

EFFECTOS PELIGROSOS EN PRESENCIA DE ARCOS ELÉCTRICOS EN TABLEROS DE DISTRIBUCIÓN

Ing. Juan Gallo¹, Carlos Carrasco², José Luis Cruz³
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación (FIEC)
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, vía Perimetral Km. 30.5, Guayaquil, Ecuador.
jgallo@espol.edu.ec¹, ccarrasc@espol.edu.ec², jlacruz@espol.edu.ec³

Resumen

Este proyecto consiste fundamentalmente en el análisis cuantitativo del riesgo de quemaduras producidos por un Arco Eléctrico en un tablero de distribución como implementación de Seguridad Eléctrica en la planta procesadora de acero IPAC S.A.

Los datos técnicos se los obtuvo del tablero de distribución principal de la Planta 2 y para su desarrollo nos hemos basado en normas y códigos como el NFPA y la IEEE en donde se toma en consideración las obligaciones del trabajador y el empleador.

Al final de este análisis se medirán los niveles de energía incidente (quemaduras) en los que una persona podría estar sometida si no tuviese la debida preparación o uso del EPP adecuado.

Abstract

This project consists fundamentally on the quantitative analysis of the risk of burns by an Arc Flash in a distribution board like implementation of Electric Security in the industry IPAC S.A.

The technical data were obtained of the main board distribution of Plant 2 and to their development we have based on norms and codes like NFPA and IEEE where their takes in consideration the worker's obligations and the employer.

At the end of this analysis the levels of incident energy (burns) will be measured in a person could be subjected if doesn't have the due preparation or use of appropriate EPP.

1. Introducción

Recientemente con el incremento de los daños, pérdidas humanas y pérdidas económicas que son causadas por el arco eléctrico, se ha puesto especial interés en los equipos que operan a diferentes niveles de voltaje donde la energía incidente producida por el arco eléctrico es directamente proporcional al tiempo de duración del arco.

Reducir el tiempo de exposición del arco eléctrico tiene un beneficio muy bueno en la reducción del nivel del equipo de protección personal (PPE) y de los daños directos y colaterales de los equipos.

Este criterio es el que detallaremos en nuestro análisis de arco eléctrico en el tablero de distribución principal de la Planta #2 IPAC S.A ubicado en el Km 10.5 vía Daule. Se trata de un sistema de alimentación en media tensión de 13.8 KV, con secundario entregando 380V. Esta planta tiene 7 años de estar constituida y hemos encontrado algunos riesgos evidentes al no contar con

especificaciones de etiquetado de advertencia, normas de seguridad que se detallan más adelante en el análisis de esta tesis.

2. Normas Aplicadas para evitar los riesgos de arco eléctrico

1. Normas de OSHA 29-CFR, Parte 1910. Seguridad y salud. 1910 parte Sub S (eléctrico)
2. El Código Eléctrico Nacional (NEC).
3. La Agencia Nacional de Protección contra Incendios NFPA 70E
4. El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) desde 1584 hasta 2002.

2.1 Qué es un arco eléctrico

Un arco eléctrico es una corriente eléctrica que fluye a través de un arco, fuera de su camino normal, donde el aire se convierte en el conductor de una elevada

energía térmica (más de 5.000 grados Celsius) y genera un plasma de alta conductividad.



Fig. 1 Ejemplo de arco eléctrico en panel de distribución

2.2 Análisis del arco eléctrico

El análisis del arco eléctrico determinará, el potencial de la energía incidente en el disyuntor principal del tablero de distribución eléctrica, en este caso para nuestro análisis será el disyuntor principal del tablero de distribución de la planta #2 IPAC S.A.

2.3 Peligros del arco eléctrico

Los principales peligros que la energía eléctrica presenta son: el choque eléctrico (electrocución) y la explosión de arco (quemaduras).

La explosión de arco es la liberación de distintos tipos de energía concentrada como resultado de una falla. Se presenta irradiando intensamente (ráfaga de arco, segunda fase del fenómeno) luz ultra violeta, infrarroja, ruido a altos decibeles, partículas de metal fundido y una onda con gran presión, que impactan de distintas formas sobre el cuerpo humano. En estos eventos no existe el contacto directo, sino que es toda radiación. Estos fenómenos de arcos eléctricos pueden causar lesiones por la exposición a salpicaduras de metales fundidos, quemaduras de 3er grado por encendido, derretimiento de vestimenta y/o incendios secundarios, traumatismos físicos debido a la fuerza de explosión, daños en la audición y en la visión.

