

# **Riesgos por las Tensiones de Paso y de Contacto con Valores Substandares en una Subestación Eléctrica de 13,8 KV a 0,24/0,12 KV.**

Jhon Eugenio Panchana <sup>(1)</sup>  
Ing. Juan Gallo Galarza, Profesor de Materia de Graduación <sup>(2)</sup>  
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación <sup>(1)(2)</sup>  
Escuela Superior Politécnica del Litoral <sup>(1)(2)</sup>  
Cdla. José Tamariz Av. 7 Calle 34, La Libertad, Ecuador <sup>(1)</sup>  
Campus Gustavo Galindo Km. 30.5 Vía Perimetral, Guayaquil, Ecuador <sup>(2)</sup>  
[jeugenio@espol.edu.ec](mailto:jeugenio@espol.edu.ec) <sup>(1)</sup>, [jgallo@espol.edu.ec](mailto:jgallo@espol.edu.ec) <sup>(2)</sup>

## **Resumen**

*El presente trabajo muestra el análisis de los riesgos por las tensiones de paso y de contacto en la subestación Libertad, ubicada en la ciudad de La Libertad provincia de Santa Elena, en la planta de la Corporación Nacional de Electricidad Regional Santa Elena. Las áreas Técnica, Recaudaciones, Contabilidad, Planificación, así como el pódico de 13,8 kV y del banco de transformadores forman parte del presente análisis. Primeramente se realizó una inspección visual de las áreas anteriormente mencionadas para identificar los factores de riesgos que puedan incidir en la generación de las tensiones de paso y de contacto, esto con el fin de realizar los cálculos de la evaluación de riesgos mediante los Check List. Luego con la información obtenida se procedió a realizar la aplicación de la valorización de riesgos mediante la metodología de valorización Fine. Finalmente con los resultados obtenidos proceder a tomar los controles y medidas para minimizar los riesgos.*

**Palabras Claves:** *Riesgo, tensiones de paso, tensiones de contacto, check list, puesta a tierra.*

## **Abstract**

*The present work shows the analysis of the risks in passing for the tensions and of contact in the substation Libertad, located in the city of Santa Elena's La Libertad county, in the plant of the National Corporation of Regional Electricity Santa Elena. The areas Technique, Collections, Accounting, Planning, as well as the piazza of 13,8 kV and of the bank of transformers they are part of the present analysis. Firstly one carries out a visual inspection of the areas previously mentioned to identify the factors of risks that can impact in passing in the generation of the tensions and of contact, this with the purpose of carrying out the calculations of the evaluation of risks by means of the Check List. Then with the obtained information you proceeded to carry out the application of the appraisalment of risks by means of the appraisalment methodology it Fine. Finally with the obtained results to proceed to take the controls and measures to minimize the risks.*

**Key words:** *Risk, tensions in passing, tense of contact, check list, setting to earth.*

## 1. Introducción

Las subestaciones son parte fundamental en lo que respecta a distribución eléctrica, cuyas condiciones de operación y especificaciones de diseño están sujetas por las características eléctricas que presentan la diversidad de carga que están conectadas a ella, es por esto que cuando ocurre una variación en los niveles de voltaje (sobretensión) que exceda al de operación, estas instalaciones son sometidas a fluctuaciones que puedan interrumpir el suministro total o parcial de energía, además de poner en riesgo al personal que en ella labora.

Es por ello que las subestaciones deben estar bajo el cumplimiento de reglamentación en cuanto a normas de diseño y construcción se refiere, con la finalidad de que desde el punto de vista de la seguridad, el riesgo para los obreros y operarios de dichas instalaciones sea mínimo.

El cumplimiento de las normas en las subestaciones eléctricas no solamente debe centrarse en lo que respecta a la red de Alta Tensión, sino debe abarcar también a la red de Baja Tensión, es por esto que la persona encargada del diseño de una instalación eléctrica debe tener presente los riesgos por estas tensiones con el fin de precautelar la seguridad de las personas.

