



# Reporte Final de Estadía

**Abraham Bravo Colohua**

**Mantenimiento Preventivo y  
Correctivo a equipo de  
Subestación Eléctrica.**



Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz

Programa Educativo  
Mantenimiento Industrial

Reporte para obtener título de  
Ingeniero en Mantenimiento Industrial

Proyecto de estadía realizado en la empresa  
Iss Facility Services S.A de C.V

Nombre del proyecto  
Mantenimiento Preventivo y Correctivo a equipo de  
Subestación Eléctrica

Presenta  
Abraham Bravo Colohua

Cuitláhuac, Ver., a 19 de Abril de 2018



# Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz

Programa Educativo  
Mantenimiento Industrial

Nombre del Asesor Industrial  
Ing. Carmen López Rodríguez

Nombre del Asesor Académico  
Ing. José Raúl Reyes Domínguez

Jefe de Carrera  
Ing. Gonzalo Malagón González

Nombre del Alumno  
Abraham Bravo Colohua

## Contenido

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>1</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>2</b>
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>3</b>
1.1 <i>Estado del Arte</i> .....	9
1.2 <i>Planteamiento del Problema</i> .....	10
1.3 <i>Objetivos</i> .....	12
1.4 <i>Definición de variables</i> .....	13
1.5 <i>Hipótesis</i> .....	16
1.6 <i>Justificación del Proyecto</i> .....	16
1.7 <i>Limitaciones y Alcances</i> .....	17
1.8 <i>La Empresa Iss Facility Services S.A de C.V.</i> .....	17
<b>CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA</b> .....	<b>20</b>
<b>CAPÍTULO 3. DESARROLLO DEL PROYECTO</b> .....	<b>25</b>
4.1 <i>Resultados</i> .....	88
4.2 <i>Trabajos Futuros</i> .....	97
4.3 <i>Recomendaciones</i> .....	97
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>101</b>

## Tabla de ilustraciones

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco y dedico este trabajo, así como también este título de Ingeniero en Mantenimiento Industrial a las personas más importantes de mi vida como son: Dios, ya que a través de él todos los sueños son posibles. A mi Madre Rosa Colohua y padre Guadalupe Bravo quien me han brindado su apoyo incondicionalmente toda su vida. A mis hermanos Aurora, Horacio y Rosalba que me han inyectado esas ganas para continuar con mis estudios y quien siempre tienen palabras para animarme cuando más lo necesito. A la Empresa Iss Facility Services S.A de C.V, por permitirme realizar este trabajo y también quiero agradecer a todo el personal que labora en esta empresa especialmente al personal de Mantenimiento por todo su apoyo y aprecio que tuvieron para mi persona.

Al Profesor el Ing. José Raúl Reyes Domínguez por su gran ayuda en todo este tiempo y durante todas las etapas de mi Proyecto.

A la Ing. Carmen López Rodríguez por brindarme la oportunidad de realizar mis estadías profesionales dentro de la empresa y por su apoyo durante todo este tiempo en que se realizó este trabajo, Gracias. A mis amigos y compañeros con los que compartí todos estos años y que juntos pudimos terminar satisfactoriamente nuestras carreras.

## RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo diseñar el plan de Mantenimiento preventivo y correctivo a equipos de Subestación Eléctricas de la empresa Iss Facility Services S.A. de C.V para el cual fue elaborado el manual de mantenimiento con el fin de lograr aumentar la efectividad para esta actividad. Para ello se tomó como base primordial la técnica de Mantenimiento como herramienta en base de la metodología del Mejoramiento de la Confiabilidad Operacional al sistema determinado. Se estructuraron los nuevos planes de Mantenimiento de la Subestación.

Como resultado de la investigación se obtuvo que los equipos de la Subestación, específicamente los transformadores se encuentran en buenas condiciones operativas, así se determinó el plan de Mantenimiento a aplicar a estos equipos, el cual fue desarrollado con la aplicación de la técnica, se conformó un equipo multidisciplinario de trabajo, el cual concluyó que el sistema en estudio es de alto riesgo y baja confiabilidad, por lo cual le atribuye tareas especiales. Finalmente se conformaron los nuevos planes de Mantenimiento para dicha Subestación.

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Tomando en cuenta que las Subestaciones Eléctricas son un componente importante de los sistemas de potencia, además de ser los de mayor costo económico, y que la continuidad del servicio depende en gran parte de ellas; es necesario aplicar a estos sistemas (Subestaciones) una adecuada Gestión de Mantenimiento.

Esta gestión deberá observar al Mantenimiento Preventivo, englobando al Mantenimiento Predictivo, para revisar con cierta frecuencia el estado de los equipos, al Mantenimiento Correctivo para reparaciones o reemplazos preventivos, el cual deberá tener cierta planificación para intervenciones de emergencia, y al mantenimiento proactivo, para el análisis y revisión periódica de la gestión, y para la evolución del Mantenimiento y sus procedimientos. Todo esto interrelacionado entre sí, conformando así al Mantenimiento Integrado. Mantenimiento preventivo a subestaciones El Mantenimiento preventivo a Subestaciones se divide en dos componentes:

### **Inspección Visual.**

Este tipo de Mantenimiento se efectúa en forma mensual, sin desenergizar la línea, no utiliza herramientas ni instrumentos en la mayor parte de los casos, y como su nombre lo indica consiste sólo en inspecciones visuales. Tiene la finalidad de revisar visualmente el estado exterior de los equipos.

## **Mantenimiento Preventivo Programado o Sistemático.**

Consiste en una serie de pruebas a realizar en los equipos para verificar su estado. El trabajo tiene carácter preventivo, pero también engloba al Mantenimiento Predictivo, y en algunos casos al Correctivo. El Mantenimiento Predictivo interviene cuando al efectuar las pruebas al equipo, se llega a conocer su estado actual y es posible entonces, conocer el estado futuro o anticiparse a las posibles fallas.

El Mantenimiento Preventivo Sistemático se realiza generalmente con línea desenergizada, pero existen algunas técnicas que se pueden aplicar sin necesidad de desenergizar la línea. En la mayoría de las industrias el Mantenimiento programado se efectúa en días en los que la producción puede ser interrumpida, pero en el caso del servicio Eléctrico, ya que su continuidad no puede ser interrumpida, estos trabajos se programan en días en los que el consumo de Energía Eléctrica es menor que los demás, lo que ocurre generalmente los fines de semana. También existen disposiciones de subestaciones que permiten que algunos equipos puedan ser desenergizados para trabajos de Mantenimiento, sin que esto implique la interrupción del servicio eléctrico, pero de todos modos requerirá de una coordinación con los responsables de operación. Las técnicas de Mantenimiento Predictivo que se aplican en subestaciones, en base a recomendaciones de normas internacionales (IEC-76, IEC-72), entre ellas la inspección termo gráfica e Inspección termo gráfica infrarroja.



El estudio de incidencias y análisis de fallas es una actividad relacionada con la subestación en general. La programación de esta actividad y su realización dependerá del criterio de la empresa, en función de los problemas que se deseen analizar. El mantenimiento a subestaciones se convierte en una función importante dentro de las empresas del sector eléctrico, debido a que de un correcto mantenimiento, y de la reducción de fallas mediante la prevención, dependerá la continuidad del servicio eléctrico.

Es sabido que no se podrán reducir a cero las fallas de un sistema eléctrico, pero lo importante será evitar la ocurrencia de aquellas fallas que pudieron haberse prevenido, en especial las que pudieron causar serias averías o la destrucción de los equipos de la subestación, por ser estos de elevado costo y además de que su reemplazo o reparación implica la movilización de recursos humanos y materiales, con su consecuente costo económico, sin mencionar el tiempo de parada del servicio y las multas que esto podría implicar.

Durante la ejecución del servicio, se deben de cumplir las condiciones de seguridad establecidas en la norma NOM-029-STPS, mantenimiento de Instalaciones Eléctricas en los Centros de Trabajo. Mantenimiento a transformador Con el fin de verificar la condición general del transformador y programar las medidas preventivas o correctivas, se realizar el mantenimiento preventivo, así como pruebas eléctricas y dieléctricas.

El servicio consiste en la inspección física al transformador, así como pruebas de resistencia de aislamiento, relación de transformación, resistencia óhmica, factor de potencia y resistencia a tierra. Lo anterior se realiza con equipos de medición y prueba diseñados para tal fin, siguiendo los lineamientos que establece la norma NMX-J-169 (inherentes a métodos de prueba para transformadores de distribución y potencia). Análisis del aceite del transformador Con el fin de verificar la condición del aceite y programar las medidas preventivas (regeneración) o correctivas (cambio), se realiza el análisis de las características físicas, eléctricas y químicas del aceite. El servicio consiste en la obtención de una muestra de aceite aislante del transformador, y envío para su análisis correspondiente en un laboratorio acreditado para tal fin.

Todas las empresas y compañías buscan constantemente vías para mejorar su rendimiento, con el objeto de aumentar su rentabilidad. Para ello, ponen especial interés en los planes de mantenimiento de sus instalaciones y equipos más importantes, buscando diferentes técnicas que le ayuden a optimizar los costos que involucran el mantenimiento de los mismos. La industria Eléctrica no puede ser la excepción: es por ello que se ha propuesto adecuar sus instalaciones y actividades de mantenimiento a un nivel considerado de Clase Mundial, que es básicamente un nivel de referencia asociado a empresas que han logrado la excelencia en su gestión corporativa y el reconocimiento internacional en la calidad y rentabilidad de sus servicios, así como elevados niveles de motivación y satisfacción de su personal.

El propósito de este estudio es el de diseñar un Plan de Mantenimiento para equipos como la Subestación Eléctrica de la empresa Iss Facility Services S.A de C.V. Mediante la aplicación de nuevas técnicas de mantenimiento, que

garanticen, la continuidad operacional y la confiabilidad de sus activos. En busca de este fin, la investigación pretende conseguir la técnica que se adapte mejor a los requerimientos y necesidades de la empresa, para poder preservar los activos del sistema específicamente transformadores e interruptores, así como la reducción de los costos de mantenimiento.

En el primer Capítulo se muestra el planteamiento y formulación del problema, se establecen los objetivos, la justificación e importancia de la investigación, así como la delimitación y alcance de la investigación.

Es por ello que el Manual de Procedimiento de Mantenimiento; contiene la descripción de actividades que deben seguirse en la realización de las funciones de una unidad administrativa, dos o más de ellas. El manual incluye además los puestos o unidades administrativas que intervienen precisando su responsabilidad y participación. Contiene información y ejemplos de formularios, autorizaciones o documentos necesarios, maquinas o equipo de oficina a utilizar y cualquier otro dato que pueda auxiliar al correcto desarrollo de las actividades dentro de la empresa, así como también revisar y evaluar las prácticas de mantenimiento. En él se encuentra registrada y transmitida sin distorsión la información básica referente al funcionamiento de correcto desarrollo de las actividades dentro de la empresa, así como también revisar y evaluar las prácticas de mantenimiento. En él se encuentra registrada y transmitida sin distorsión la información básica referente al funcionamiento de todas las unidades administrativas, facilita las labores de auditoría, la evaluación y control interno y su vigilancia, la conciencia en los empleados y en sus jefes de que el trabajo se está realizando o no adecuadamente.

Finalmente, se puede apreciar en el desarrollo de la actividad de mantenimiento, que los encargados de la misma, no sólo necesitan conocimientos y experiencia relativa a su área de trabajo, es también necesario que cuente con conocimientos de Reingeniería, Administración, Manejo de Costos, Toma de Decisiones, Recursos Humanos y Seguridad Industrial, para mencionar algunos. Una Gestión de Mantenimiento bien llevada puede significar para la empresa una buena inversión con resultados satisfactorios. Actividades a realizar durante un mantenimiento preventivo programado a subestaciones mantenimiento a gabinete de subestación eléctrica.

## 1.1 Estado del Arte

Una subestación eléctrica, es un conjunto de elementos o dispositivos que permiten cambiar las características de Energía Eléctrica (tensión, corriente, frecuencia, etc.), tipo corriente alterna a corriente directa, o bien, conservarla dentro de ciertas características.

<http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/9618/73.pdf?sequence=1>

Según Santiago García Garrido Director Técnico de RENOVETEC

¿Cuál es el Mantenimiento que debo aplicar a cada uno de los equipos que componen una planta concreta?

Para dar respuesta a esta pregunta, es conveniente definir el concepto de Modelo de Mantenimiento. Un Modelo de Mantenimiento es una mezcla de los anteriores tipos de mantenimiento en unas proporciones determinadas, y que responde adecuadamente a las necesidades de un equipo concreto.

<http://www.mantenimientopetroquimica.com/tiposdemantenimiento.html>

## 1.2 Planteamiento del Problema.

Actualmente, la Energía Eléctrica; es uno de los recursos más importantes; ésta ha venido siendo indispensable para el desarrollo del ser humano y su entorno, dado que una vez producida y puesta a disposición se transforma en diversas formas pudiendo brindar: calor, luz, movimiento y todos los aspectos esenciales para el desarrollo de la misma.

Para su consumo la Energía previamente debe pasar por varias etapas, las que están conformadas por: la generación que inicia generalmente en plantas Eléctricas, las que se conforman de distintos equipos que transforman los distintos recursos naturales en energía eléctrica.

Toda instalación eléctrica, está conformada por elementos que pueden fallar o deteriorarse por causas naturales, de envejecimiento y/o debido al uso continuo del mismo. Es posible que las causas de deterioro o las fallas sean inherentes a los equipos o bien por consecuencias de factores externos.

Para obtener la máxima confiabilidad de una instalación eléctrica, su funcionamiento debe ser óptimo. Para lograr esto, es necesario realizar un proceso de mantenimiento que simplemente viene dado por actividades de inspección de los equipos eléctricos, reparaciones o reemplazos, que deban ser necesarios, todo con finalidad de obtener el funcionamiento óptimo de los equipos. Debido a la relevancia de los transformadores e interruptores que representan para la Calidad del servicio y los altos costos para la empresa, se

debe velar por su buen funcionamiento, para mantenerlos operando eficientemente.

De tal manera que los daños ocasionados a los Equipos por un mal mantenimiento de las actividades han ocasionado un mal funcionamiento como tal, lo cual genera paros y pérdidas económicas para cualquier empresa. De tal manera que es indispensable diseñar un manual de procedimientos para el mantenimiento de la Subestación Eléctrica.

## 1.3 Objetivos

### **Objetivo del proyecto.**

Disminuir los daños ocasionados por el mal mantenimiento que se le brinda a un equipo, para lo cual se realizará un manual de procedimientos que ayuden a reducir el tiempo de reparación en el equipo, y/o en sus componentes.

### **Objetivo general**

Diseñar el plan de mantenimiento para el equipo de Subestación Eléctrica de la empresa Iss Facility Services S.A de C.V.