2.4 Identificación de los Peligros en las personas

La corriente eléctrica, al circular por el cuerpo humano, produce efectos fisiológicos conocidos como choque eléctrico, que van desde la simple contracción muscular o la destrucción de los tejidos por quemaduras hasta la fibrilación ventricular, como consecuencia de su acción sobre los órganos y sus mecanismos de funcionamiento.

2.5 Análisis de Peligros del Arco Eléctrico

Un análisis de peligros de Arco es "un método para determinar el riesgo de lesiones personales como

resultado de la exposición a la energía incidente en un flash de arco eléctrico", según la definición en el estándar IEEE 1584. Se lleva a cabo con el propósito de la prevención de lesiones y la determinación de prácticas seguras de trabajo y selección de los niveles adecuados de protección personal (PPE) de acuerdo con NFPA 70E.

2.6 Clases de Corto Circuito

Para que se produzca un choque eléctrico en una persona, ésta debe poner en conexión dos puntos de su cuerpo a puntos de distinto potencial eléctrico. Este cierre de circuito se puede producir de las siguientes causas:

- Se cortocircuitan dos conductores activos (fase y fase ó fase y neutro).
- Se cortocircuitan conductores activos y tierra.
- El cuerpo queda sometido a la diferencia de potencial existente entre dos masas o elementos conductores sometidos a potenciales distintos.

3 Evaluación de Riesgos del Arco Eléctrico

Existen varios métodos que se utilizan para la evaluación de riesgos, se clasifican en tres tipos cualitativo, cuantitativo y semi cuantitativos pero el método usado para es análisis es el cuantitativo:

Cuantitativo: Involucra el cálculo de probabilidad y algunas veces consecuencias, usando datos numéricos.

3.1 Evaluación de riesgos de arcos eléctricos en el tablero de distribución de 380V de la planta IPAC S.A.

Para hacer el análisis en los riesgos ocasionados en el tablero de alimentación principal de la planta #2 de la empresa IPAC. S.A., nos basaremos en los cálculos de los niveles de corto circuito en dicho tablero, la energía térmica que produciría un arco eléctrico, así como los efectos de presión y de sonido de dicha onda explosiva.



Tablero de distribución principal de 380 V

3.2 Descripción del método

Para el cálculo de los niveles de la corriente de corto circuito hemos decidido aplicar el “Método Punto a Punto”.

3.3 Método Punto a Punto

El punto de nuestro análisis estará en el lado del secundario del transformador de 500KVA.

$$I_{Linea-Linea} = \frac{KVA \times 1000}{V_{Linea-Linea} \times 1.732}$$

La corriente de corto circuito posible en el transformador, I_{sc} , es igual a la corriente de carga en el secundario del transformador por un multiplicador K

$$I_{sc} = I_{Linea-Linea} \times K$$

$$K: \text{ Es igual a } \frac{100}{\%Z}$$

Para determinar esta componente simétrica de la corriente de corto circuito,

$$I_{s.c. simetrica} = I_{s.c} \times M$$

3.4 Distancias de trabajo seguras

$$Ds = [2.65 \times MVA \times t]^{\frac{1}{2}}$$

$$Di = [1.96 \times MVA \times t]^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

Ds : Es la distancia en pies de la persona a la fuente del arco eléctrico para una quemadura curable

Di : Distancia en pies de la persona a la fuente del arco eléctrico para una quemadura incurable
 $MVA = 1.73 \times V_{Linea-Linea} \times$ Componente simétrica de corriente de corto circuito $\times 10^{-6}$.

t: Tiempo de exposición del arco en segundo,

3.4 Calculo de la energía incidente de un arco eléctrico.

$$EA = 5271DA^{-1.9593} \cdot T (0.0016F^2 - 0.0076F + 0.8939)$$

$$EB = 1038,7DB^{-1.4738} \cdot T (0.0093F^2 - 0.3453F + 5.9675)$$

Donde:

EA: Máxima energía incidente de un arco en un sistema al aire libre.

EB: Máxima energía incidente de un arco en un tablero o gabinete eléctrico.

DA: Distancia desde la persona hasta la fuente de arco eléctrico en pulgadas.

DB: Distancia desde la persona hasta la fuente de arco eléctrico, máximo 20 in de distancia.