## 2. Peligros y Riesgos en instalaciones eléctricas <sup>[1]</sup>

### Riesgo

Es la fuente o situación que tiene un potencial de producir un daño provocando una lesión o enfermedad, daño a propiedad, daño al ambiente del lugar de trabajo, o a una combinación de estos

### Peligro

Es la combinación de la frecuencia o probabilidad de un peligro por fallas en la instalación o en las protecciones eléctricas y las consecuencias pueden derivarse en un daño a personas y equipos.

### Fuentes de peligro en instalaciones eléctricas <sup>[2]</sup>

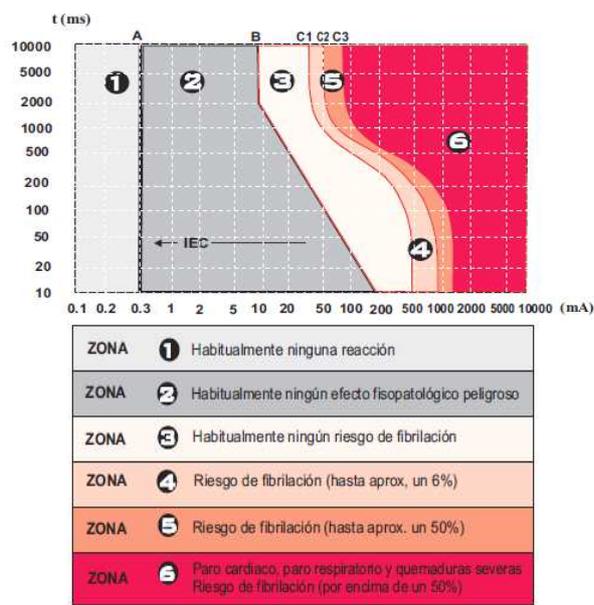
Se denomina fuente de peligro a toda situación que pueda causar un daño a personas o equipos. Entre las que se presentan en las instalaciones eléctricas podemos mencionar las siguientes:

- Defectos en el aislamiento de los conductores
- Falta de puesta a tierra en equipos
- Violación de distancias de seguridad
- No uso de los Equipos de Protección Personal (EPP)
- Almacenamiento de materiales inflamables en el cuarto de un transformador
- Falta de iluminación en lugares donde se almacenan equipos eléctricos
- Malas conexiones eléctricas
- Falta de mantenimiento en equipos

- Acceso a equipos eléctricos con elementos desnudos

### Efectos fisiológicos de la corriente eléctrica <sup>[3]</sup>

Las consecuencias del paso de la corriente por el cuerpo pueden ocasionar desde lesiones físicas secundarias (golpes, caídas, etc.), hasta la muerte por fibrilación ventricular. En la siguiente figura se detalla las zonas de los efectos de la corriente alterna de 15 Hz a 100 Hz.



**Figura 1.** Zonas tiempo/corriente de los efectos de las corrientes alternas de 15 a 100 Hz.

Fuente: Norma Técnica Colombiana, NTC Abril 16, 1997, Efectos de la corriente sobre los seres humanos.

### Metodología de valoración Fine <sup>[4]</sup>

Este método permite establecer prioridades entre las distintas situaciones de riesgo en función del peligro causado, por lo que se podría decir que es un método cuantitativo. Primero se realiza la identificación de riesgos mediante el CHECK LIST, para luego ser valorizados posteriormente por el método FINE.

### Cálculo de la gravedad del riesgo

El cálculo de la gravedad del riesgo considera tres factores cuya ecuación es la siguiente:

$$GR = P * E * C$$

GR=Gravedad del riesgo

P=Probabilidad de que el riesgo se produzca, tomando en cuenta la frecuencia del suceso

E=Exposición

C=Consecuencia que podría producir si se da el riesgo

### Tabla de evaluación del riesgo

La evaluación de la gravedad del riesgo, basada en las experiencias pasadas y actuales, esto se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 1.** Tabla de evaluación del riesgo

Gravedad del riesgo	Clasificación del riesgo
Más de 400	Riesgo muy alto
De 200 a 400	Riesgo alto
De 70 a 200	Riesgo substancial
De 20 a 70	Riesgo posible
Menos de 20	Riesgo aceptable

### 3. Tensiones de paso y de contacto <sup>[5]</sup>

#### Tensión de paso

Podemos definir objetivamente a la tensión de paso como la máxima diferencia de potencial entre los puntos que están haciendo contacto los dos pies de una persona, con una separación de un metro, que se encuentra caminando en el área de la subestación al ocurrir una falla de fase a tierra.