### **Objetivos específicos**

- 1.- Determinar los aspectos técnicos, teóricos y operativos para el diseño del plan de Mantenimiento para Subestación Eléctrica.
- 2.- Describir el estado actual del Plan de Mantenimiento en los equipos de las subestaciones eléctricas de la empresa Iss Facility Services S.A de C.V
- 3.- Elaborar el diseño del Plan de Mantenimiento de equipos de potencias.



## 1.4 Definición de variables

**Calidad de la Energía.**-Se puede considerar como la combinación de la disponibilidad con la calidad de la tensión y la corriente suministradas.

**Diferencia de Potencial (Tensión o Voltaje).**- El voltaje, tensión o diferencia de potencial es la presión que ejerce una fuente de suministro de Energía Eléctrica o Fuerza Electromotriz (FEM) sobre las cargas eléctricas o electrones en un circuito eléctrico cerrado, para que se establezca el flujo de una corriente eléctrica.

A mayor diferencia de potencial o presión que ejerza una fuente de FEM sobre las cargas eléctricas o electrones contenidos en un conductor, mayor será el voltaje o tensión existente en el circuito al que corresponda ese conductor.

**Corriente.**- Es la circulación de cargas o electrones a través de un Circuito Eléctrico cerrado, que se mueven siempre del polo negativo al polo positivo de la fuente de suministro de Fuerza Electromotriz (FEM).

**Potencia.**- Velocidad a la que se consume la Energía. Si la Energía fuese un líquido, la potencia sería los litros por segundo que vierte el depósito que lo contiene. La potencia se mide en joule por segundo (J/seg) y se representa con la letra "P".

**Factor de Potencia.-** El Factor de Potencia de un circuito de corriente alterna, se define, como la relación entre la potencia activa,  $P$ , y la potencia aparente, que da lugar a una medida de la capacidad de una carga de absorber potencia activa.

**Energía.-** Se considera como la forma de Energía que resulta de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos. Cuando estos dos puntos se los pone en contacto mediante un conductor Eléctrico obtenemos una Corriente Eléctrica.

**Tensiones Armónicas.-** Son tensiones o corrientes sinusoidales que poseen frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia a la cual el sistema de alimentación está diseñado para operar.

**Corrientes Armónicas.-** Las armónicas son corrientes y/o voltajes presentes en un sistema eléctrico, con una frecuencia múltiplo de la frecuencia fundamental. Así, en sistemas con frecuencia de 60 Hz y cargas monofásicas, las armónicas características son la tercera (180 Hz), quinta (300 Hz), y séptima. (420 Hz)

**Eventos de Tensión.-** Se considera evento de tensión en el sistema cuando una Subestación permanece por fuera de los rangos establecidos por un periodo mayor a un minuto y cumple los criterios establecidos en el Acuerdo CNO 935.

**Desbalances de Tensión.-** Fenómeno que ocurre en sistemas trifásicos donde las tensiones y/o ángulos entre fases consecutivas no son iguales. El balance perfecto de tensiones es técnicamente inalcanzable.

**Tensiones Nominales.-** Tensión primario: 13,2 kV Tensión secundario: 214 V – 123 V

**Potencia Activa.-** Es la que se aprovecha como potencia útil. También se llama potencia media, real o verdadera y es debida a los dispositivos resistivos. Su unidad de medida en el vatio (W)

**Potencia Reactiva.-** Q, que es la potencia que necesitan las bobinas y los condensadores para generar campos magnéticos o eléctricos, pero que no se transforma en trabajo efectivo, sino que fluctúa por la red entre el generador y los receptores.

Su unidad de medida es el voltamperio reactivo (VAr).

**Potencia Aparente.-** S, es la potencia total consumida por la carga y es el producto de los valores eficaces de tensión e intensidad. Se obtiene como la suma vectorial de las potencias activa y reactiva y representa la ocupación total de las instalaciones debidas a la conexión del receptor. Su unidad de medida es el voltamperio (VA)

## 1.5 Hipótesis

En la empresa Iss Facility Services S.A de C.V. Se pretende disminuir el tiempo muerto para la realización del mantenimiento a la Subestación Eléctrica con el manual a realizar para llevar a cabo un correcto Mantenimiento preventivo a Subestación y tableros, garantizando la Seguridad del personal.

## 1.6 Justificación del Proyecto

Actualmente las Empresas mantienen un plan de Manteniendo que está basado en la frecuencia, esto quiere decir que los equipos son intervenidos de una manera cíclica en un tiempo determinado, por lo cual el diseñar un manual de procedimientos para el Mantenimiento óptimo a una Subestación Eléctrica tiene considerables beneficios: disminuye los costos de reparación y los costos de paros imprevisto, la disponibilidad de los equipos aumenta, la inversión en hora hombre es menor, los riegos de accidente bajan, las interrupciones en el servicio son menores, la mejora en la confiabilidad del servicio eléctrico. Por ello las empresas Eléctricas están en la necesidad de establecer planes de Mantenimientos adecuados y efectivos, para el desarrollo de dichas actividades en las empresas.

La idea general de Mantenimiento está cambiando. Los cambios son debido a un aumento de la mecanización, mayor complejidad de los equipos, nuevas técnicas de Mantenimiento y un nuevo enfoque de la organización y de la responsabilidad del mismo.

## 1.7 Limitaciones y Alcances

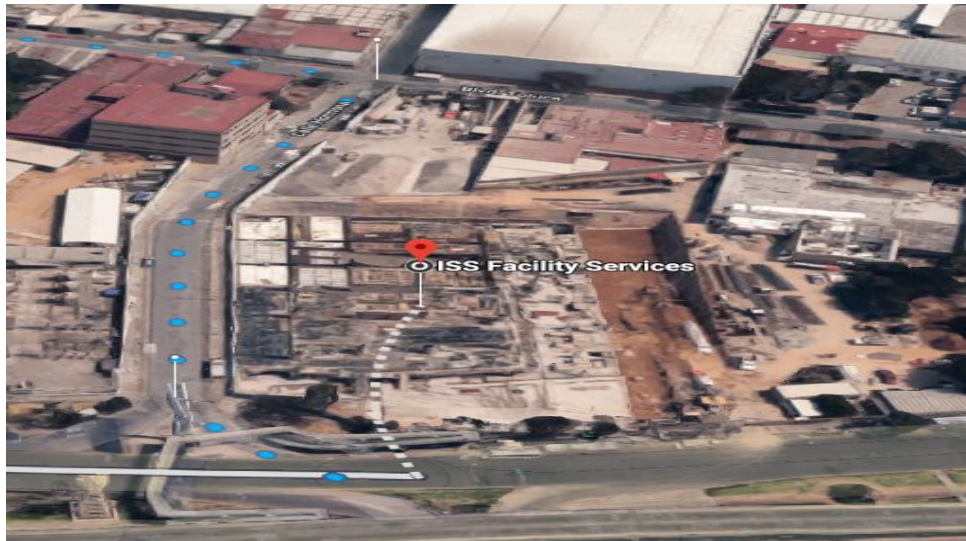
Este proyecto está diseñado para ser desarrollado a largo plazo ya que es un equipo que requiere de un mantenimiento constante siempre y cuando se cuente con las normas de seguridad para llevar a cabo dicha aplicación.

Durante la estancia que estaré realizando mis prácticas en la empresa Iss Facility Services S.A de C.V. Se llevara a cabo el proyecto de Mantenimiento a Subestación eléctrica de dicha empresa. Donde se realizará el mantenimiento al equipo, se trabajara en la recopilación de la información técnica del equipo. Dicho procedimiento es aplicable ya que tiene como finalidad disminuir daños ocasionados por un mal mantenimiento al equipo.

## 1.8 La Empresa Iss Facility Services S.A de C.V

Ubicación.

Dirección: Av. Primero de Mayo 120-401, San Andrés Atoto, 53500 Naucalpan de Juárez, México.



**FIGURA 1.8.1** Imagen aérea de la ubicación de la empresa.

## **Giro de la Empresa.**

Empresa de servicios, outsourcing de acuerdo a las necesidades de las Empresas, donde se prestan los servicios ofertados.

## **Visión**

Ser la mejor empresa de prestaciones de servicios.

## **Creando:**

El mejor servicio para nuestros clientes.

El mejor crecimiento y desarrollo para nuestro personal.

El mejor trato para nuestros proveedores.

El mejor crecimiento y rentabilidad para nuestros accionistas.

Siendo una Empresa Socialmente Responsable.

## **Política**

Nuestro compromiso es satisfacer los requerimientos y necesidades de nuestros clientes, a través del Sistema de servicios outsourcing, el cual está integrado por el control de procesos y los proyectos de ahorro, todo esto basado en nuestros valores.

## **CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA**

En el presente capítulo se presenta el marco teórico, el cual se basa en la teoría que sustenta la investigación y a su vez permite conocer y definir los elementos básicos de la misma.

Los protocolos de Mantenimiento Preventivo para equipos de protección como las Subestaciones Eléctricas, tienen como objetivo describir en forma secuencial las actividades de Mantenimiento propias de cada equipo.

Este proyecto está dedicado a la elaboración de un manual de procedimientos para el Mantenimiento de Equipos de Potencia y Protecciones de Subestaciones Eléctricas. Proporciona los pasos para la ejecución de las inspecciones y pruebas de mantenimiento preventivo en los equipos y protecciones que se encuentran ubicados dentro de las subestaciones de alta tensión. Los resultados de este trabajo permiten realizar las labores de mantenimiento en la Subestación Eléctrica.

El manual suministra de manera detallada toda la información requerida para la ejecución de las inspecciones, pruebas y labores del Mantenimiento, como lo son: objetivos, alcance, definiciones y abreviaturas, herramientas, equipos y materiales necesarios, control de registros generados, revisiones del documento, responsabilidades relacionadas, ejecutor del trabajo, descripción de las actividades y anexos.

El control sobre los registros generados por la aplicación del Mantenimiento, permiten determinar la frecuencia de los Mantenimientos, si son realizados correctamente y el comportamiento de los equipos en el tiempo, teniendo un control más seguro de su vida útil.



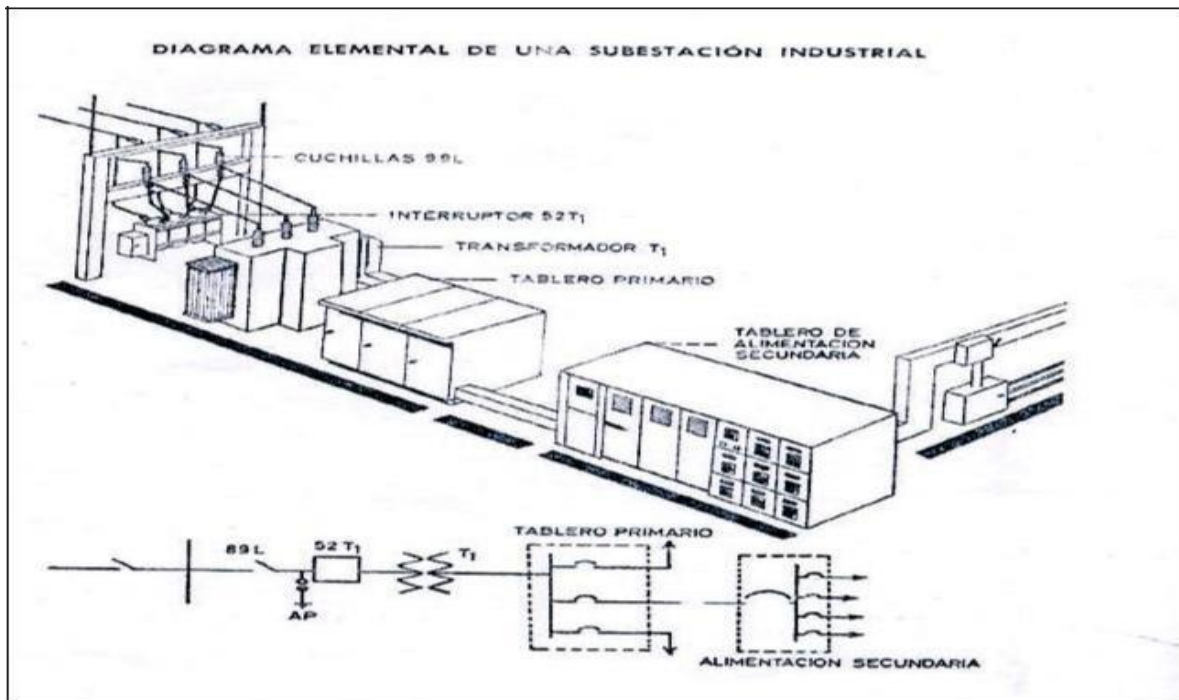
## Definición de Subestación Eléctrica.

Una Subestación es un conjunto de equipos, dispositivos y circuitos, que tienen la función de modificar los parámetros de la Potencia Eléctrica, permitiendo el control del flujo de Energía, brindando seguridad para el Sistema Eléctrico, para los mismos equipos y para el personal de operación y Mantenimiento.

En toda Instalación Industrial o comercial es indispensable el uso de la Energía, la continuidad de servicio y calidad de la Energía consumida por los diferentes equipos, así como la requerida para la iluminación, es por esto que las Subestaciones Eléctricas son necesarias para lograr una mayor productividad. Las Subestaciones son la fuente de suministro de Energía para la distribución a nivel local, para dar servicio a varios usuarios o para un cliente específico.

En el sector industrial, la función principal de la Subestación es reducir la tensión del nivel de transmisión o de Subtransmisión al nivel de distribución necesaria para los equipos que operan dentro de la empresa. Las Subestaciones Reductoras, son las que reciben la tensión de la transmisión, que pueden ser a voltajes de alimentación muy altos para las cargas, por ejemplo alimentar 13,2KV resulta ser un voltaje demasiado alto para motores eléctricos de 20 hp que se alimentan normalmente a 220V, por este motivo es necesario convertir o transformar los voltajes de alimentación a niveles adecuados utilizables directamente por las cargas dentro de sus rangos de alimentación.

Para ésta transformación de la energía eléctrica de un nivel de voltaje a otro más adecuado, se usa un conjunto de equipos que no solo transforman, también controlan y regulan la Energía Eléctrica, son las que reciben el nombre de Subestación Eléctrica. Las llamadas Subestaciones abiertas son de hecho las Subestaciones principales que utilizan las industrias en donde se maneja cargas considerables.



**FIGURA 2.1** Diagrama Elemental de una subestación industrial.

**FUENTE:** Libro de Instalaciones Industriales Enríquez Harper

## Clasificación de las Subestaciones Eléctricas.

Las Subestaciones Eléctricas de uso industrial se pueden clasificar por el tipo de instalación como:

Subestaciones tipo intemperie.

Subestaciones de tipo interior.

Subestaciones tipo blindado.

**Subestaciones tipo Intemperie.-** Estas Subestaciones se construyen en terrenos expuestos a la intemperie y requieren de un diseño, aparatos y máquinas capaces de soportar el funcionamiento bajo condiciones atmosféricas adversas (lluvias, viento, nieve e inclemencias atmosféricas diversas).

