



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD

BUAP

AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERÍA

COLEGIO DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

Análisis de los riesgos de Arc Flash en instalaciones eléctricas.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO Y ELÉCTRICO

PRESENTA:

Carlos Omar Trujillo Lozada

Matricula: 200810724

ASESOR:

M.C. Carlos Morán Ramírez

Facultad de Ingeniería- BUAP

PUEBLA, PUE.

Diciembre 2016

Dedicatoria

Quiero dedicar esta tesis a toda mi familia, porque siempre me han apoyado en todas las decisiones importantes en mi vida, siempre constantes en que realice mis objetivos y metas. ¡GRACIAS!

También quiero dedicar esta tesis al maestro Carlos Morán por su paciencia y apoyo, como persona y profesionalista. ¡GRACIAS!

Agradecimientos

A mi madre Blanca Lilia Lozada Castillo y a mi padre Pedro Trujillo Tlamasco por estar siempre a mi lado brindándome su apoyo incondicional, creyendo en mí, en todos mis proyectos y educación.

A mis abuelos por siempre proporcionarme dedicación y apoyo en mis metas.

A mis amigos quienes siempre han estado a mi lado desde que me propuse este nuevo reto y creyeron en mí brindándome su apoyo incondicional

A mi asesor el M.C. Carlos Morán Ramírez por su confianza, paciencia, y experiencia brindada para el desarrollo de este proyecto

A mi amigo Bernardo, quien me apoyo en la primera etapa de mi vida profesional, y que siempre me ha motivado hacia nuevos retos.

A Dios, por darme salud y vida para poder desarrollarme y poder realizar todos los logros de mi vida.

Contenido

Dedicatoria.....	I
Agradecimientos	II
CONTENIDO	1
Índice de figuras.....	4
Índice de tablas.....	5
Nomenclatura.....	6
Introducción	7
CAPÍTULO I. MARCO DE REFERENCIA	8
1.1 Marco de Referencia.....	8
1.2 Justificación e Importancia	9
1.3 Alcance	10
1.4 Objetivos General	11
1.5 Objetivos Particulares	11
1.6 Hipótesis	11
CAPÍTULO II. CONCEPTOS BÁSICOS Y DEFINICIONES.....	12
2.1 Accidente eléctrico	12
2.2 Riesgo eléctrico.....	13
2.3 Arc Flash (Arco Eléctrico).....	13
2.4 Naturaleza del arco eléctrico	14
2.5 Causas del arc flash.....	15
2.5.1 Impurezas y polvo.....	15
2.5.2 Corrosión.....	16

2.5.3 Contactos Accidentales	17
2.5.4 Caída de herramienta	18
2.5.5 Falla de los materiales aislantes	19
2.5.6 Otras Causas.....	20
2.6 Definiciones de la NFPA. (Asociación Nacional de Protección Contra el Fuego)	21
CAPÍTULO III. ARC FLASH	24
3.1 Cálculo de Arc Flash	24
3.2 Estudio de Arc Flash	26
CAPÍTULO IV. RIESGOS ELÉCTRICOS	29
4.1 Riesgos del arc flash	31
4.1.1 Riesgo Térmico	31
4.1.2 Riesgo por Presión	33
4.1.3 Riesgo por Audición.....	34
4.1.4 Riesgo por Proyectiles.....	34
4.1.5 Riesgo por proyectiles e Inhalación.....	34
4.2 Riesgos a la Salud.....	35
4.2.1 Daños a los Ojos.....	36
4.2.2 Quemaduras por efecto Joule.....	36
4.2.3 Daños a la Piel.....	36
4.2.3.1 Efectos sobre el flujo de corriente.....	37
4.2.3.2 Quemaduras.....	38
4.2.4 El Sistema Nervioso.....	40
4.2.5 Sistema Muscular.....	40
4.2.6 El Corazón.....	41
4.2.7 El Sistema Pulmonar.....	42
4.2.8 Condición Física y Respuesta Física.....	43
4.2.9 Duración de la Corriente.....	43
CAPÍTULO V. NORMATIVIDAD.....	45
5.1 OSHA.....	45
5.2 NFPA 70E (STANDARD FOR ELECTRICAL SAFETY IN THE WORKPLACE)	47
5.2.1 Propósito.....	48
5.2.2 Alcance.....	48