T: Tiempo de interrupción del dispositivo de disparo que para nuestro análisis es el disyuntor VL 1250N.

F: Componente simétrica de la corriente de corto circuito para un rango de (16 a 50) KA.

3.5 Aplicación del método de análisis de riesgos

Datos:

Las características del transformador de voltaje de 500KVA son las siguiente:

Potencia: 500 KVA

Voltaje primario: 13.8KV

Amperaje primario: 20.92 Amp

Voltaje secundario: 380V.

Amperaje secundario: 759.69 Amp.

Impedancia de corto circuito (Z): 2.39

Clase: OA



Transformador de 500KVA IPAC S.A.

Fuente: IPAC S.A.

El tiempo de retardo de desconexión Tsd: 0.4seg.

Capacidad de protección: 1000Amp

$$I_{Linea-Linea} = \frac{500 \times 1000}{380 \times 1.732}$$

$$I_{Linea-Linea} = 759.7A$$

La impedancia del transformador, dato de la placa del transformador de 500KVA; Z = 2.39

$$K = \frac{100}{2.39} ; \text{ Multiplicador}$$

$$K = 41.84$$

Corriente de corto circuito en el secundario del transformador

$$I_{sc} = 759.7 A \times 41.84$$

$$I_{sc} = 31.78 KA$$

El disyuntor se encuentra a 7 mt = 22.97 pies, del transformador "Dato medido en metros en la planta IPAC S.A."

$$f = \frac{1.732 \times L \times I_{S,C}}{C \times E_{L-L}}$$

$$C = 3 \times 22185$$

L = 22.97 pies
Entonces;

$$EAs = 5271(55.092)^{-1.9599} \cdot T(0.0016(30.254)^2 - 0.0076(30.254) + 0.8939)$$

$$f = \frac{1.732 \times 22.97 \times 31.78K}{3 \times 22185 \times 380}$$

$$f = 0.0499$$

El valor multiplicador al conductor M nos quedaría:

$$M = \frac{1}{1 + 0.0499} = 0.952$$

La componente simétrica de corriente de corto circuito es:

$$I_{S,C. simetrica} = I_{S,C} \times M$$

$$I_{S,C. simetrica} = 31.78 \text{ KA} \times 0.952$$

$$I_{S,C. simetrica} = 30.254 \text{ KA}$$

T = 0.4 seg, Parámetro ts, calibrado en el disyuntor Sentron VL1250N.

$$Ds = [2.65 \times 1.73 \times 380 \times 30254 \times 10^{-6} \times 0.4]^{1/2}$$

$$Ds = 4.591 \text{ ft} = 1.39 \text{ mt}$$

Esta es la distancia mínima para que una explosión de arco eléctrico cause en una persona una quemadura de tipo curable.

$$Di = [1.96 \times 1.73 \times 380 \times 30254 \times 10^{-6} \times 0.4]^{1/2}$$

$$Di = 3.948 \text{ ft} = 1.203 \text{ mt}$$

Ahora determinaremos la energía incidente de estas dos distancias.

$$EB = [1038,7(20)^{-1.4738} \cdot (0.4)] [0.0093(30.254)^2 - 0.3453(30.254) + 5.9675]$$

$$EB = 20.2643 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2}$$

Nivel de energía incidente a 20 in máximo de distancia desde la persona hacia la fuente del arco eléctrico.

Niveles de energía en las distancias D_s y D_i:

$$\text{Para DA} = Ds = 4.591 \text{ ft} = 55.092 \text{ in}$$

$$F = I_{S,C. simetrica} = 30.254 \text{ KA}$$

$$T = 0.4 \text{ seg};$$

$$EAs = 1.7406 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2}$$

Nivel de energía incidente a una distancia que provocaría un quemadura de tipo curable.

$$\text{Para DA} = Di = 3.948 \text{ ft} = 47.376 \text{ in}$$

$$F = I_{S,C. simetrica} = 30.254 \text{ KA}$$

$$T = 0.4 \text{ seg}$$

$$EAs = \frac{2.339 \text{ cal}}{\text{cm}^2}$$

Tabla de resultados

A diferentes valores de tiempo tenemos los siguientes resultados.

	Energía Incidente cal/cm ²			
	T1 = 0,4	T1 = 0,3	T2 = 0,2	T3 = 0,1
Isc sim = 30,254 KA				
DB = 20 in máxima	20,264	15,198	10,132	5,066

De los resultados obtenidos debemos elegir ropa de protección adecuada mencionada para esta energía incidente, de categoría 2. Categoría 2.- Ropa interior de algodón, camisa y pantalón con retardante de flama.