**Subestaciones tipo Interior.-** En este tipo de Subestaciones los aparatos y equipos están diseñados para operar en interiores, esta solución se usaba hace algunos años en la práctica europea, actualmente son poco los tipos de subestaciones tipo interior y generalmente son usados en las industrias incluyendo la variante de la subestación del tipo blindado.

**Subestaciones tipo Blindado.-** En estas Subestaciones los aparatos y los equipos se encuentran muy protegidos y el espacio necesario es muy reducido en comparación a las construcciones de subestaciones convencionales, por lo general se usan en el interior de fábricas, hospitales, auditorios, edificios y centros comerciales que requieran de poco espacio para su instalación, por lo general se utilizan en tensiones de distribución y utilización.

**Elementos Constitutivos de la Subestación Eléctrica.-** Algunos de los elementos que se pudieron observar al recorrer las instalaciones de la subestación se pueden mencionar a continuación y son los siguientes:

## **Elementos Primarios.**

Transformador.

Restaurador.

Interruptores de Potencia.

Cuchillas.

Acometida de media tensión y cableado.

Aisladores.

Velas fusibles.

Tableros.

## **Elementos Secundarios.**

Cables de Potencia.

Cables de Control.

Alumbrado.

Estructura.

Equipo contra incendio.

Sistema de tierra.

## CAPÍTULO 3. DESARROLLO DEL PROYECTO

### **Metodología aplicada para el Análisis de Riesgos en Subestación.**

Esta parte tiene por objeto dar parámetros en la elaboración del panorama de factores de riesgo en la Subestación que se está analizando, incluyendo la identificación y valoración cualitativa de los mismos. Para el desarrollo de la identificación y valoración de Riesgos en una subestación debemos tener claras algunas definiciones.

**Factor de Riesgo.-** Es todo elemento cuya presencia o modificación, aumenta la probabilidad de producir una daño a quien está expuesto a él.

**Factores de Riesgos Eléctricos.-** Se refiere a los Sistemas Eléctricos de las máquinas, los equipos que al entrar en contacto con las personas o las instalaciones y materiales pueden provocar lesiones a las personas y daños a la propiedad.

**Enfermedad Profesional.-** Todo estado patológico permanente o temporal que sobrevenga como consecuencia obligada y directa de la clase de trabajo que desempeña el trabajador, o del medio en que se ha visto obligado a trabajar, y que haya sido determinada como enfermedad profesional.

**Factores de Riesgo Químico.-** Toda sustancia orgánica e inorgánica, natural o sintética que durante la fabricación, manejo, transporte, almacenamiento o uso, puede incorporarse al aire ambiente en forma de polvos, humos, gases o vapores, con efectos irritantes, corrosivos, asfixiantes o tóxicos y en cantidades que tengan probabilidades de lesionar la salud de las personas que entran en contacto con ellas.

**Factores de Riesgos Locativos.-** Condiciones de las instalaciones o áreas de trabajo que bajo circunstancias no adecuadas pueden ocasionar accidentes de trabajo o pérdidas para la empresa. Factor de riesgo por Higiene se puede definir como el riesgo que se presenta al realizar un trabajo en condiciones no adecuadas (lugar, equipos de protección personal), que puede influenciar sobre la salud de la persona al estar expuesto a un proceso industrial, por cierto tiempo, donde interviene la presencia de sustancias químicas tóxicas (Polvo, pequeñas partículas de material plástico molido)

**Identificación de Factores de Riesgo en Subestación.-** En la Subestación que se está analizando se ha encontrado que al realizar trabajos de Mantenimiento, mediciones, cambios, instalación de nuevos equipos o dispositivos de protección, corren riesgo no solo el personal técnico, también los equipos, y la posibilidad de quedar sin energía toda la planta. Luego de realizar la debida inspección en las instalaciones de la subestación se pudo hacer una clasificación de factores de riesgo presentes dentro de la misma que son los siguientes:

### **1) Factores de Riesgo Eléctricos.**

Las principales fuentes generadoras de este Factor de Riesgo que se lograron identificar en una Subestación son:

Conexiones Eléctricas y empates con grilletes en los conductores para la instalación de otra maquinaria con un breaker común. Tableros eléctricos con las puertas abiertas; Transformadores con falta de mantenimiento. Acumulación de polvo en la Subestación y en los conductores lo cual provoca el excesivo calentamiento de los mismos ya que el polvo actúa como aislante del calor y por ende no lo disipa. Espaciamiento de conductores por lo que se encuentran demasiado agrupados ya que no hay suficiente espacio en las mismas y se montan unos sobre otros. Hay que hacer énfasis en que el polvo ocasiona muchos daños a los equipos y un mal manejo del mantenimiento ocasiona terribles daños y consecuencias a veces fatales. El exceso de polvo en las instalaciones de la subestación puede ionizarse y provocar una nube y esta a su vez una explosión por eso es debido tener las instalaciones muy limpias y libres completamente de polvo o cualquier cosa volátil que se encuentre cerca de ella. Considerando este factor en la Subestación Eléctrica se encontró que el personal destinado a realizar trabajos de mantenimiento, por descuidos en sus instalaciones y su mal programa o nulo Mantenimiento puede ocasionar accidentes muchas veces fatales, estos accidentes se evitan con un plan de mantenimiento continuo y eficiente, utilizando el equipo de seguridad.

## **2) Factores de Riesgo Químico.**

La principal fuente generadora de este riesgo es: aceite de transformadores.

En la Subestación, el riesgo ocurriría en el caso de que los transformadores que contienen aceites sin PCB el cual es un compuesto químico que se utiliza en transformadores eléctricos en nuestro país. Está incluido dentro de los doce contaminantes más peligrosos del planeta. En contacto con el hombre puede provocar cáncer. El bifenilo ploriclorado (PCB) es un compuesto químico formado por cloro, carbón e hidrógeno. Fue sintetizado por primera vez en 1881. El PCB

es resistente al fuego, muy estable, no conduce electricidad y tiene baja volatilidad a temperaturas normales. Éstas y otras características lo han hecho ideal para la elaboración de una amplia gama de productos industriales y de consumo.

Pero son estas mismas cualidades las que hacen al PCB peligroso para el ambiente, especialmente su resistencia extrema a la ruptura química y biológica a través de procesos naturales., y que lo utilizan como refrigerante, explotarán o se incendiarán causando una contaminación en el lugar donde se encuentran ubicados los transformadores. Pero de igual forma el aceite refrigerante al manipularlo y realizar los mantenimientos y al estar mucho tiempo en contacto con las personas, les podría causar daños como pequeñas dermatitis, alergias o irritación a la piel.

### **3) Factor de Riesgo por Higiene.**

Se identificó este factor por la considerable acumulación de polvo esparcido en el ambiente de la Subestación por la ventilación natural en su interior, y al encontrarse una persona en la subestación corre el riesgo de inhalar este contaminante mezclado con el aire en el ambiente del lugar ocasionando molestias y problemas respiratorios. Principales fuentes generadoras: Inhalación constante de polvo plástico que existe en el ambiente de la Subestación.



**TRANSFORMADOR DE 300KVA.**



**FIGURA 3.1** Transformador.

**FUENTE:** Iss Facility Services S.A de C.V

Este tipo de formato está diseñado para ser utilizado en las redes de distribución. En la empresa Iss Facility S.A de C.V este transformador se encarga de suministrar Energía a ciertos Equipos.

Las características de placa del transformador de 300KVA son:

<b>MARCA</b>	<b>GE ELECTRIC</b>
<b>No. DE SERIE</b>	LS16-173
<b>VOLTAJE</b>	13.200-220/127
<b>KVA</b>	300
<b>TIPO DE ACEITE</b>	PEMEX N.15
<b>LTS. ACEITE</b>	425
<b>CANTIDAD DE ACEITE</b>	523 L.
<b>TIPO</b>	0A
<b>M.S.N.M. ALTITUD</b>	2300
<b>FACES</b>	3
<b>IMPEDANCIA %</b>	$85^{\circ}\text{C} = 2.64$
<b>BAJA TENCION</b>	22/127 V.
<b>TEMPERATURA ELEVACION</b>	$65^{\circ}\text{C}$

**TABLA: 3.2** Placa de transformador.

**FUENTE:** Iss Facility S.A de C.V.

### Transformador.

Los transformadores son dispositivos Electromagnéticos estáticos que permiten partiendo de una tensión alterna conectada a su entrada, obtener otra tensión alterna mayor o menor que la anterior en la salida del transformador.

Permiten así proporcionar una tensión adecuada a las características de los receptores. También son fundamentales para el transporte de energía eléctrica a largas distancias a tensiones altas, con mínimas pérdidas y conductores de secciones moderadas.

### **Constitución y Funcionamiento.**

Constan esencialmente de un circuito magnético cerrado sobre el que se arrollan dos bobinados, de forma que ambos bobinados atraviesan por el mismo flujo magnético. El circuito magnético está constituido (para frecuencias industriales de 50 Hz) por chapas de acero de poco espesor apiladas, para evitar las corrientes parásitas. El bobinado donde se conecta la corriente de entrada se denomina primario, y el bobinado donde se conecta la carga útil, se denomina secundario. La corriente alterna que circula por el bobinado primario magnetiza el núcleo de forma alternativa. El bobinado secundario está así atravesado por un flujo magnético variable de forma aproximadamente senoidal y esta variación de flujo engendra por la Ley de Lenz, una tensión alterna en dicho bobinado.

### **Elementos que conforman un transformador.**

- 1.- Bushing de alto voltaje
- 2.- Bushing de bajo voltaje
- 3.- Conservador
- 4.- Relé Buchholz
- 5.- Válvula para filtro de aceite
- 6.- Sello de acero
- 7.- Indicador de nivel de aceite
- 8.- Alivio de presión
- 9.- Relé de presión súbita
- 10.- Terminal BCT

- 11.- Soporte para suspensión de la tapa
- 12.- Selector de toma manual.
- 13.- Boca de visita
- 14.- Tanque o cuba
- 15.- Gancho para izado
- 16.- Termómetro
- 17.- Radiador
- 18.- Válvula de radiador
- 19.- Escalera
- 20.- Placa de datos
- 21.- Termómetro
- 22.- Gabinete de control
- 23.- Válvula de drenaje de aceite
- 24.- Base
- 25.- Terminal de puesta a tierra
- 26.- Perno de anclaje
- 27.- Núcleo
- 28.- Soporte extremos
- 29.- Bobinas
- 30.- Placa de presión de bobinas
- 31.- Perno de apriete de bobinas
- 32.- Cambiador de tomas
- 33.- Gancho para izar núcleos y bobinas.
- 34.- Seguro de núcleos y bobinas.
- 35.- Fijación de parte activa

## Elementos de Protección.

La función de la Protección por Fusibles, es retirar rápidamente del servicio un elemento cuando sufre una falla este puede ser un corto circuito, una sobre corriente un funcionamiento anormal que pueda causar daño al personal, al equipo a la instalación.

**Fusibles.-** Los Fusibles abren circuitos, antes de que las altas corrientes causadas por cortos circuitos puedan hacer daño alguno. La corriente máxima que puede soportar un fusible antes de que se funda y abra el circuito se llama capacidad del fusible. Los fusibles están clasificados en amperes.

Un fusible debe hacer 3 cosas:

- 1.- Saber o sentir cuando existe un Corto Circuito
- 2.- Abrir el Circuito antes de que haya sufrido daño
- 3.- No debe tener efecto en el Circuito durante la operación normal

Básicamente la mayor parte de los fusibles son tramos de conductores o elementos de metal suave, contenido dentro de algún recipiente. El fusible está conectado a un circuito de manera que el fusible está en serie con las cargas y la fuente de energía. Esto significa que toda la corriente del circuito fluya a través del fusible, este presenta muy poca resistencia de manera que prácticamente no tiene efecto sobre el circuito en condiciones normales.

Cuando ocurre un corto circuito, la corriente que pasa a través del fusible aumenta gradualmente lo cual produce un aumento de calentamiento en dicho

fusible, este tiene un punto de fusión bajo lo cual significa que se funde a una temperatura más baja que los conductores comunes de alambre.

**Tableros Eléctricos.-** Son Equipos Eléctricos que contienen: Barras de Distribución. Elementos de Protección, Elementos de Señalización, Elementos de Comando y eventualmente, instrumentos de medida. Según su ubicación y función, tenemos los siguientes tableros:

### **Tableros Generales.**

Son los tableros principales de las Instalaciones. En ellos estarán montados los dispositivos de protección y maniobra que protegen los alimentadores y que permiten operar sobre toda la instalación interior en forma conjunta o fraccionada.



**FIGURA 3.3** Tablero Principal de subestación.

**FUENTE:** Libro Gilberto Enríquez Harper Fundamentos de instalaciones eléctricas de mediana y alta tensión.

**Tableros Generales Auxiliares.-** Son Tableros que serán alimentados desde un tablero general y desde ello se protegen y operan los tableros de distribución.

**Tableros de Distribución.-** Son Tableros que contienen dispositivos de protección y maniobra que permiten proteger y operar directamente los circuitos en que está dividida la instalación o una parte de ella. Pueden ser alimentados desde un tablero general, desde un tablero general auxiliar o directamente desde el empalme.



**FIGURA 3.4** Tablero Principal de subestación.

**FUENTE:** Libro Gilberto Enríquez Harper Fundamentos de instalaciones eléctricas de mediana y alta tensión.

## **Check List.**

Para fundamentar la identificación de los riesgos, se utilizará una lista de chequeo, en la que constara por escrito todos los riesgos considerados como perjudiciales. En esta lista de fácil aplicación se encontrarán todas las normativas que debe cumplir el sistema para su óptimo funcionamiento y para garantizar su seguridad.

## **¿Qué es?**

La definición de un problema es considerada universalmente como el paso inicial de cualquier actividad para solucionar problemas o mejoras continuas. Si un problema puede definirse claramente y con suficientes detalles, las causas y las soluciones empiezan a ser evidentes. Un check list puede ser una herramienta útil para ayudar a definir un problema y organizar ideas.

## **¿Cuándo se utiliza?**

Cada vez que un equipo inicia un esfuerzo de resolución de problemas. Esta herramienta puede utilizarse durante las fases de definición, medición y análisis de ciclo para mejorar el proceso.