#### Tensión de contacto

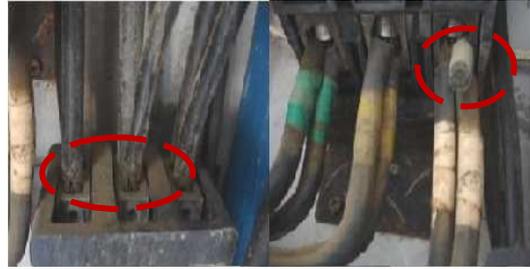
Podemos definir a la tensión de toque como la máxima diferencia de tensión entre el punto de contacto de los pies de una persona que se encuentra parada en el área de la subestación y el punto de contacto de una o de sus dos manos al tocar una estructura metálica cuando ocurre una falla de fase a tierra.

### 4. Cálculos de la evaluación y valorización de riesgos de las tensiones de paso y de contacto

Básicamente consistió en registrar en las listas de verificación (check list), los problemas encontrados en las áreas analizadas en base a las normas consultadas sobre el montaje, disposición y condiciones de operación del equipo eléctrico existente. A continuación, en las siguientes figuras se muestran los problemas encontrados:



**Figura 2.** No hay restricción de acceso a pódico de 13,8 Kv



**Figura 3.** Conductores sulfatados y no retirados



**Figura 4.** Conductores en contacto con el agua y maleza



**Figura 5.** Tableros sin señalización de advertencia de riesgo eléctrico

### 5. Aplicación de valorización de riesgos

Para la valorización de riesgos se tuvo presente la información obtenida en los Check list y las normas National Electric Code (NEC 2002), Norma Oficial Mexicana (NOM 001-2005), Instrucción Técnica Complementaria (MIE – RAT 14), Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE 5ta actualización 2008), NTP399.010 (Norma Técnica Peruana).

#### Resumen del check list

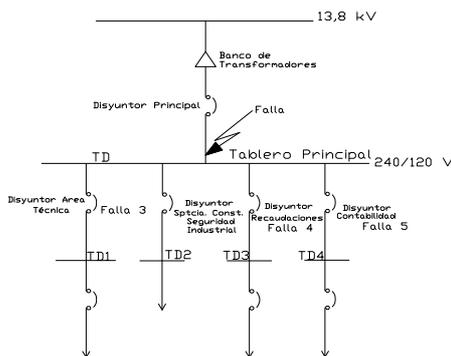
En la siguiente tabla se muestra el porcentaje de las normas que se cumplen en las áreas consideradas para el análisis, teniendo presente que una instalación segura debe cumplir con el 100% de las normas y una instalación segura y aceptable debe cumplir más del 80% de las normas, todos los valores menores al 50% son considerados como críticos.

**Tabla 2.** Resumen de la evaluación del check list

Evaluación del check list				
Área de análisis	de	Normas cumplidas	Total	Porcentaje
Pórtico de 13,8 kV		6	9	66,66
Cuarto de transformadores		6	13	46,15
Área Técnica		5	11	45,15
Área de Recaudaciones		4	10	40
Área de Contabilidad y Planificación		3	8	37,5

**Cálculo de falla**

El cálculo se lo realiza en el banco de transformadores, para obtener en qué medida contribuye la corriente de cortocircuito en la generación de las tensiones de paso y contacto.



**Figura 6.** Punto de falla en red de baja tensión

**Tabla 3.** Datos de conexión en baja tensión

Característica	Unidades	Valores
Tiempo de despeje de la falla $t_f$	Seg.	0,5
Temperatura máxima de operación	°C	450
Temperatura ambiente	°C	40
Corriente a plena carga en el secundario del transformador	A	156,25
Corriente monofásica de cortocircuito	A	2139,8751

**Aplicación de valorización Fine**

Una vez identificado los riesgos que pueden derivar en la generación de las tensiones de paso y de contacto en las áreas analizadas y registrarlas en la respectiva hoja del Check List, procedemos a hacer la valoración

de los mismos mediante la metodología FINE, cuyo resumen se muestra en la siguiente tabla:.

