A veces, por razón de superficie o distancia, en lugar de señalizar y delimitar el lugar donde se van a realizar los trabajos que puede ser muy extensa o distante, se señala y delimita la zona de peligro.

Cuando en las proximidades de la zona de trabajo existen elementos en tensión a distinto nivel, también señalizaremos la zona de trabajo en altura.

En el caso de proteger frente a elementos cercanos en tensión, a la hora de realizarlo se tendrá que realizar dicho trabajo como un trabajo en tensión o un trabajo en proximidad, según se invada o no la distancia de peligro o seguridad, siendo realizado consecuentemente por trabajadores cualificados/ habilitados o autorizados respectivamente para esas tareas.

	QUÉ HACER	SOBRE QUÉ ACTUAR	EQUIPOS DE PROTECCIÓN
1.	Desconectar todas las fuentes de tensión	<ul style="list-style-type: none"> • Interruptores • Seccionadores • Fusibles • Puentes • Carretones • Posibles fuentes de alimentación (retornos) 	<ul style="list-style-type: none"> • Casco y botas de seguridad • Guantes de protección mecánica • Guantes aislantes apropiados a la tensión
2.	Enclavamiento o bloqueo, si es posible, de los aparatos de corte y señalización siempre en el mando de estos	<ul style="list-style-type: none"> • Interruptores • Seccionadores • Fusibles • Sistemas de telemando • Fuentes de energía auxiliares 	<ul style="list-style-type: none"> • Guantes ignífugos • Ropa de trabajo ignífuga y de protección contra el arco eléctrico
3.	Verificación de la ausencia de tensión	<ul style="list-style-type: none"> • En, o lo más cerca posible, de la zona de trabajo • Todos los conductores de la zona de trabajo 	<ul style="list-style-type: none"> • Equipos de Puesta a Tierra adecuados a la instalación (tantos como zonas y conductores a proteger)
4.	Puesta a tierra y en cortocircuito de todas las posibles fuentes de tensión	<ul style="list-style-type: none"> • Todos los puntos de la instalación desde los que pueda llegar tensión al lugar de trabajo, creando las zonas protegidas y de trabajo • Todas las fases de todos los conductores existentes, en caso de líneas duplex o triplex • Instalaciones de B.T. 	<ul style="list-style-type: none"> • Verificador de ausencia de tensión adecuado a la instalación • Elementos de señalización y protección • Elementos de enclavamiento • Otros Equipos de Protección Individual o Colectiva necesarios por el trabajo: pértigas, banquetas o alfombras aislantes, pantalla de protección facial contra arco eléctrico, sistema anticaídas, etc.
5.	Proteger frente a elementos próximos en tensión y establecer la señalización de seguridad adecuada, delimitando la zona de trabajo	<p>Espacios a delimitar:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zona de peligro • Zona de trabajo • Zona protegida 	

9.6.3 Manipulación y movimientos del transformador PCB

Previamente a la manipulación de un equipo que contenga bifenilo ploriclorado (PCB), el jefe de equipo comprobará que sus operarios y el subcontratista disponen de los equipos de protección individual y colectivos necesarios, así como el material inerte de absorción (sepiolita, ecosorb, etc.), de contenedores, herramientas y medios de amarre y sujeción necesarios, para la realización de las maniobras de carga y estiba de modo que se eviten derrames durante la operación.

Si durante la manipulación del equipo se produjera algún derrame, el jefe de equipo advertirá al personal para que lo controle taponando la vía, deteniendo su propagación, etc. Lo recogerá con un material absorbente no combustible y lo colocará en contenedores. Lo pondrá en conocimiento del cliente para que adopte las medidas que estime oportunas.