LISTA DE CHEQUEO PARA LA INSPECCION DE SEGURIDAD EN SUBESTACION ELECETRICA			
LUGAR DE INSPECCION:	UBICACION:		
EVALUADORES:	FECHA:		
TECNICO AYUDANTE AREA			
PUNTO SA EVALUAR	SI	NO	OBSERVACIONES
1.- Ubicación de la subestación en lugares seguros			
2.- Dimensión correcta de cuarto para transformador			
3.- Correcto espacio de trabajo en los tableros de distribución			
4.- Existencia de señales de seguridad en subestación			
5.- Ventilación correcta			
6.- Correcto dimensionamiento de elementos eléctricos (cables, breaker)			
7.- Corrosión en partes metálicas de la subestación			
8.- Existencia de extintores contra incendio			
9.- Iluminación correcta			
10.- deterioro en estructura física de subestación (paredes, techo y piso)			
OBSERVACIONES COMPLEMENTARIAS:			

**TABLA 3.5** Formato de lista de chequeo.

**FUENTE:** Propia.

### Cálculo del Grado de Riesgo.

La gravedad del peligro debido a un riesgo reconocido se calcula por medio de una evaluación numérica, considerando tres factores:

$$gr = p * e * c$$

gr = gravedad del riesgo

p = probabilidad

e = exposición

c = consecuencia

La consecuencia de un posible riesgo, la exposición a la causa básica y a la probabilidad que ocurra la secuencia completa del accidente y sus consecuencias.

La fórmula del grado de riesgo es la siguiente:

**GRADO DE RIESGO = CONSECUENCIA X EXPOSICIÓN X PROBABILIDAD**

Al utilizar la fórmula, los valores numéricos asignados a cada factor están basados en el juicio y experiencia de la persona que hace el cálculo. Se obtiene una evaluación numérica considerando tres factores: las consecuencias de una posible pérdida debida al riesgo, la exposición a la causa básica y la probabilidad de que ocurra la secuencia del accidente y consecuencias. Estos valores se obtienen de la escala para valoración de factores de riesgo que generan accidentes de trabajo. Mediante un análisis de las coordenadas indicadas anteriormente, en el marco real de la problemática, se podrá construir una base suficiente sólida para argumentar una decisión. Una vez que se determina el valor por cada riesgo se ubica dentro de una escala de grado de riesgo. A continuación se presentan las tablas que se van a utilizar para la valoración de riesgos.

**Corriente de Cortocircuito.-** Un Cortocircuito es una conexión accidental entre conductores mediante impedancia nula (cortocircuito permanente) o no nula. Un cortocircuito se define como interno si está localizado dentro del equipo. La duración de un cortocircuito es variable. Se dice que un cortocircuito es auto extinguido si su duración es demasiado breve para disparar los dispositivos de protección, transitorio si se corrige tras el disparo y el reenganche de los dispositivos de protección y continuo o sostenido si no desaparece tras el disparo. Las causas de un cortocircuito pueden ser mecánicas (palas, ramas, animales), eléctricas (aislamiento dañado, sobretensiones) o humanas (errores de funcionamiento).

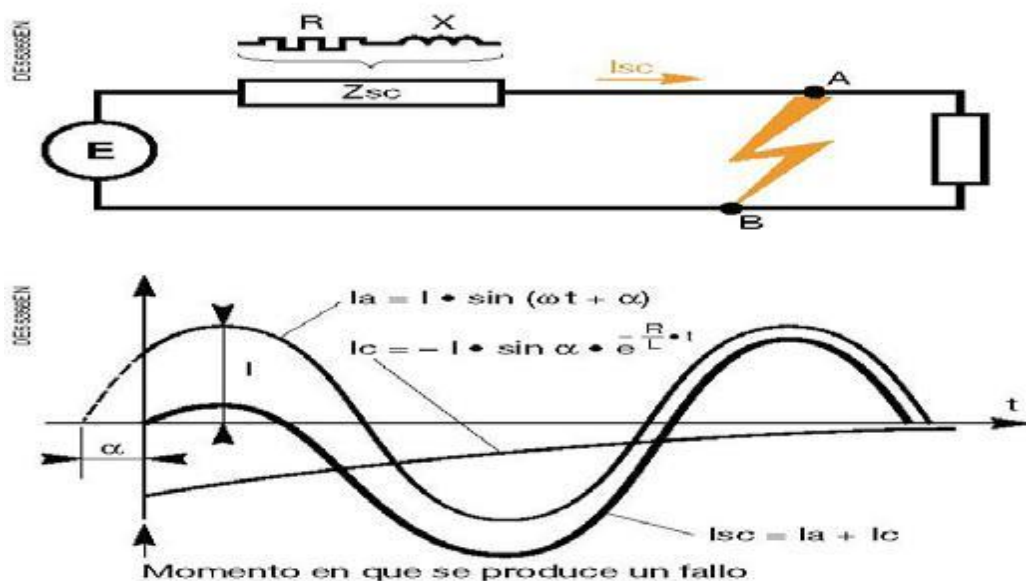


Fig. 18. Representación gráfica de una corriente de cortocircuito basada en un esquema equivalente.

**FIGURA 3.6** Representación gráfica de cortocircuito.

**FUENTE:** <http://www.schneiderelectric/cortocircuito.pdf>

## Efectos de Corrientes de Cortocircuito.

Las consecuencias son a menudo serias, si no realmente graves.

Un cortocircuito perturba el entorno del sistema eléctrico alrededor del Punto de fallo provocando una caída repentina de tensión. Es necesaria la desconexión, mediante la puesta en marcha de los dispositivos de protección, de una parte (a menudo amplia) de la instalación. Todos los equipos y conexiones (cables, líneas) sujetos a un cortocircuito están sometidos a una elevada tensión mecánica (fuerzas electrodinámicas) que puede provocar cortes y tensiones térmicas que llegan a fundir los conductores y destruir el aislamiento.

En el punto de fallo suele haber a menudo un arco eléctrico de alta energía, lo que provoca grandes daños que se pueden extender rápidamente. Aunque los cortocircuitos tienen cada vez menos posibilidades de producirse en instalaciones modernas, bien diseñadas las serias consecuencias que pueden tener son un estímulo para instalar todos los medios posibles a fin de detectarlos y eliminarlos rápidamente.

## Procedimiento de cálculo de cortocircuito método punto a punto.

PROCEDIMIENTO BASICO PARA CALCULAR CORTO CIRCUITO		
<b>PASO 1</b>	Transformador 3ø	$I_{FLA} = (Stotal [KVA] \times 1000) / \sqrt{3} \times Voperacion$
	Transformador 1ø	$I_{FLA} = (Stotal [KVA] \times 1000) / Voperacion$
	I <sub>FLA</sub> es la corriente a plena carga del transformador	
<b>PASO 2</b>		<b>Multiplicador = 100 / ( 0.9 x %Z Transformador )</b>
	%Z Transformador, es la impedancia de cortocircuito del transformador	
<b>PASO 3</b>		<b>I<sub>SCA</sub> = I<sub>FLA</sub> X Multiplicador</b>
	I <sub>SCA</sub> corriente de cortocircuito disponible al inicio del circuito	
<b>PASO 4</b>	Falla 3ø	$f = \sqrt{3} \times L \times I_{SCA} / (C \times n \times Voperacion)$
	Falla 1ø línea a línea	$f = 2 \times L \times I_{SCA} / (C \times n \times Voperacion)$
	Falla 1ø línea a neutro	$f = 2 \times L \times I_{SCA} / (C \times n \times Voperacion)$
	L = Longitud en pies desde transformador hasta punto de falla. C = Constante del conductor. n = Número de conductores por fase. f = Factor de falla	
<b>PASO 5</b>		<b>M = 1/ (1 + f)</b>
	Donde M es un multiplicador.	
<b>PASO 6</b>		<b>I<sub>SCA(EN LA FALLA)</sub> = I<sub>SCA</sub> x M</b>
	I <sub>SCA(EN LA FALLA)</sub> corriente de cortocircuito en punto de falla.	

**TABLA 3.7** Procedimiento de cálculo de cortocircuito.

**FUENTE:** Manual Técnico de Cooper Bussman.

## **Peligros y riesgos en una Subestación Eléctrica**

Normalmente tendemos a asociar el riesgo eléctrico solo con el fenómeno del paso de la corriente a través del cuerpo o choque eléctrico, sin embargo, existen otros riesgos como el arco eléctrico y la explosión que son igualmente peligrosos para las personas, y por lo tanto, deben ser comprendidos.

Los riesgos debidos a las instalaciones eléctricas pueden reducirse si se actúa correctamente en la evaluación de peligros y su correspondiente valorización para prevenir riesgos eléctricos. La gran difusión industrial y general de la corriente eléctrica, unida al hecho de que no es perceptible por los sentidos, hacen caer a las personas en una rutina, despreocupación y falta de prevención en su uso. Por otra parte dada su naturaleza y los efectos, muchas veces mortales, que ocasiona su paso por el cuerpo humano, hacen que la corriente eléctrica sea una fuente de accidentes de tal magnitud que no se deben regatear esfuerzos para lograr las máximas previsiones contra los riesgos eléctricos.

Los accidentes provocados por los riesgos eléctricos tienen como origen, fallas ocasionadas en las instalaciones o también por acciones incorrectas por parte de las personas. La forma de evitarlos será actuando sobre el origen de los mismos, es decir logrando que las instalaciones estén en las condiciones adecuadas y que además se cumplan en todo lo posible con las respectivas normas de seguridad.

**Riesgo eléctrico.-** Podemos definir el riesgo Eléctrico, como: La posibilidad de que una persona sufra un determinado daño, originado por el uso de la energía eléctrica. Los riesgos eléctricos son fundamentalmente de cuatro tipos:

- 1.- Choque eléctrico por paso de la corriente por el cuerpo.
- 2.- Quemaduras por choque eléctrico, o por arco eléctrico.
- 3.- Caídas o golpes como consecuencia de choque o arco eléctrico.
- 4.- Incendios o explosiones originados por la electricidad.

Para que se produzca un choque Eléctrico, el cuerpo humano se tiene que ver sometido a una tensión al tocar dos puntos de la instalación que estén a distinto potencial. En esas circunstancias se origina una corriente eléctrica que atraviesa el cuerpo humano y, que a partir de ciertos valores que veremos en el siguiente apartado, puede producir daños.

El riesgo de incendio o explosión de origen eléctrico viene determinado por la posibilidad de que se origine accidentalmente una intensidad de corriente excesiva, bien en algún punto de la instalación eléctrica o bien en alguno de los receptores, con el consiguiente deterioro de los materiales y la posibilidad de que se produzcan daños personales. Para que ese riesgo sea mínimo se deben realizar las instalaciones respetando la legislación vigente y utilizando productos homologados por organismos oficiales, pero también se le debe dar un uso

adecuado, según su capacidad, y siempre en consonancia con las características de la instalación. Los usuarios de la instalación eléctrica y los técnicos que la realizan o reparan deben respetar unas normas de seguridad básicas que garantizarán una mayor seguridad en su trabajo.

## **Factores relacionados con el riesgo de accidentes eléctricos.**

### **1.- Intensidad de Corriente.**

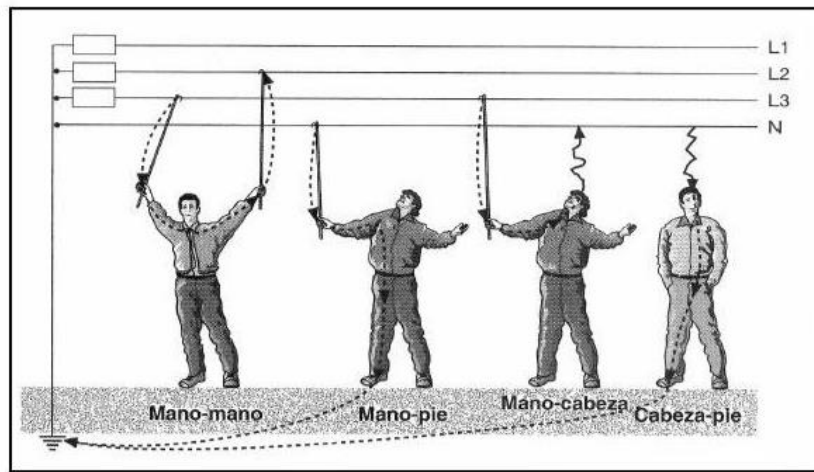
En los trabajos se representa el principal factor de riesgo eléctrico, ya que a partir de valores de 0,5 mA. Se puede notar el paso de la corriente y a partir de 10 mA se pueden producir lesiones de cierta gravedad. A medida que aumentan los valores de la intensidad, los efectos son, sucesivamente, los siguientes: dificultad respiratoria, fibrilación ventricular, paro cardíaco, paro respiratorio, daños en el sistema nervioso, quemaduras graves, pérdida de conocimiento y muerte.

### **2.- Tiempo de Contacto.**

El riesgo eléctrico aumenta con el tiempo de contacto. Esto se debe tener en cuenta a la hora de poner protecciones de corte automático de la alimentación en la instalación, que deben actuar con bastante rapidez.

### **3.- Trayectoria de la Corriente a través del cuerpo.**

La Corriente Eléctrica sigue la trayectoria que le ofrece menos resistencia. Las más peligrosas son las que afectan a la cabeza, al corazón o a los pulmones.



**FIGURA 3.8** Trayectoria de la corriente a través del cuerpo humano.

**FUENTE:** [www.xtec.es/~jnogues%20/documents/Seguretat/Seguridad\\_%20electrica\\_1.pdf](http://www.xtec.es/~jnogues%20/documents/Seguretat/Seguridad_%20electrica_1.pdf)

#### 4.- Impedancia del Cuerpo Humano.

La Impedancia del Cuerpo Humano es fundamentalmente resistiva, pero tiene una componente capacitiva debida a la piel humana y que depende de varios factores: la tensión aplicada, la edad, el sexo, la humedad de la piel, la frecuencia, etc.

A continuación se establece unos valores de resistencia del cuerpo humano en función del estado de la piel, que para una tensión de 250 V, que han sido investigados en un manual de Seguridad eléctrica IES Vall d'Hebron Curs 2004/05 Jaume Nogués y son los siguientes:



1500  $\Omega$  para piel seca.

1000  $\Omega$  para piel húmeda.

650  $\Omega$  para piel mojada.

325  $\Omega$  para piel sumergida.

### **5.- Tipo de Corriente y Frecuencia.**

Los efectos de la corriente continua o la corriente alterna sobre el cuerpo humano son distintos, debido a la frecuencia habitual de la corriente alterna (50 ó 60 Hz) que hace que aumente el riesgo de fibrilación ventricular. La frecuencia de la corriente alterna se puede superponer al ritmo cardíaco y producir una alteración en el mismo.

La corriente continua y la corriente alterna de frecuencia superior a 10 000 Hz no producen fibrilación ventricular y por eso son menos peligrosas, pero sí producen el resto de los efectos.

### **Factores determinantes de Accidentes Eléctricos.**

Es importante señalar que un accidente eléctrico es el hecho de recibir una sacudida o descarga eléctrica, con o sin producción de daños materiales y/o personales. También se lo define como el daño ocasionado por un peligro que se ha causado por la presencia de un riesgo eléctrico no reducido.

A continuación presentamos una lista de factores que aumentan la posibilidad de accidentes eléctricos en una subestación.