Vestimenta de Categoría 2

Fuente: www.ruelsa.com

Conclusiones

Podemos concluir que es indispensable realizar un levantamiento del sistema eléctrico con los estudios de cortocircuito y coordinación de protecciones antes de abordar con el estudio del arco eléctrico, ya que el estudio de cortocircuito nos proporciona la magnitud de corriente en condiciones de falla, así como en el estudio de coordinación de protecciones se determina el tiempo de operación de los equipos de protección y las condiciones de sobrecarga.

Es importante realizar el análisis del arco eléctrico, ya que con esto tenemos una estimación correcta de la energía incidente y los límites de protección a los que se debemos trabajar, así como determinar la categoría y tipo de equipo de protección personal que se debe emplear de acuerdo al nivel de energía incidente.

Asimismo podemos evitar siniestros tales como quemaduras fatales que nos afectarían en periodos largos de recuperación del personal afectado y en su caso hasta la muerte; significando pérdidas humanas, económicas y de producción para la empresa, además de sustitución de equipo que integra el sistema eléctrico en cuestión.

Referencias Bibliográficas

- [1] Industrial Training University Inc., Análisis de arco Eléctrico, www.arcflashengineering.com, 2009
- [2] Pro Wear Salisbury, Protección de Arco Eléctrico, www.whsalisbury.com/arc_flash, 2008
- [3] Juan Meza Hernández de Funken Ingenieros S.A., Análisis del Riesgo por Arco Eléctrico, www.funken.com.mx, Publicado 2008
- [4] Lic. Alejandro M. Llanea, Arcos Eléctricos y la Historia del EPP, *NFPA Journal Latinoamericano*, publicado: 10/3/2004 artículo 743
- [5] Revista Tecnológica ESPOL – RTE, Aplicación de Métodos de Control para Evitar Contactos Eléctricos Directos e Indirectos en Tableros de Distribución de Baja Tensión, <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/2552/1/5028.pdf>, Vol. xx, N. xx, pp-pp, (Mes, 200x), ISSN: 0257-1749, 2008
- [6] Alliant Energy, Arc Flash Hazards, www.alliantenergy.com/docs/groups/public/documents/pub/p015092.hcspañ 2008
- [7] Revista Tecnológica ESPOL – RTE, Aplicación de Métodos de Control para Evitar Contactos Eléctricos Directos e Indirectos en Tableros de Distribución de
- BajaTensión,
<http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/2552/1/5028.pdf>, Vol. xx, N. xx, pp-pp, (Mes, 200x), ISSN: 0257-1749, 2008
- [8] Grupo Prevenir Consulting S.A., Instrucción Técnica Complementaria para Baja Tensión: ITC-BT-24 instalaciones interiores o receptoras. Protección contra los contactos directos e indirectos, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, Ministerio de Trabajo e Inmigración de España, año 2002.
<http://www.grupoprevenir.es/normativas/d/itc24.htm>,
Página actualizada - Enero/10
- [9] Instalaciones Eléctricas Seguridad www.mailxmail.com-seguridad-instalaciones-elctricas/tipos-contactos-elctricos cap9 Fecha publicación: 07/04/2009
- [10] Juan Meza Hernández de Funken Ingenieros S.A., Análisis del Riesgo por Arco Eléctrico, www.funken.com.mx, Publicado 2008
- [11] Ralph Lee, "The Other Electrical Hazard: Electrical Arc Flash Burns," *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 1A-18, No. 3, P. 246, May/June 1982.
http://www.pfeiffereng.com/Arc_Flash_Article.pdf
- [12] Ralph Lee, "Pressures Developed by Arcs," *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. IA-23, pp. 760-764, <http://www.ieee-pcic.org/archive/arcs.pdf>, July-August 1987
- [13] Biblioteca de Ingeniería eléctrica y electrónica, Fallas Eléctricas Alta Tensión, <http://bieec.epn.edu.ec>, 2010
- [14] NFPA 70E Standard for Electrical Safety Requirements for Employee Workplaces, 1996 Ed. Quincy, Massachusetts: *National Fire Protection Association, 1995*,
<http://www.nfpa.org/index.asp?cookie%5Ftest=1> 2010