5.2.2.2 No Cobertura	49
5.3 IEEE 1584	52
5.4 NEC	54
CAPÍTULO VI. EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL DE ARC FLASH	55
6.1 Selección de Ropa Para Protección contra Arc Flash.	55
6.1.1 Ropa Interior.	57
6.1.2 Ropa de Trabajo.	58
6.2 Traje de Protección de Arc Flash.	61
6.2.1 Overol y Kazaka.	62
6.2.2 Protección de Ojos.	65
6.2.3 Protección de Manos.	68
6.2.4 Protección de Pies.	71
6.3 Otros Equipos de Protección Personal.	73
6.3.1 Alfombra Dieléctrica.	73
6.3.2 Herramientas de Trabajo.	74
6.3.3 Joyería y Vestimenta.	77
CONCLUSIONES	78
BIBLIOGRAFIA	80

Índice de figuras

Capítulo II

Figura 2.1	Tipos de accidente eléctrico	13
Figura 2.5.1	Impurezas y polvos	16
Figura 2.5.2	Corrosión	17
Figura 2.5.3	Contactos accidentales	18
Figura 2.5.4.1	Caída de herramienta	18
Figura 2.5.4.2	Conexión de una subestación compacta	19
Figura 2.5.5	Falla en los materiales aislantes	20

Capítulo IV

Figura 4.1	Riesgos producidos por el arc flash	30
Figura 4.2	Límites de riesgo NFPA	30
Figura 4.3	Experimentos con alta y baja tensión	32
Figura 4.4	Ejemplo de una explosión de presión y térmica	33
Figura 4.5	Riesgo por proyectiles	34

Capítulo VI

Figura 6.1	Ropa interior	58
Figura 6.2	Pantalones de trabajo	59
Figura 6.3	Camisas y sudaderas de trabajo	60
Figura 6.4	Ropa de trabajo completa	61
Figura 6.5	Overol de Arc Flash	63
Figura 6.6	Kazaka y overol	64
Figura 6.7	Largo de kazakas	65
Figura 6.8	Ayuda externa en trabajos con traje de Arc Flash	66
Figura 6.9	Transmisión de la luz visual	67
Figura 6.10	Mejoras en protección a ojos	67
Figura 6.11	Guantes de algodón	69
Figura 6.12	Guantes aislantes de caucho nivel 4	70
Figura 6.13	Equipo de inspección de guantes de caucho	70
Figura 6.14	Guantes de carnaza	71
Figura 6.15	Zapatos de caucho	72
Figura 6.16	Tarimas inseguras	73
Figura 6.17	Alfombra dieléctrica	74
Figura 6.18	Herramientas de trabajo	75
Figura 6.19	Desconexión con pértiga y traje de arc flash	76

Índice de tablas

Capítulo II

Tabla 2.6	Categorías de riesgo, Tabla 130.7 NFPA, traducción	22
-----------	--	----

Capítulo IV

Tabla 4.2	Valores de resistencia nominal para varias partes del cuerpo humano, Ralph Lee, traducción	38
-----------	--	----

Capítulo VI

Tabla 6.1	Sistema de ropa protectora, Tabla 130.7 (C) (11) NFPA 70 E, traducción	56
-----------	--	----

Nomenclatura

EPP = Equipo de Protección Personal

ASTM = American Society for Testing Materials (Sociedad Americana para Pruebas en Materiales)

IEEE = Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos)

CCM = Centro de Control de Motores

NEC = National Electrical Code (Codigo Eléctrico Nacional)

NFPA = National Fire Protection Association (Asociación Nacional de Protección contra Fuego)

OSHA = Occupational Safety and Health Administration (Administración de Seguridad y Salud Ocupacional)

Introducción

Este proyecto de investigación aclarara la importancia de contar con un estudio de Arc Flash dentro de la industria, pues con éste se pueden obtener diversos conceptos de los cuales obtendremos la información justa necesaria para poder seleccionar adecuadamente Equipo de Protección Personal para los trabajadores, así como asegurar una correcta instalación eléctrica.

Dentro de este proyecto de investigación se hace la mención de los diferentes lineamientos que se presentan en las normativas y estándares internacionales que regulan los procedimientos para evitar los riesgos de Arc Flash, así como los métodos de cálculo de la energía incidente, dato esencial para proveer una correcta protección a los trabajadores.