- 1.- Realizar mantenimientos en sistemas energizados.
- 2.- Falta de capacitación del personal.
- 3.- Herramientas sin aislamiento.
- 4.- No existencia de señalizaciones de seguridad.
- 5.- Apuro en la realización de un trabajo.
- 6.- Operarios con poca experiencia.
- 7.- Tiempo excesivo de horario de trabajo.
- 8.- Descuido en el uso de equipos de protección personal (zapatos aislantes, guantes, casco, lentes).
- 9.- No revisión de diagramas o planos, ni del manual de operación de los equipos.
- 10.- Mal ordenamiento de las acciones operativas.
- 11.- Inadecuada iluminación.
- 12.- Intervención en circuitos eléctricos sin contar con la debida autorización.
- 13.- Realizar acciones equivocadas no establecidas.
- 14.- Falta de conexión a tierra en equipos eléctricos.

### **Tipos de Accidentes Eléctricos.**

En este punto vamos a considerar solamente los accidentes originados por el uso de la energía eléctrica sin restringirnos al ámbito laboral, y por lo tanto definiremos un accidente eléctrico como un suceso imprevisto, relacionado con el uso de la energía eléctrica, no esperado ni deseado, que se presenta de forma brusca y puede causar daño a las personas o a las cosas, siendo normalmente evitable.

### **Contactos Directos.**

Son los contactos de personas con partes activas de materiales y equipos. Denominándose parte activa al conjunto de conductores y piezas conductoras bajo tensión en servicio normal.

### **Los contactos directos pueden establecerse de tres formas:**

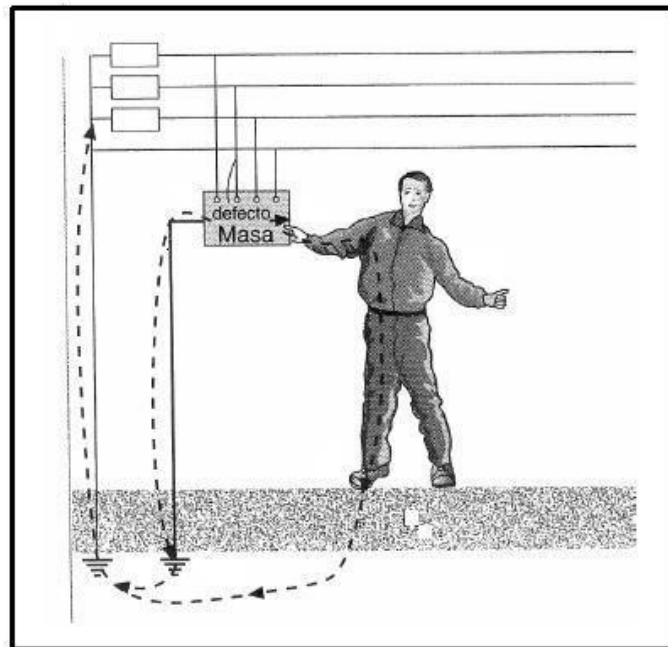
- 1.- Contacto directo con dos conductores activos (línea - línea).
- 2.- Contacto directo con un conductor activo (línea - tierra).
- 3.- Descarga por inducción. Son aquellos accidentes en los que se produce un choque eléctrico sin que la persona haya tocado físicamente parte metálica o en tensión de una instalación.



**FIGURA: 3.9** Contacto eléctrico directo.

**FUENTE:** [www.isa2000.com/img/guia\\_seguridad\\_electricistas.pdf](http://www.isa2000.com/img/guia_seguridad_electricistas.pdf)

**Contactos Indirectos.**-Son los contactos de personas con masas puestas accidentalmente bajo tensión. Se produce cuando un individuo entra en contacto con algún elemento que no forma parte del circuito eléctrico y que en condiciones normales no debería tener tensión, pero que la ha adquirido accidentalmente. Para que se produzca un contacto indirecto es necesario que se produzca un defecto de aislamiento entre las partes activas de la instalación y una masa, lo que origina que ésta se ponga accidentalmente bajo tensión.



**FIGURA 3.10** Contacto eléctrico Indirecto.

**FUENTE:** [www.xtec.es/~jnogues%20/documents/Seguretat/Seguridad\\_%20electronica\\_1.pdf](http://www.xtec.es/~jnogues%20/documents/Seguretat/Seguridad_%20electronica_1.pdf)

## **Protección Personal frente a los Accidentes Eléctricos.**

Es importante señalar que la protección personal y primeros auxilios que nos referimos a continuación son respecto a la protección contra contactos eléctricos directos e indirectos.

## **Protección contra Contactos Eléctricos Directos**

Las medidas de protección consisten en poner las partes activas fuera del alcance o aislarlas mediante aislantes, envolventes o barreras.

## **Alejamiento de las partes activas.**

Se trata de alejar las partes activas a una distancia suficiente para que sea imposible el contacto fortuito con las manos o por la manipulación de objetos conductores, cuando estos se utilicen en las proximidades de una instalación

## **Interposición de obstáculos**

Se consigue que se impida todo contacto accidental con las partes activas de la instalación. Deben estar fijados de forma segura y resistir esfuerzos mecánicos que puedan presentarse.

## **Recubrimiento de las partes activas**

Se realizará mediante un aislamiento apropiado, capaz de conservar sus propiedades con el tiempo y que limite la corriente de contacto .Ejemplo: cables aislados, bornes aislados etc. Las pinturas, barnices, lacas y productos similares no se consideran aisladores.

## **Protección contra contactos eléctricos indirectos.**

Es indispensable para proteger a las personas contra los peligros que pueden derivarse de un defecto de aislamiento entre las partes activas y masa u otras partes conductoras accesibles.

## **Interruptor diferencial.**

Un interruptor diferencial, también llamado disyuntor por corriente diferencial o residual, es un dispositivo electromecánico que se coloca en las instalaciones eléctricas con el fin de proteger a las personas de las derivaciones causadas por faltas de aislamiento entre los conductores activos y tierra o masa de los aparatos.



*interruptor diferencial.*

**FIGURA 3.11** Interruptor diferencial.

**FUENTE:** [www.mailxmail.com](http://www.mailxmail.com)

### **Principales causas de riesgos de incendio en una Subestación.**

El efecto más importante originado por el paso excesivo de corriente eléctrica a través de un material cualquiera es el incendio. Esto representa un riesgo indirecto para las personas, ya que pueden sufrir quemaduras o choque eléctrico en el caso de que se queme el material aislante de una instalación, quedando los elementos conductores más accesibles para entrar en contacto con las personas. A continuación mencionamos las principales causas de riesgo de incendio en una subestación: arco eléctrico, explosión, sobreintensidad y sobretensión.

### Arco Eléctrico.

Normalmente el aire es un muy buen elemento aislante, sin embargo, bajo ciertas condiciones tales como altas temperaturas y altos campos eléctricos, puede convertirse en un buen conductor de corriente eléctrica. Un arco eléctrico es una corriente que circula entre dos conductores a través de un espacio compuesto por partículas ionizadas y vapor de conductores eléctricos, y que previamente fue aire. La mezcla de materiales a través de la cual circula la corriente del arco eléctrico es llamada plasma. La característica física que hace peligroso al arco eléctrico es la alta temperatura.



**FIGURA 3.12** Generación de arco eléctrico.

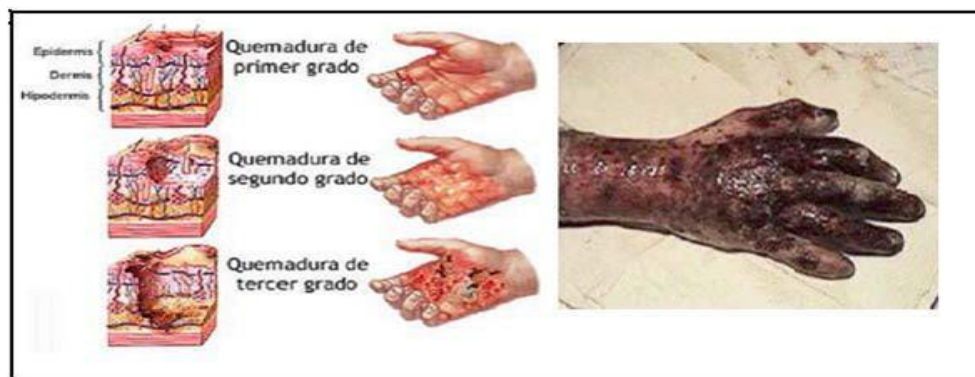
**FUENTE:** [www.unalmed.edu.co/eventosiem/presentacionespdf/Josedariel-RiesgoElectrico.pdf](http://www.unalmed.edu.co/eventosiem/presentacionespdf/Josedariel-RiesgoElectrico.pdf).

Un Arco Eléctrico, puede producirse por modificar las condiciones de manera que se supere la rigidez dieléctrica del aire, o como consecuencia de la maniobra de apertura o cierre de un elemento de interrupción de la corriente eléctrica. La



temperatura tan elevada del arco eléctrico genera una radiación de calor que puede ocasionar quemaduras graves aún a distancias de 3 m. La cantidad de energía del arco depende de la corriente y de su tamaño, siendo menor el efecto del nivel de tensión del sistema, por lo cual debe tenerse un cuidado especial con los sistemas de baja tensión que muchas veces cuentan con los niveles de corriente de cortocircuito más elevadas. El arco eléctrico produce intenso calor, explosiones sonoras y ondas de presión capaces de quemar la ropa y causar severas quemaduras en la piel que pueden ser fatales. El arco puede ser provocado por las siguientes causas: Impurezas y polvo, corrosión, contactos accidentales, caída de herramientas, fallos en dispositivos de protección, y fallos de aislamiento entre conductores eléctricos.

El daño generado por el arco eléctrico sobre una persona depende de la cantidad de calor que ésta recibe, la cual se puede disminuir manejando factores tales como la distancia de la persona al arco, el tiempo de duración del arco y la utilización de ropas y equipos de protección personal que actúen como barreras o aislante térmicos.



**FIGURA 3.13** Efectos ocasionados por el arco eléctrico.

**FUENTE:** [www.unalmed.edu.co/eventosiem/presentacionespdf/Josedariel-RiesgoElectrico.pdf](http://www.unalmed.edu.co/eventosiem/presentacionespdf/Josedariel-RiesgoElectrico.pdf)

## **Causas del arco Eléctrico en Subestación y precauciones.**

En el estudio y análisis de riesgos en la Subestación de la empresa debemos de indicar un punto muy importante de nuestra investigación que es como se podría provocar un arco eléctrico o explosión y tomar las debidas precauciones para evitarlo, siempre que se presenten fallas o cuando se realizan trabajos de instalación o mantenimiento de la subestación. La causa evolutiva de un arco eléctrico es una consecuencia de un debilitamiento progresivo de la resistencia de aislamiento entre fases o entre fases y masa.

La degradación progresiva del aislamiento puede igualmente deberse a un calentamiento local accidental, por ejemplo, por una mala conexión o por un aflojamiento progresivo de un borne. La elevación de la temperatura en un punto próximo a otro defectuoso puede inducir a la descomposición y la carbonización progresiva de los aislantes cercanos, lo que puede ser el origen un arco de defecto, inicialmente entre fases o entre fase y masa y después degenerar en un defecto trifásico.

## **Las causas Mecánicas.**

Se deben a la intervención de un elemento conductor ajeno a la propia estructura de la instalación. Este es el caso de intervenciones inadecuadas del personal de mantenimiento: no siempre se respetan estrictamente las normas que fijan las precauciones a tomar en caso de actuaciones en partes bajo tensión. Se observa, por ejemplo, que para no perturbar el funcionamiento general de una

instalación, un electricista que tiene que realizar una verificación, abre los paneles posteriores de un cuadro, y sobre el juego de barras así accesible, se pone a trabajar pensando que tendrá suficiente cuidado. Cuando una herramienta se resbala y escapa de las manos, o cuando una lámpara de pruebas (prohibida) explota, se produce una descarga general con riesgo de quemaduras graves para el operador imprudente.

Los resultados serán los mismos si un objeto conductor (olvidado) en la parte superior del cuadro (herramienta, trozo de una barra, tuerca, arandela, cuña metálica, etc.), llega a desplazarse poco a poco por el efecto de las vibraciones y cae entre dos barras, o entre dos bornes de un cable.

Pueden incluso presentarse incidentes debidos a la presencia insólita de un animal en el interior de un cuadro (gato, ave, rata, etc.).

### **Precaución.**

El método de trabajo empleado y los equipos y materiales de trabajo y de protección utilizados deberán proteger al trabajador frente al arco eléctrico y explosión.

Entre los equipos y materiales de protección citados se encuentran:

- 1.- Los accesorios aislantes (pantallas, cubiertas, vainas, etc.) para el recubrimiento de partes activas o masas.
  
- 2.- Los útiles aislantes o aislados (herramientas, pinzas, puntas de prueba, etc.).
  
- 3.- Las pértigas aislantes.
  
- 4.- Los dispositivos aislantes o aislados (banquetas, alfombras, plataformas de trabajo, etc.).
  
- 5.- Los equipos de protección individual (pantallas, guantes, gafas, cascos, etc.).

### **Sobre Intensidades.**

Se producen al circular una corriente eléctrica mayor que la nominal por los conductores o receptores eléctricos. Se diferencian dos tipos de sobre intensidades:

#### **1.- Sobrecargas.**

Se producen cuando por un circuito circula una corriente eléctrica mayor que la nominal sin que haya defecto de aislamiento. Producen un calentamiento excesivo de los conductores, provocando un deterioro de los aislantes y acortando su duración.

## **2.- Cortocircuitos.**

Se producen por la conexión accidental entre conductores activos, originando una elevada intensidad y destruyendo los circuitos, al no poder soportar corrientes tan altas.

## **Sobretensiones.**

Se producen cuando la tensión en un circuito es superior a la nominal. Suelen durar muy poco tiempo, pero el daño producido a los receptores eléctricos puede ser considerable. La causa más frecuente es la descarga atmosférica de los rayos sobre la instalación eléctrica o sus inmediaciones.

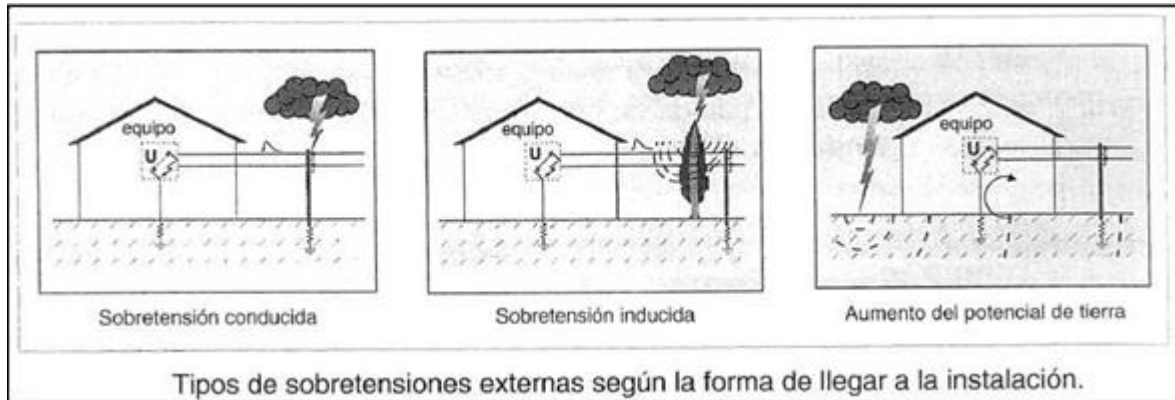
### **a) Sobretensiones externas.**

Tienen su origen en descargas atmosféricas. Las sobretensiones de origen externo pueden ser de varios tipos:

Descarga directa sobre la línea (sobretensión conducida).