**Tabla 4.** Resumen del nivel de riesgo

Área de análisis	Magnitud del riesgo	Nivel del riesgo
Pórtico de 13,8 kV	102	Riesgo substancial
Cuarto de transformadores	69,6	Riesgo substancial
Área Técnica	177	Riesgo substancial
Área de Recaudaciones	130	Riesgo substancial
Área de Contabilidad y Planificación	132	Riesgo substancial

**5. Controles y medidas para minimización de riesgos.**

**Interruptor diferencial [6]**

Este dispositivo de protección consiste en el corte automático de la instalación en un tiempo lo más corto posible, a partir del momento en que aparece una tensión peligrosa entre la masa y un punto de tierra que está a potencial cero.

El interruptor diferencial tiene sensibilidad para detectar fugas de corriente de 30 mA y cortar el suministro de corriente al circuito en un tiempo de 30 ms., también previene el riesgo de incendio.

**Diseño de puesta a tierra [7]**

La puesta a tierra es una de las principales defensas ante choques eléctricos accidentales y sobre voltajes inesperados en un sistema eléctrico. Una correcta instalación de la puesta a tierra en los equipos instalados ayuda a reducir la probabilidad de que algún trabajador o persona en general sufra un choque eléctrico accidental por fallas internas del equipo.

En la siguiente tabla se muestran los resultados de las tensiones de paso y de contacto, tolerables y en caso de falla, las cuales se obtuvieron con la ayuda de un programa realizado en Excel, un aporte realizado por el grupo Telergia.

**Tabla 5.** Malla de puesta a tierra

Característica	Unidades	Valores
GPR (máximo potencial a tierra)	V	2511
Tensión de paso tolerable	V	5410
Tensión de contacto tolerable	V	1519
Tensión de contacto en caso de falla	V	344
Tensión de paso en caso de falla	V	233

Como podemos apreciar, el máximo potencial de tierra GPR es mayor que la tensión de contacto tolerable y la tensión de contacto en caso de falla está por encima del valor de las máximas tensiones de contacto permitidas, teniendo que volver rediseñar la malla de puesta a tierra, para que estos valores se encuentren dentro de las normas aceptadas.

**Tabla 6.** Rediseño de malla de puesta a tierra

Característica	Unidades	Valores
GPR (máximo potencial a tierra)	V	1150
Tensión de paso tolerable	V	5410
Tensión de contacto tolerable	V	1519
Tensión de contacto en caso de falla	V	143
Tensión de paso en caso de falla	V	106

### Símbolos eléctricos y señalización de seguridad <sup>[8]</sup>

El objetivo de las señales de seguridad es transmitir mensajes de prevención, prohibición o información en forma clara, precisa y de fácil entendimiento para todos, en una zona en la que se ejecutan trabajos eléctricos o en zonas de operación de maquinas, equipos o instalaciones que entrañen un peligro potencial.

Para la señalización que se recomienda para advertencia de riesgos se tienen los pictogramas cuya forma es triangular y son de color negro sobre un fondo amarillo (el amarillo deberá cubrir, al menos, el 50 % de la superficie de la señal), con bordes de color negro como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 7.** Señalización de advertencia

La señalización que indique prohibición tiene el pictograma cuya forma es redonda sobre un fondo blanco y son de color negro con un borde de color rojo y una banda del mismo color, como la que se muestra en la siguiente figura:



**Figura 8.** Señalización de prohibición

La señalización que indique obligación tiene el pictograma cuya forma es redonda con un fondo azul y son de color blanco o azul como se muestra a en la figura:



**Figura 9.** Señalización de obligación

### Cableado y equipo eléctrico

Básicamente se tiene que corregir el inconveniente que representa la presencia de conductores en contacto con el agua, y también el paso de los mismos a través de tubo pasante además de disponer de la seguridad en los lugares donde se encuentran los equipos para el sistema de aire acondicionado para que no sean de fácil acceso a personal autorizado.

## 6. Agradecimientos

Agradezco a todas las personas que de una u otra forma colaboraron en la realización de este trabajo, en especial a los departamentos de Construcciones y Gerencia de Operaciones de CNEL Santa Elena por las facilidades prestadas durante el desarrollo del mismo.