Siempre que se produzca un accidente o incidente ambiental durante la manipulación, se actuará de acuerdo a lo establecido a continuación:

a) Vertido accidental

- Evitar la dispersión y detener el derrame si se puede hacer sin riesgo.
- Acordonar la zona de derrame y atención al alcantarillado, suelo, etc.
- Evitar el contacto prolongado con el producto y con ropa contaminadas.
- Recoger el derrame del residuo con arena y otros materiales absorbentes y depositar lo recogido en contenedores identificados para su gestión.

b) Incendio

- Enfriar los recipientes con agua pulverizada si estuvieran expuestos al fuego.
- Impedir el aporte de combustible al incendio.
- Apagar con espuma, polvo químico o CO₂.
- No utilizar chorro de agua para la extinción ya que existen peligros de proyecciones.

c) Primeros auxilios

- Si el producto ha sido inhalado, sacar a la persona al aire libre y suministrarle oxígeno si fuera necesario, solicitar ayuda médica.
- Si se ha producido contacto con la piel, retirar las ropas contaminadas y lavar inmediatamente con agua abundante y jabón. Procurar asistencia médica.

Las operaciones de carga y estiba se realizarán de tal forma que se asegure que el equipo a transportar:

- No caiga o se desplace de manera peligrosa.
- No comprometa la estabilidad del vehículo.
- No produzca ruido o polvo u otras molestias.
- No oculte los dispositivos de alumbrado y señalización del vehículo.
- No disminuya la visibilidad del conductor.

Durante la carga y estiba, el jefe de equipo o subcontratista comprobara mediante un formulario, que se está cumpliendo con la normativa referente a la carga de camiones con mercancías peligrosas. Concluida la carga, el jefe de equipo cumplimentará la Carta de porte para el transporte de mercancías peligrosas en camiones, la firmará y se la entregará al chófer.

ADVERTENCIA

CONTIENE
Bifenilos Policlorados
(PCB's) ID N. 2315





Bifenilos Policlorados (PCB's)

Atención

AGENTE TÓXICO: Contaminante NOCIVO SI ES INHALADO INGERIDO: Usar solamente con ventilación adecuada y protección personal.	CAUSA IRRITACIÓN: Evitar contacto con los ojos, la piel y la ropa.
---	---

Instrucciones En Caso De Contacto o Exposición

OJOS: Enjuagar inmediatamente con abundante agua por lo menos durante 15 minutos.

PIEL: Lavar con abundante agua tibia y jabón neutro. (Lavar la ropa antes de un nuevo uso).

INHALACIÓN: Trasladar al afectado a un sitio aireado y si es necesario aplicar oxígeno.

INGESTIÓN: Inducir al vómito a la persona afectada, introduciendo el dedo hasta el fondo de la garganta.

LLAMAR AL MÉDICO INMEDIATAMENTE EN CUALQUIERA DE LOS CASOS

10. Conclusiones

Después de finalizar el trabajo final de máster, habiéndonos documentado con mucha información y variadas normativas sobre PRL, podemos concluir que no hay mucha documentación relacionada directamente con los transformadores de PCB.

A pesar de ser un tema poco conocido, y que no se hable de él, no deja de ser un problema latente que está en el sector de la electricidad. Esta problemática, debido al final de la vida útil de los transformadores irá a más, que aún será más próximo si se cumple lo establecido en el Convenio de Estocolmo, acentuando de manera considerable los riesgos y la probabilidad de accidentes.

En el día a día de las inspecciones de trabajos de mantenimiento o cambio de transformadores, nos encontramos con jefes de equipo, que pese a su dilatada experiencia dentro del sector, por exceso de confianza o por malos hábitos, descuidan los pasos a seguir de las instrucciones de seguridad. Este hecho se acentúa aún, cuando tienen que cumplir dos o más procedimientos de trabajo de forma paralela o consecutiva, dando lugar a acciones o descuidos muy graves que pueden llegar a ser fatales.

La elaboración de este trabajo tiene el objetivo de ser una herramienta útil tanto para los trabajadores del sector de la electricidad como para el personal que los tiene que inspeccionar, ya que podemos encontrar la información necesaria, resumida y de forma ordenada (paso a paso) para trabajar de una manera segura y eficaz.