Descarga sobre un objeto próximo a la línea (sobretensión inducida).

Descarga directa sobre el suelo que puede elevar el potencial de tierra varios miles de voltios como consecuencia de la corriente que circula por el terreno (aumento del potencial de tierra).



**FIGURA 3.14** Tipos Sobretensiones externas.

**FUENTE:** [ww.xtec.es/~jnogues%20/documents/Seguret at/ Seguridad\\_%20electronica\\_1.pdf](http://ww.xtec.es/~jnogues%20/documents/Seguret%20at/Seguridad_%20electronica_1.pdf).

Las sobretensiones externas pueden acceder a los equipos a través de:

- 1.- Las redes eléctricas de baja tensión.
- 2.- Las líneas de datos (telefónicas, informáticas o TV).
- 3.- Los elementos receptores de alta frecuencia (antenas).
- 4.- Los conductores de conexión a tierra.

### **b) Sobretensiones internas.**

Tienen su origen en las variaciones de carga en una red, maniobras de desconexión de un interruptor, formación o cese de un fallo a tierra, corte de alimentación a un transformador en vacío, puesta en servicio de las líneas, etc. En una instalación eléctrica todos los conductores que acceden desde el exterior

pueden facilitar el camino a las sobretensiones transitorias, provocando así perturbaciones en la alimentación de todos los sistemas conectados.

### **Sobrecarga de Transformadores.**

La sobrecarga eléctrica es el motivo principal de envejecimiento prematuro de una máquina. Desde un punto de vista térmico, la sobrecarga se produce cuando la condición de equilibrio térmico en la máquina se establece a una temperatura tal que provoca la degradación de los dieléctricos que aíslan los conductores o las chapas que forman el núcleo magnético del transformador.

La condición de sobrecarga involucra parámetros de naturaleza distinta:

- 1.- Nivel de carga eléctrica.
- 2.- Condiciones ambientales: temperatura, humedad y altura sobre el nivel del mar.
- 3.- Condiciones de explotación: continua, ocasional, etc.

Desde el punto de vista de la protección de la máquina, la condición de sobrecarga no suele requerir la puesta fuera de servicio inmediata de la máquina, lo que permite realizar actuaciones dedicadas a reducir las condiciones que producen dicha situación, continuando con la explotación de la instalación. Entre las medidas orientadas a reducir el nivel de sobrecarga de la máquina se pueden citar: deslastrado de carga y mejora de las condiciones de refrigeración.

### **Sistemas de Control y defensas para prevención de riesgos en Subestación Eléctrica**

El objetivo de un sistema de control y protección consiste en reducir la influencia de falla en los componentes y personas expuestos a riesgos de incendio o explosión en una subestación, hasta tal punto que no se produzcan daños relativamente importantes en ellos, ni que tampoco ponga en peligro la vida del trabajador o personal técnico.

Los accidentes provocados por los riesgos eléctricos tienen como origen fallos en las instalaciones o acciones incorrectas de las personas. La forma de evitarlos será actuando sobre el origen de los mismos, es decir logrando que las instalaciones estén en las adecuadas condiciones de seguridad y que las personas actúen de forma segura con relación a los riesgos que existan.

Las medidas correctivas a aplicar en forma generalizada en una subestación sería el uso de alarmas que indiquen o activen circuitos de protección contra incendios, sistemas de control y propagación de incendios; colocar en sectores cercanos a la subestación detectores de humo, calor o llamas y además medios de combate de incendios como el uso de extintores químicos.

Las técnicas de seguridad y protección proporcionan una serie de medidas para evitar que los riesgos de las personas y de la propia instalación eléctrica frente a los accidentes eléctricos resulten peligrosos. Dichas medidas pueden ser individuales o de la propia instalación.



## Señalizaciones y bloqueo.

Se deben tener las señales de advertencia donde se indique sobre el riesgo y se prohíba la entrada al personal no calificado. Estas señales deben contar con la siguiente información:

- 1.- Advertencia donde se indique que se trata de equipo energizado y que representa peligro.
- 2.- Tipo de equipo y nomenclatura operativa.
- 3.- Máximo nivel de tensión del equipo.
- 4.- Máximo nivel de cortocircuito.
- 5.- Ubicación de los diferentes límites de aproximación.
- 6.- Categoría requerida del equipo de protección personal para realizar trabajos.

Los sistemas de señalización incluyen dos grandes grupos: sistemas visuales y sistemas acústicos. Entre los sistemas visuales se pueden citar como ejemplo las señales de tipo gráficas, que indican aspectos de diversa índole como rutas de evacuación, situación de extintores, uso de ciertos equipos de protección. En el segundo grupo, las señales acústicas, el grupo está más reducido a las típicas alarmas sonoras, que van casi siempre, asociadas a una situación de emergencia.

### Equipos de Protección Personal.

Estos elementos actúan como una barrera frente a los peligros que tiene el trabajador de verse afectado por el choque eléctrico, el arco o la explosión. En la siguiente tabla se muestran los elementos utilizados para la protección de las diferentes partes del cuerpo.

PARTE DEL CUERPO A PROTEGER	EQUIPO UTILIZADO
Cuerpo y la piel en general	Ropa de protección contra arco eléctrico, de la categoría adecuada para el trabajo específico.
Ojos y rostro	Protector facial de la categoría adecuada para el trabajo.
Cabeza	Casco aislante con el aislamiento requerido para el nivel de tensión del equipo.
Manos	Guantes aislantes de caucho con el nivel de aislamiento requerido, con protectores de cuero.
Aislamiento del cuerpo para evitar el choque eléctrico	Botas y guantes dieléctricos.

**TABLA 3.15** Equipo de protección personal.

**FUENTE:** Propia.

### **Equipos de Seguridad.**

Para que el personal pueda ejecutar los trabajos siguiendo las prácticas de seguridad es necesario contar con algunos equipos y herramientas que faciliten los trabajos, ayuden a evitar los cortocircuitos por contactos accidentales y aumenten los niveles de protección frente al arco, la explosión y el choque eléctrico. Estos equipos y herramientas son adicionales a los elementos de protección personal y entre las más importantes, tenemos:

- Pértigas.
- Etiquetas de seguridad.
- Elementos de bloqueo.

**Pértigas.-** Permiten manipular conductores y equipo energizado desde una distancia segura para el personal. También son indispensables para la conexión del equipo de puesta a tierra temporal, debido a que los conductores después de desconectada la fuente pueden quedar sometidos a tensiones peligrosas por la inducción de otros conductores.

**Etiquetas de Seguridad.-** Se requieren para indicar que no se pueden realizar maniobras sobre un elemento determinado porque se encuentra personal realizando algún tipo de trabajo.

**Elementos de bloqueo.-** Tienen la misma filosofía de los elementos de señalización, con la diferencia de que impiden físicamente la maniobra de los equipos.

### **Objetivos del uso de Equipos de Seguridad.**

Entre los objetivos principales de estos equipos de seguridad, se encuentran los siguientes:

- 1.- Permitir la ejecución en forma segura de las maniobras necesarias para la desenergización y energización.
- 2.- Facilitar la manipulación de conductores y partes no aisladas de los equipos a una distancia segura.
- 3.- Garantizar un espacio de trabajo libre de potenciales eléctricos que puedan representar riesgos para el personal.
- 4.- Facilitar la identificación de conductores energizados.
- 5.- Proporcionar la señalización que permita identificar claramente los equipos sobre los cuales se está trabajando.

6.- Proveer los medios de señalización y/o bloqueo sobre los elementos de maniobra que controlan las fuentes de energía para evitar que se energicen accidentalmente los equipos sobre los cuales se está trabajando.

7.- Aislar conductores energizados expuestos dentro del área de trabajo.

### **Marco legal.**

Reglamento de seguridad del trabajo, contra riesgos en instalaciones de energía eléctrica.

Ministerio de trabajo y recursos humanos

Acuerdo No 013.- Capítulo III - Normas para intervención en equipos, instalaciones y casos especiales.

### Art. 16.- Transformadores

1.- Para considerar sin tensión a un transformador es necesario que estén desconectados los devanados primario y secundario.

2.- No se permitirá que un transformador desconectado en el lado de alta tensión, reciba corriente por el lado de baja tensión.

3.-Si no se dispone de un aparato de corte de la corriente que permita poner o sacar del servicio a un transformador con carga, se procederá de la siguiente manera:

a) Para poner en servicio a un transformador deberá empezar conectando el devanado de mayor tensión.

b) Para sacar del servicio a un transformador deberá empezarse por desconectar el devanado de menos tensión.

4.-Se prohíbe la realización de trabajos en el interior de cubas de transformadores, sin antes comprobar la total eliminación de gases.

5.-Se prohíbe fumar y utilizar cualquier clase de llama en las proximidades de un transformador refrigerado con aceite.

6.-Cuando se realicen trabajos de manipulación de aceite de transformador, se dispondrá de los elementos adecuado para la extinción de incendios.

7.-Cuando se realice trabajos en un transformador que tiene protección automática contra incendios, esta protección automáticamente estará bloqueada para evitar un funcionamiento intempestivo.

## **Normas de aplicación para Subestaciones Eléctricas.**

Artículo 110.-Requisitos de las Instalaciones Eléctricas.

**Distancias de Trabajo.-** Excepto si se exige o se permite otra cosa en esta norma, la medida del espacio de trabajo en dirección al acceso a las partes vivas que funcionen a 600 V nominales o menos a tierra y que puedan requerir examen, ajuste, servicio o mantenimiento mientras estén energizadas no debe ser inferior a la indicada en la Tabla. Las distancias deben medirse desde las partes vivas, si están expuestas o desde el frente o abertura de la envolvente, si están encerradas. Las paredes de concreto, ladrillo o azulejo deben considerarse conectadas a tierra. Además de las dimensiones expresadas en la Tabla, el espacio de trabajo no debe ser menor que 80 cm. de ancho delante del equipo eléctrico. El espacio de trabajo debe estar libre y extenderse desde el piso o plataforma hasta la altura exigida por esta Sección. En todos los casos, el espacio de trabajo debe permitir abrir por lo menos 90° las puertas o paneles abisagrados del equipo. Dentro de los requisitos de esta Sección, se permite equipo que tenga distancias, como la profundidad, iguales a los de la altura requerida.

**TABLA 110-16(a).- Distancias de trabajo**

Tensión eléctrica nominal a tierra (V)	Distancia libre mínima (m)		
	Condición 1	Condición 2	Condición 3
0-150	0,90	0,90	0,90
151-600	0,90	1,1	1,20

Las condiciones son las siguientes:

1. Partes vivas expuestas en un lado y no vivas ni conectadas a tierra en el otro lado del espacio de trabajo, o partes vivas expuestas a ambos lados protegidas eficazmente por madera u otros materiales aislantes adecuados. No se consideran partes vivas los cables o barras aislados que funcionen a 300 V o menos.
2. Partes vivas expuestas a un lado y conectadas a tierra al otro lado.
3. Partes vivas expuestas en ambos lados del espacio de trabajo (no protegidas como está previsto en la Condición 1), con el operador entre ambas.

**TABLA 3.16** Distancias de trabajo.

**FUENTE:** NEC 2006. Artículo 384.- Tableros de Distribución.

### Tableros de Distribución.

**Ubicación de los tableros de distribución.-** Los tableros de distribución que tengan partes vivas expuestas deben estar ubicados en lugares permanentemente secos, donde estén vigilados y sean accesibles sólo a personas calificadas. Los tableros de distribución deben instalarse de modo que la probabilidad de daño por equipo o procesos sea mínima.

**Ubicación con relación a materiales fácilmente combustibles.-** Los tableros de distribución se deben instalar de modo que la probabilidad de que transmita el fuego a materiales combustibles adyacentes sea mínima. Cuando se instalen en un piso combustible se debe proveer de protección adecuada.



**Separación desde el techo.-** En los tableros de distribución que no estén totalmente cerrados se debe dejar un espacio desde la parte superior del tablero hasta cualquier techo combustible no menor a 90 cm., excepto si se instala una cubierta no combustible entre el tablero y el techo.

**Aislamiento de los Conductores.-** Cualquier conductor aislado que se utilice dentro de un tablero de distribución debe estar aprobado y listado, ser resistente a la propagación de la flama y tener una tensión eléctrica nominal no menor a la que vaya a soportar y no menor a la tensión eléctrica aplicada a otros conductores o barras colectoras con las que pueda estar en contacto.

**Puesta a tierra de los marcos o armazones de los tableros de distribución.-** Los marcos de los tableros de distribución y las estructuras que soporten los elementos de desconexión, deben estar puestos a tierra.

Artículo 450.- Transformadores y Bóvedas.

**Ventilación.-** La ventilación debe ser adecuada para disipar las pérdidas a plena carga del transformador, sin que se produzca un aumento de temperatura que exceda la nominal del transformador.

**Puesta a tierra.-** Las partes metálicas de las instalaciones de transformadores, que no transporten corriente y estén expuestas, incluyendo las cercas, resguardos, etc., se deben poner a tierra.

### **Bóvedas de transformadores.**

**Ubicación.-** Las bóvedas deben ubicarse donde puedan ser ventiladas al aire exterior sin el uso de tubo extractores o conductos, siempre que sea posible.

**Paredes, techos y piso.-** Las paredes y el techo de las bóvedas deben construirse de materiales que tengan la resistencia estructural adecuada a las condiciones que puedan presentarse y una resistencia mínima al fuego de tres horas. Los pisos de las bóvedas en contacto con la tierra deben ser de concreto de un espesor mínimo de 10 cm. y cuando la bóveda se construya sobre un espacio libre o arriba de otros pisos, el piso debe tener la adecuada resistencia estructural para la carga soportada y una resistencia mínima al fuego de tres horas. Para los propósitos de esta Sección no se permiten construcciones atornilladas ni con paredes de paneles.

**NOTA:** Una construcción típica que posee una resistencia al fuego de tres horas es una construcción de concreto reforzado de 15 cm. de espesor.

**Tipo de puerta.-** Cada espacio que conduzca a una bóveda desde el interior de un inmueble debe estar provisto de una puerta de cierre hermético, de un tipo que tenga una resistencia mínima al fuego de tres horas. Este tipo de puerta debe instalarse en una abertura de una pared exterior, cuando las condiciones lo justifiquen.