## 8. Referencias

- [1] Joachim Seefeldt Ribbet, Calidad, Seguridad y Medio Ambiente, <http://www.mailxmail.com/cursoPdf.cfm?gfnameCurso=calidad-seguridad-medio-ambiente&bPagoPdf=false>, Noviembre del 2009.
- [2] Enrique Ahumada Montero, Dispositivos Eléctricos de Seguridad, [http://www.mundodescargas.com/apuntes-trabajos/electronica\\_electricidad\\_sonido/decargar\\_dispositivos-electricos-de-seguridad.pdf](http://www.mundodescargas.com/apuntes-trabajos/electronica_electricidad_sonido/decargar_dispositivos-electricos-de-seguridad.pdf), Noviembre del 2009.
- [3] Electroinstalador Revista, Los Riesgos de la Corriente Eléctrica <http://www.electroinstalador.com/revista/pdf.php?num=36&pag=12>, Enero 2010.
- [4] Eddie Morocho, Carlos Espinoza, Tópico de graduación: “Estudio de los factores de riesgo y prevención en una subestación eléctrica”, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2009.
- [5] United States of Agriculture, Design Guide For Rural Substations, Rus Bulletin, June 2001.
- [6] Catu – Paris, Safety and Maintenance Equipment for electrical lines and installations, [http://www.mundodescargas.com/apuntes-trabajos/electronica\\_electricidad\\_sonido/decargar\\_dispositivos-electricos-de-seguridad.pdf](http://www.mundodescargas.com/apuntes-trabajos/electronica_electricidad_sonido/decargar_dispositivos-electricos-de-seguridad.pdf), Febrero del 2010

- [7] Telergia, Tomas de Tierra y Protecciones Contra Sobretensiones en Estaciones Base, [www.telergia.blogspot.com](http://www.telergia.blogspot.com), Diciembre del 2009.
- [8] Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales, Señales de Seguridad, INDECOPI, Febrero 2004.

## 9. Conclusiones y resultados

La correcta aplicación y conocimiento de las normas, ayudan a reglamentar la construcción o montaje, en nuestro caso en particular de acuerdo al análisis efectuado, de cualquier centro de transformación o distribución de energía (subestaciones) e instalaciones eléctricas.

En base al análisis y cálculos de la malla de puesta a tierra para la subestación, se observa que el riesgo por las tensiones de paso es mínimo puesto que el valor obtenido es menor que el valor admisible debido principalmente a la alta resistividad de la superficie de concreto, rediseñando la malla de tierra debido a que la tensión de contacto y el máximo potencial de tierra (GPR) no se situaban dentro del rango, corrigiendo esto con una mayor geometría de la malla.

Por medio de los cálculos se observa que aumentando el número de electrodos en el contorno de la malla, disminuye la tensión de paso y de contacto.

De acuerdo a lo anterior se tiene la importancia de dicho sistema para proporcionar una confiabilidad, continuidad y seguridad al sistema eléctrico, como a los operadores, manteniendo un medio de baja impedancia el cual permita disipar las corrientes eléctricas a tierra.

Es importante contar con un control de riesgos, no solamente en lo que respecta a alta tensión, sino también en baja tensión debido a la exposición de equipos con elementos desnudos al público en general.

Los niveles de gravedad de cada riesgo nos ayudan a seleccionar las áreas que tienen mayor peligro y encontrar las soluciones adecuadas para minimizar el mismo.

La correcta señalización y delimitación de las áreas de trabajo, así como el uso adecuado de los EPP ayuda a precautelar la integridad física de los trabajadores y público en general.

Por otro lado, una recomendación que hay que mencionar es que en los tableros de distribución que se encuentran en las áreas Técnica, Recaudaciones y Contabilidad se requiere su reubicación por ser de fácil manipulación y por no cumplir con las normas que establece el NEC en cuanto a ubicación, además de al sitio donde se encuentra el banco de transformadores, se requiere dotar de iluminación, una ventilación adecuada, reemplazar o reparar el tablero existente, actualizar y dotar de las señalizaciones adecuadas como lo establece la norma NTP399.010 en cuanto a forma, pictogramas y colores, así como prohibir el almacenamiento de materiales que son ajenos a los instalación eléctrica.