11. Bibliografía

- Ley 31/1995 de prevención de riesgos laboral «BOE» núm. 269, de 10 de noviembre de 1995.
- Real Decreto Legislativo 1/1995, de 24 de marzo, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley del Estatuto de los Trabajadores, «BOE» núm. 75, de 29 de marzo de 1995.
- Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual, «BOE» núm. 140, de 12 de junio de 1997.
- Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo, «BOE» núm. 188, de 7 de agosto de 1997,
- Directiva 89/391/CEE del Consejo de 12 de junio de 1989 relativa a la aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y de la salud de los trabajadores en el trabajo.
- RD 614/2001. sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico. BOE nº148 21-06-2001
- Real Decreto 842/2002, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.
- REAL DECRETO 228/2006: de 24 de febrero, por el que se modifica el Real Decreto 1378/1999, de 27 de agosto, por el que se establecen medidas para la eliminación y gestión de los policlorobifenilos, policloroterfenilos y aparatos que los contengan
- Real Decreto 223/2008, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09.
- Real Decreto 337/2014, por el que se aprueba el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23.
- Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes, 2008.

- NTP 222: Alta tensión: seguridad en trabajos y maniobras en centros de transformación, INSH, 1989.
- NTP 223: Trabajos en recintos confinados, INSH, 1989.
- NTP 400: Corriente eléctrica, efectos al atravesar el organismo humano, INSH, 1999.
- NTP 560: Sistema de gestión preventiva: procedimiento de elaboración de las instrucciones de trabajo, INSHT, año 2000.
- Norma UNE-EN 397:2012, Cascos de protección para la industria.
- Norma UNE-EN 20345:2005, Equipo de protección individual. Calzado de seguridad.
- Norma UNE 204006:2017 Uso de guantes aislantes para maniobras en instalaciones eléctricas de alta tensión.
- Norma UNE-EN 388:2016, Guantes de protección contra riesgos mecánicos.
- Norma UNE-EN 50110-1:2014 Explotación de instalaciones eléctricas. Parte 1: Requisitos generales.
- Norma UNE-EN 50110-2:2011 Explotación de instalaciones eléctricas. Parte 2: Anexos nacionales.
- Norma UNE-EN 50321-1:2018 Trabajos en tensión. Calzado de protección eléctrica. Parte 1: Calzado y cubrebotas aislantes.
- Norma UNE-EN 50508:2011 Pértigas aislantes multifunción para maniobras eléctricas en instalaciones de alta tensión.
- Norma UNE-EN 60743:2014 Trabajos en tensión. Terminología para las herramientas, dispositivos y equipos.
- Norma UNE-EN 60832-1:2011, Trabajos en tensión. Pértigas aislantes y dispositivos adaptables. Parte 1: Pértigas aislantes
- Norma UNE-EN 60832-2:2011 Trabajos en tensión. Pértigas aislantes y dispositivos adaptables. Parte 2: Dispositivos adaptables
- Norma UNE-EN 61236:2012 Trabajos en tensión. Asientos, abrazaderas de pértigas y sus accesorios.
- Norma UNE-EN 61243 Trabajos en tensión. Detectores de tensión.

- Norma UNE-EN 61477:2009 Trabajos en tensión. Requisitos mínimos para la utilización de herramientas, dispositivos y equipos.
- Norma UNE-EN 61482-1-1:2010 Trabajos en tensión. Ropa de protección contra los peligros térmicos de un arco eléctrico. Parte 1-1: Métodos de ensayo. Método 1: Determinación de la característica del arco (APTV o EBT50) de materiales resistentes a la llama para ropa.
- Red eléctrica española. www.ree.es/es
- Endesa. <https://www.endesaclientes.com/como-se-genera-electricidad>