**Abertura de Ventilación.-** Donde lo exija la Sección 450-9, la cual dice que: La ventilación debe ser adecuada para disipar las pérdidas a plena carga del transformador, sin que se produzca un aumento de temperatura que exceda la nominal del transformador. Además deben proveerse aberturas de ventilación de acuerdo con lo siguiente:

**Ubicación.** Las aberturas de ventilación deben ubicarse lo más lejos posible de puertas, ventanas, salidas de incendio y materiales combustibles.

**Disposición.** Una bóveda ventilada por circulación natural de aire puede tener la mitad, aproximadamente, del área total de aberturas necesarias para la ventilación en una o más aberturas cerca del suelo y el resto en una o más aberturas en el techo o en las paredes cerca del techo; toda el área que se requiera para la ventilación se permite en una o más aberturas en o cerca del techo.

**Tamaño.** En el caso de bóvedas con ventilación natural hacia el exterior, el área neta combinada de todas las aberturas de ventilación, después de restar áreas ocupadas por pantallas, rejas o celosías, no debe ser menor de 20 cm<sup>2</sup> por cada kVA de capacidad de los transformadores en servicio, excepto el caso de transformadores de capacidad menor de 50 kVA, donde el área neta no debe ser menor de 9,30 cm<sup>2</sup>.

**Drenaje.-** Cuando sea factible en las bóvedas que contengan más de 100 kVA de capacidad de transformadores, se debe construir un drenaje u otro medio que

evacue hacia un depósito especial de confinamiento cualquier acumulación de líquido aislante o agua, a menos que las condiciones del local lo impidan; en este caso, el piso debe tener una inclinación hacia dicho drenaje.

**Almacenamiento dentro de las bóvedas.-** No deben almacenarse materiales dentro de las bóvedas de transformadores.

Artículo 924.- Subestaciones.

**Extintores.-** Deben colocarse extintores, tantos como sean necesarios en lugares convenientes y claramente marcados, situando dos, cuando menos, en puntos cercanos a la entrada de la subestaciones. Para esta aplicación se permiten extintores de polvo químico seco. Los extintores deben revisarse periódicamente para que estén permanentemente en condiciones de operación y no deben estar sujetos a cambios de temperaturas mayores que los indicados por el fabricante. En las subestaciones de tipo abierto o pedestal instalados en redes de distribución no se requiere colocar extintores de incendio.

Artículo 240.- Protección contra Sobre corriente.

### **Capacidades nominales de corriente eléctrica normalizadas.**

**Fusibles e interruptores de disparo fijo.-** Para la selección de fusibles y de interruptores de disparo inverso, se deben considerar los siguientes valores normalizados de corriente eléctrica nominal: 15A, 20A, 25A, 30A, 35A, 40A, 45A, 50A, 60A, 70A, 80A, 90A, 100A, 110A, 125A, 150A, 175A, 200A, 225A, 250A, 300A, 350A, 400A, 450A, 500A, 600A, 700A, 800A, 1000A, 1200A, 1600A, 2000A, 2500A, 3000A, 4000A, 5000A y 6000A. Se consideran como tamaños nominales de fusibles de 1A, 3A, 6A, 10A y 601A. Se permite el uso de fusibles e interruptores automáticos de tiempo inverso con los valores de corriente nominal diferentes a los valores indicados en este inciso.

Artículo 310.- Conductores.

**Conductor neutro.-** En un circuito de cuatro hilos tres fases en estrella cuyas principales cargas sean no lineales, por el conductor neutro pasan armónicas de la corriente por lo que se le debe considerar como conductor activo o portador de corriente.

Artículo 374.- Canales Auxiliares.

**Bordes lisos y redondeados.-** Cuando los conductores pasen entre canales, a través de muros divisorios, alrededor de esquinas, entre canales y gabinetes o canales y cajas de conexiones y en otros lugares cuando fuera necesario para

prever la abrasión de su aislante, se deben instalar boquillas, tubos o accesorios adecuados con bordes lisos y redondeados.

### **Reglas básicas para trabajar con equipo desenergizado.**

- No realizar trabajos eléctricos, si no ha sido capacitado y autorizado para ello.
- Cuidado con las líneas eléctricas, mantener la debida distancia de seguridad.
- En lugares mojados, utilizar aparatos eléctricos portátiles a pequeñas tensiones de seguridad.
- Utilizar equipos y medios de protección personal normalizados.
- Cuidar que su entorno sea seguro.

Siempre que se trabaje con equipo desenergizado deben seguirse unos pasos para realizar todo el proceso de seguridad, el cual incluye como mínimo:

- 1.- Garantizar el corte visible de la fuente de alimentación.
- 2.- Bloquear el elemento de maniobra que permita la energización del equipo.
- 3.- Detectar la ausencia de tensión.
- 4.- Conectar a tierra la parte viva del equipo.
- 5.- Señalización del área de trabajo.

Estas 5 reglas básicas complementadas con otras normalmente se conocen como reglas de oro y deben ser altamente difundidas, explicadas y se debe motivar al personal para su aplicación.

### **Primeros Auxilios.**

Los primeros auxilios que se deben realizar al trabajador cuando sufre un accidente eléctrico son los siguientes:

#### **Interrumpir de inmediato el paso de corriente:**

- Desconectando el conductor causante de la descarga.
- Cerrando el interruptor o el dispositivo de protección.

#### **Atender a la víctima:**

-Si no se puede actuar sobre los interruptores, aislarse debidamente (usando calzado y guantes aislantes o subiéndose sobre una tabla).

-Si el accidentado queda unido al conductor eléctrico, actuar sobre este último separándole la víctima por medio de una pértiga aislante. Si no tiene una al alcance, utilizar un palo o bastón de madera.

- Cuando el lesionado quede tendido encima del conductor, envolverle los pies con ropa o tela seca, tirar de la víctima por los pies con la pértiga o el palo, cuidando que el conductor de corriente no sea arrastrado también.
- Para actuar con mayor rapidez, cortar el conductor eléctrico a ambos lados de la víctima, utilizando un hacha provista de mango de madera.
- Si el accidentado hubiera quedado suspendido a cierta altura del suelo, prever su caída, colocando debajo colchones, mantas, montones de paja o una lona.
- Tener presente que el electrocutado es un conductor eléctrico mientras a través de él pase la corriente.

### **Metodología para el procedimiento de mantenimiento preventivo a la subestación eléctrica**

#### **Prevención y control para el Mantenimiento de Subestación.**

Una forma de prevenir riesgos eléctricos es realizando un buen mantenimiento, con una inspección general de la subestación de la industria analizada, se tomó información del personal técnico encargado en cuanto al control y prevención de los trabajos de mantenimiento que se realizan en la subestación, ya que son poco frecuentes y basándonos en normas técnicas que se debería considerar que en toda subestación eléctrica, para cuidado del personal y conservar en buen estado.



La componen, ya sean por ejemplo los transformadores, los dispositivos de protección, tableros de control, entre otros y asegurar de esta manera el nivel óptimo de su efectividad, se deben desarrollar actividades que se identifican con el nombre de mantenimiento y seguridad de las instalaciones. Dicha actividad la podemos clasificar en 3 tipos:

### **Mantenimiento Preventivo.**

El Mantenimiento Preventivo tiene la finalidad de evitar que el equipo falle durante el periodo de su vida útil; y la técnica de su aplicación se apoya en experiencias de operación que determinan que el equipo, después de pasar el periodo de puesta en servicio, reduzca sus posibilidades de falla.

### **Mantenimiento Correctivo.**

Como su nombre lo indica, la reparación se hace una vez que se ha producido la falla. Se puede hacer una reparación mínima para seguir en funcionamiento. En lo que respecta a nuestro caso, sería bueno y aconsejable aplicar uno de estos tipos de mantenimientos, con la finalidad de evitar daños o problemas de funcionamiento a futuro y si se presentan, saber cómo afrontarlos.

### **Ejecución del Mantenimiento a Subestación Eléctrica.**

Luego de realizar previamente la inspección y revisión de los equipos, y determinada la necesidad de realizar un mantenimiento de la subestación, los

elementos o equipos que deberían someterse por lo general a un mantenimiento, son los siguientes:

- 1.- Transformadores.
- 2.- Tablero de control.

A continuación se indicaran con mayor detalle los puntos más importantes que tienen lugar en el mantenimiento de cada uno de los equipos mencionados anteriormente.

### **Mantenimiento del Transformador.**

- 1.- Inspección del nivel de aceite del tanque.
- 2.- Localización de posibles escapes de aceite.
- 3.- Limpieza y ajuste de conexiones.
- 4.- Limpieza de Bushings.
- 5.- Limpieza general.

### **Mantenimiento del tablero de control.**

- 1.- Inspección y limpieza de las barras de distribución.
- 2.- Inspección y limpieza de los dispositivos de protección (breakers).
- 3.- Limpieza y ajuste de sus conexiones.
- 4.- Limpieza general.

## Procedimiento para el Mantenimiento a Subestación Eléctrica

1.- Bajar cuchillas de la red de distribución de CFE

Figura 1



2.- Bajar cuclillas en la Subestación Eléctrica.

Figura 2



2.- Bajar Interruptor general.

Figura 3



4.- Limpieza de cable de potencia y baja tensión empleando alcohol y algodón

Figura 4



5.- Limpieza de buses de media tensión empleando algodón y alcohol.

Figura 5



6.- .lubricación de buses de media tensión.

Figura 6



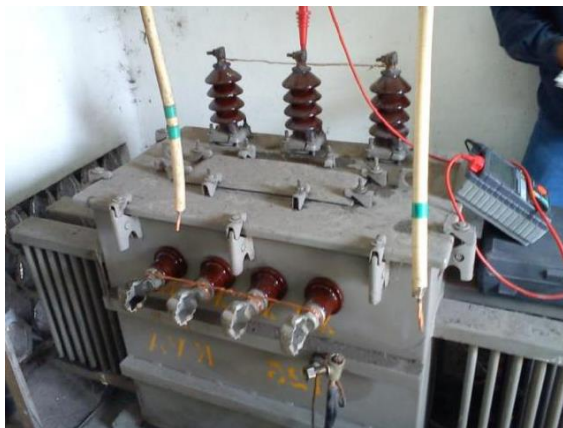
7.- remplazo del eslabón fusible de acuerdo a los requerimientos de la planta

Figura 7



8.- limpieza de las boquillas y lubricación de aisladores empleando algodón y alcohol.

Figura 8



9.- lubricación de las boquillas.

Figura 9



10.- Limpieza y revisión de los conductores empleando algodón y alcohol

Figura 10



11.- Limpieza de banco de capacitores.

Figura 11



12.- Limpieza de los interruptores termo magnéticos y lubricación de los mismos empleando algodón y alcohol.

Figura 12



13.- limpieza de los transformadores empleando algodón y alcohol

Figura 13



14.-revisión y reapriete de las conexiones

Figura 14



15.- Revisión y reapriete de las boquillas.

Figura 15



16.- Hacer pruebas eléctricas megger, aislamiento y resistencia de transformadores

Figura 16



17.- Pintura a travesaños e interior de subestación eléctrica.

Figura 17



18.- Subir cuchillas de Subestación Eléctrica.

Figura 18





19.- Subir cuchillas a la red de distribución de CFE

Figura 19



**TABLA 3.17** Procedimiento de mantenimiento.

**FUENTE.** Propia

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

De la presente Investigación se derivaron las siguientes conclusiones:

El plan de mantenimiento que contempla actualmente la empresa Iss Facility S.A de C.V. está basado en los criterios de la frecuencia, y bajo inspección, por lo cual dicho plan de mantenimiento tiene un buen resultado y alta confiabilidad, debido a que los mantenimientos a los equipos de potencia se realizan con frecuencia para que la confiabilidad del sistema aumente, por lo que también los costos de mantenimiento aumenta.

La técnica utilizada para la elaboración del plan de mantenimiento fue el mantenimiento centrado en la confiabilidad ya que este se adapta a las necesidades y requerimientos de la empresa para preservar sus equipos en óptimas condiciones, así como la reducción de costos en el mantenimiento de sus equipos.

El estudio de las pruebas realizadas a los equipos de potencia (transformadores) en la subestación de la empresa nos dicen que los equipos se encuentran en condiciones normales en equipos en funcionamiento.

El plan de mantenimiento Utilizando la técnica de mantenimiento centrado en la confiabilidad, dio como resultado que los equipos que componen la subestación requieren un mantenimiento a condición, es decir, que el tipo de mantenimiento a realizar dependerá en los transformadores de los resultados de las pruebas realizadas.

Los cálculos y análisis de confiabilidad eléctrica se enfocaron de forma tal que puedan predecir las fallas futuras para la selección correcta del mantenimiento en los interruptores de las subestaciones.

El análisis realizado en el Statgraphics permite conocer que el comportamiento de falla de los interruptores está basado en una distribución Weibull y esto resulta importante pues utilizando esta distribución se pueden predecir futuras fallas.

La metodología propuesta puede aplicarse en otras subestaciones eléctricas.

## 4.1 Resultados

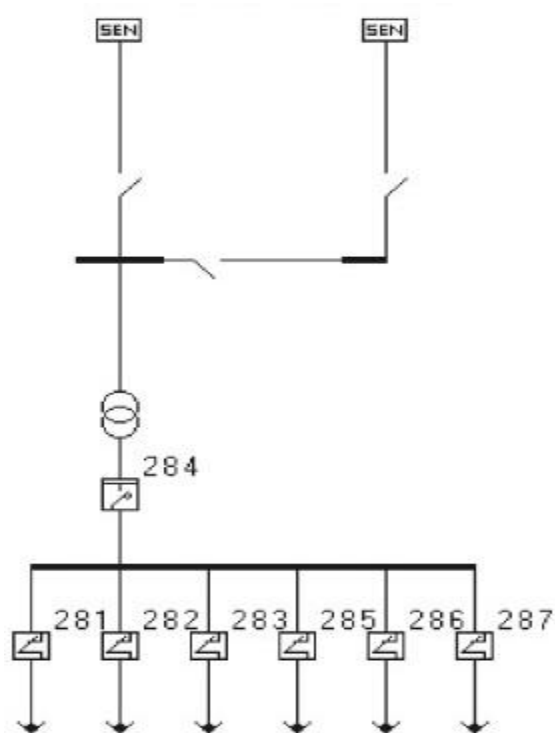
El análisis de confiabilidad de una Subestación involucra arreglos complejos de interruptores, debido a esto es necesario desarrollar modelos que consideren el efecto de la operación de estos dentro de una configuración específica de la subestación. En este trabajo se realiza el análisis de la confiabilidad de una subestación predeterminada mediante una propuesta de metodología que consta del uso de varios métodos de obtención de confiabilidad.

### **Primer paso.**

#### **Caracterizar la Subestación a evaluar.**

En este paso se realiza un estudio con datos procedentes de una Subestación y se logra obtener la cantidad de veces en que los interruptores de dicha Subestación operaron debido a fallas externas, además de la cantidad de veces que estos no respondieron positivamente a dichas fallas, o sea, que fallaron ellos. Este estudio se hace con datos obtenidos del registro de los libros de la subestación en un lapso de 22 meses.

La Subestación cuenta con siete interruptores que se distribuyen en un totalizador y seis interruptores de línea. La distribución de estos se muestra en la Figura 1 que aporta la suficiente información para comprender los análisis y procedimientos realizados.



**Figura 4.1.1.** Diagrama de la subestación.

**Segundo paso:**

**Calcular la probabilidad de fallo de los Interruptores de la Subestación**

En este paso se calcula la probabilidad de fallo de cada elemento independiente mediante el Método de la Razón Promedio de Falla y luego el de la Subestación en general. Los principales elementos de una Subestación son interruptores y transformadores; en estos últimos la ocurrencia de fallas es muy pequeña, por tanto tendremos en cuenta solamente los valores de falla aportados por los interruptores para calcular dicha probabilidad.

Generalmente la probabilidad se calcula como la relación existente entre la suma de días en que ocurrieron fallas y los días del año, pero en caso de los

interruptores se considera una falla cuando este no actúa de forma correcta ante una falla externa.

Podemos considerar la cantidad de fallas externas como la cantidad de operaciones que el interruptor realiza bajo condiciones de cortocircuito. Por tanto, podemos decir que la probabilidad de falla de un interruptor está dada por la relación que existe entre la cantidad de veces que no actúa de forma correcta ante una falla y la cantidad de veces que este actúa ante fallas externas en el lapso de un año.

$$P = \frac{\text{Cantidad de veces que no actúa de forma correcta}}{\text{Cantidad de veces que actúa ante fallas externas}} \quad (10)$$

De los resultados obtenidos en la Tabla 1 se infiere que cuando se tienen niveles significativos de operación la probabilidad de falla de los interruptores varía entre 0,02 y 0,04.

**Tabla 4. 2. 1.** Probabilidad de fallas y tiempo entre fallas de los interruptores.

Interruptores	Cantidad de fallas	Cantidad de operaciones	T en meses	Tiempo entre fallas. (MTBF)	Probabilidad fallas
284	0	2	22	-----	0
281	3	77	22	7,3333	0,0389
282	3	93	22	7,3333	0,0322
283	0	12	22	-----	0
285	11	410	22	2	0,0268
286	8	262	22	2,75	0,0305
287	7	275	22	3,1428	0,0254

Esto significa que los interruptores analizados pueden no actuar de forma correcta ante fallas externas en un rango del 2 al 4%.

$$\text{Media de operaciones} = \frac{\text{Cantidad total de operaciones}}{\text{Número de interruptores}} \quad (11)$$

Teniendo en cuenta que la media de operaciones en un año en la subestación estudiada es de 88,13 se puede inferir que existe la probabilidad de que cada una de los interruptores de la subestación falle entre 1,76 y 3,52 veces al año. Esta probabilidad nos daría un tiempo promedio entre fallas (MTBF) de 6,8 a 3,4 meses. Sin embargo, para los casos más críticos como el 285 se tiene una media de 223 operaciones al año y un promedio de falla de 5,96 fallas por año o lo que es lo mismo, un tiempo promedio entre fallas de aproximadamente dos meses.

El tiempo entre fallas se puede calcular dividiendo el total de mala operación entre el total de veces que debió operar.

$$MTBF = \frac{\text{Total de mala operación}}{\text{Total de veces que debió actuar}} \quad (12)$$

Para calcular la probabilidad de fallo de la subestación en general, o lo que es lo mismo, su confiabilidad, bastaría con multiplicar los valores de probabilidad de fallo de los interruptores por los del totalizador 284 y seleccionar el mayor valor, ya que el plano de la subestación en cuestión es sencillo y no consta de elementos en paralelo. Todos los interruptores (281, 282, 283, 285, 286, 287) se encuentran en serie con el totalizador 284 y, por tanto, la probabilidad de que la subestación falle es el mayor producto de la probabilidad de falla del totalizador y de uno de los interruptores. Sin embargo, de acuerdo con los datos obtenidos, el totalizador realiza muy pocas operaciones de apertura y recierre ante fallas externas y no se reportaron problemas en su funcionamiento, por lo que no se puede considerar

ninguna falla del totalizador; no obstante la probabilidad de falla de este no se puede considerar 0.

La confiabilidad en cuestión también se perjudica si los interruptores fallan pues se deja de servir energía, por tanto, no se puede decir que la confiabilidad sea buena o mala en dicha subestación. Con un estudio más prolongado de los interruptores en la subestación se puede obtener valores de fallo para el totalizador y por tanto se lograría conseguir un valor de confiabilidad de la subestación mucho más acorde con la realidad.

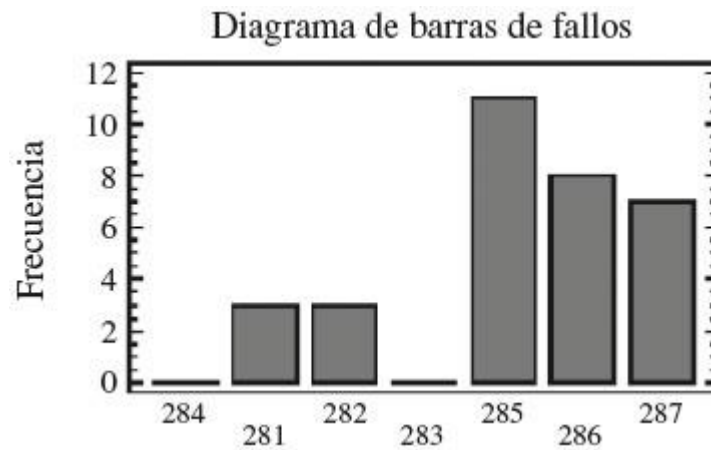
**Tercer paso:**

### **Evaluación cuantitativa de la confiabilidad, mediante la utilización del Programa Estadístico Statgraphics**

Usando las bondades del software se obtiene el diagrama de presentación a través de un gráfico de barras que muestra la frecuencia de fallos por interruptores.

Teniendo en cuenta que la mayor cantidad de operaciones y fallos está concentrada en los interruptores 285, 286 y 287 como se muestra en la Figura 2, se procede a realizar con ellos el análisis pertinente mediante la aplicación del programa estadístico Statgraphics.





**Figura 4.1.3** Frecuencia de fallos de los interruptores.

En la Tabla 2 se muestra 95,0% intervalos de confianza para las medias y desviaciones típicas para cada una de las variables. Los intervalos asumen que las poblaciones de las que proceden las muestras pueden representarse por distribuciones normales.

**Tabla 4.1.4** Intervalos de confianza del 95% de confiabilidad para la media y la desviación típica.

Interruptores	Media error	Estándar	Límite inferior	Límite superior
286	29,0	4,0444	19,4365	38,5635
287	34,375	4,29259	24,2246	44,5254
285	39,875	5,26253	27,4311	52,3189
	Sigma	Límite Inferior	Límite Superior	
286	11,4393	7,56335	23,282	
287	12,1413	8,0275	24,7108	
285	14,8847	9,84136	30,2944	
95,0 Intervalos de confianza				

Mientras que los intervalos de confianza para las medias son bastante robustos y no muy sensibles a las violaciones de este supuesto, los intervalos de confianza para las desviaciones típicas son bastante sensibles.

A partir de aquí se verifican los supuestos de normalidad en el procedimiento para todos los interruptores mediante un Análisis Unidimensional, solo se muestra el 285.

### Resumen del Análisis

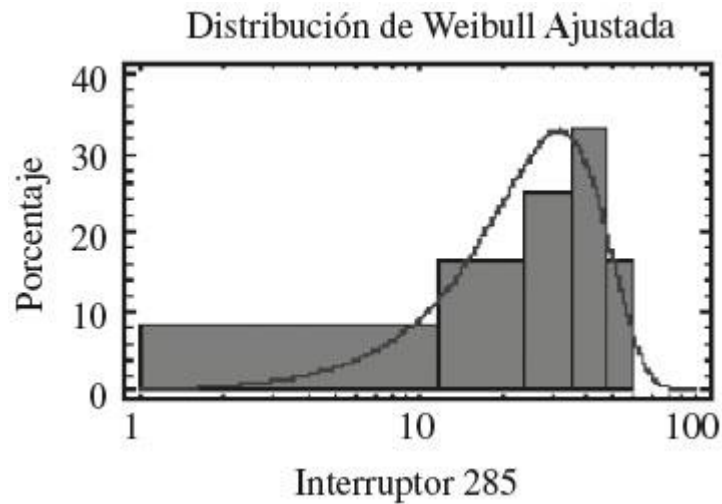
Datos: **Interruptor 285**, Método de Estimación: máxima probabilidad, Tamaño de la muestra=12, Número de fracasos =12, Forma Estimada = 2,63325; Escala Estimada = 38,4402; Punto Inicial = 0,0

En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos en el StatAdvisor indicando los tests ejecutados para determinar si el interruptor 285 puede ser modelado adecuadamente por distribución de Weibull. El test chi-cuadrado divide el rango de interruptor 285 en intervalos no solapados y compara el número de observaciones en cada clase con el número esperado basado en la distribución ajustada. El test de Kolmogorov-Smirnov calcula la distancia máxima entre la distribución acumulada del Interruptor 285 y el CDF de la distribución de Weibull ajustada.

**Tabla 4.1.5** Test de bondad de ajuste para interruptor 285. Contraste chi-cuadrado.

Límite Inferior	Límite Superior	Frec. Observ	Frec. Esperada	Chi <sup>2</sup>
menor o igual	21,7472	3	2,40	0,15
21,7472	29,7851	2	2,40	0,07
29,7851	37,1849	2	2,40	0,07
37,1849	46,0545	2	2,40	0,07
mayor	46,0545	3	2,40	0,15

En este caso, la distancia máxima es 0,152223. Los otros datos estadísticos EDF comparan de diferentes maneras la función de distribución empírica con el CDF ajustado. Dado que p-valor más pequeño de los test realizados es superior o igual a 0,10, no podemos rechazar que el Interruptor 285 proceda de una distribución de Weibull con un nivel de confianza de al menos un 90% como se muestra en la Figura 3



**Figura 4.1.5** Distribución de Weibull Ajustada al Interruptor 285.

Los interruptores analizados presentan una distribución Weibull, lo cual nos permite calcular la probabilidad de que funcione al menos un tiempo específico bajo condiciones experimentales dadas en el tiempo ( $t$ ), y nos permite pronosticar la probabilidad de que un componente dado funcione después de un determinado tiempo.

## 4.2 Trabajos Futuros

En este apartado damos por concluido el manual de mantenimiento preventivo y correctivo a subestación eléctrica de la empresa Iss Facility S.A de C.V, por lo cual únicamente se dejan recomendaciones en el siguiente punto.

## 4.3 Recomendaciones

Aplicar la técnica de mantenimiento centrado en la confiabilidad para el diseño de los planes de mantenimiento.

Realizar el estudio de las subestaciones de mayor importancia para la empresa.

Capacitar al personal encargado de elaboración del plan de mantenimiento ya los ejecutores con respecto a la técnica de mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Capacitar el personal en la operación y ejecución del nuevo proceso de mantenimiento.

Llevar control de las pruebas realizada a los equipos de potencia para conocer el estado en que estos se encuentran así como el comportamiento de estos a través de los años.

Tomar en cuenta los estándares de mantenimiento en el momento de la planificación y ejecución del mismo.

Establecer criterios para que las labores realizadas por contratistas lleven un informe detallado de las labores realizadas por estos.

## ANEXOS

FIGURA 1.8.1 Imagen aérea de la ubicación de la empresa.....	Pág. 18
FIGURA 2.1 Diagrama Elemental de una subestación industrial. ....	Pág. 22
FIGURA 3.1 Transformador.....	Pág. 31
TABLA: 3.2 Placa de transformador.....	Pág. 30
FIGURA 3.3 Tablero Principal de subestación. ....	Pág. 34
FIGURA 3.4 Tablero Principal de subestación.....	Pág. 35
TABLA 3.5 Formato de lista de chequeo.....	Pág. 37
FIGURA 3.6 Representación gráfica de cortocircuito.....	Pág. 39
TABLA 3.7 Procedimiento de cálculo de cortocircuito.....	Pág. 40
FIGURA 3.8 Trayectoria de la corriente a través del cuerpo humano.....	Pág. 44
FIGURA: 3.9 Contacto eléctrico directo.....	Pág. 47
FIGURA 3.10 Contacto eléctrico Indirecto.....	Pág. 48
FIGURA 3.11 Interruptor diferencial.....	Pág. 51
FIGURA 3.12 Generación de arco eléctrico.....	Pág. 52
FIGURA 3.13 Efectos ocasionados por el arco eléctrico.....	Pag.53
FIGURA 3.14 Tipos Sobretensiones externas.....	Pág. 58
TABLA 3.15 Equipo de protección personal.....	Pág. 62
TABLA 3.16 Distancias de trabajo.....	Pág. 68

Tabla 3.17 Procedimiento de mantenimiento.....	Pág. 85
Figura 4.1.1. Diagrama de la subestación.....	Pág. 89
Tabla4.2.1 Probabilidad de fallas y tiempo entre fallas de los interruptores.....	Pág. 90
Figura4.1.3 Frecuencia de fallos de los interruptores.....	Pág. 93
Tabla 4.1.4 Intervalos de confianza del 95% de confiabilidad.....	Pág. 93
Tabla 4.1.5 Test de bondad de ajuste para interruptor 285.....	Pág. 95
Figura 4.1.5 Distribución de Weibull Ajustada al Interruptor 285.....	Pág. 96



## BIBLIOGRAFÍA

Información otorgada por parte de la empresa Iss Facility S.A de C.V

Hernández, P., & Carro, M., & Montes de Oca, J., & Fernández, S. (2008). Optimización del mantenimiento preventivo utilizando las técnicas de diagnóstico integral. Fundamento teórico- práctico. *Ingeniería Energética*, XXIX (2), 14-25. <http://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=329127758003>.

Castro, M. (2010). La seguridad eléctrica y los sistemas eléctricos. *Ingeniería Energética*, XXXI (1), 10-18. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=329127743002>.

Registro histórico por circuitos de las fallas en interruptores. OBE Provincial. Camagüey, Cuba.2009

[https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=3528504&pid=S0718-3305201300020001000004&lng=es](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=3528504&pid=S0718-3305201300020001000004&lng=es)

B.A. Calderón. "Conceptos básicos del Statgraphics", p. 25. 2009. Fecha de consulta: 17 de Noviembre 012

<http://www.unizar.es/3w/Materiales/doctorado/Manualstatg2.1.pdf>