El principal objetivo de este proyecto es dar a conocer los riesgos inminentes que pueden presentarse en cualquier tipo de instalación eléctrica, así como proporcionar la información adecuada acerca de las consideraciones que deben ser tomadas en cuenta, las cuales son proporcionadas por un estudio de Arc Flash, así como el Equipo de Protección Personal adecuado para que los trabajadores puedan realizar maniobras y operaciones de los equipos eléctricos.

También se hace mención de los riesgos a la salud que puede representar un accidente de Arc Flash, cuando el cuerpo humano está en interacción directa con dicho fenómeno.

Capítulo I. Marco de Referencia

1.1 Marco de Referencia

La sociedad moderna ha generado a lo largo de los años un gran desarrollo de la energía eléctrica, sin embargo aunque esta energía sea incolora e inodora, también debe tratarse con su debido respeto y cuidado, pues con el paso de los años y con las nuevas necesidades de la sociedad, se han incrementado los riesgos de accidentes eléctricos.

Si bien, en los últimos tiempos la evolución de la tecnología ha proporcionado una mejora de los equipos y métodos de protección, tanto para sistemas como para personas, aun así el peligro fortuito está implícito.

Con este crecimiento, la industria comenzó a mejorar sus instalaciones, adaptando a sus procesos las nuevas tecnologías existentes, lo que llevó a que los trabajadores tengan una capacitación técnica acerca de los nuevos equipos, así como de los riesgos existentes, con la finalidad de evitar retrasos en la operación y posibles accidentes, así como el mantenimiento de dicha tecnología.

Al igual que se incursionó en la adquisición de nuevas tecnologías, la industria también está preocupada por la adquisición de equipos de protección para el personal operativo de las mismas, que además de cumplir con su función principal de protección personal, también cumplan con los lineamientos nacionales e internacionales.

De esta manera se comenzó la ardua labor de realizar los procedimientos de trabajo adecuados para que una tarea tan simple o tan complicada se realice de la manera correcta y con las debidas precauciones necesarias. No obstante los accidentes eléctricos en algunos casos son impredecibles y aun tomando las medidas necesarias continuaron sucediendo, esto trajo consigo un aumento en las estadísticas de accidentes por riesgo eléctrico.

Ralph Lee fue uno de los primeros precursores del estudio del Arc Flash, pues en 1982 presentó un modelo teórico para poder realizar un cálculo aproximado de la energía incidente liberada por este fenómeno; desde entonces se han presentado varias teorías empíricas y algunas otras basadas en los estudios de Lee para poder comprender de una mejor manera el fenómeno de Arc Flash, para que de esta forma se preste mayor

atención a los cuidados que deben tener los trabajadores al realizar algún tipo de maniobra eléctrica.

1.2 Justificación e Importancia

El Arc Flash ha provocado diversos daños tanto pérdidas humanas como materiales, es por ello que los equipos eléctricos han sido sometidos a diversos estudios para entender mejor su comportamiento en diferentes niveles de voltaje donde puede ser posible que se presente un Arc Flash.

Los trabajadores que tienen un contacto directo con los equipos eléctricos por diversas razones como su operación o mantenimiento deben contar con un Equipo de Protección Personal (EPP) que sea adecuado para evitar los daños en caso de que se presente un Arc Flash, sin embargo existen diferentes tipos de EPP que pueden proteger al trabajador y esto varía de acuerdo a los niveles de energía incidente a los que el trabajador puede estar expuesto.

En la actualidad un estudio de Arc Flash es capaz de proporcionar información necesaria para poder llevar a cabo medidas preventivas que en ocasiones son drásticas, como lo son una correcta selección de EPP para que los trabajadores que se encuentren manipulando los equipos eléctricos o bien en sus proximidades puedan estar lo suficientemente protegidos en caso que se presente este fenómeno.

Por otro lado dicho estudio también proporciona información para poder realizar los cambios adecuados en las instalaciones eléctricas, que estas puedan ser adecuadas y evitar el fenómeno de Arc Flash, así como también nos proporciona un mayor conocimiento de las condiciones de las instalaciones para poder capacitar adecuadamente a los trabajadores.

Los daños que pueden ser causados por un fenómeno de Arc Flash en el cuerpo humano son muy graves, por ello se tiene especial atención a que los trabajadores que mantengan un contacto directo con los equipos eléctricos sean debidamente capacitados acerca de los riesgos que representa a la salud las actividades que puedan realizar para que de esta manera evitemos que los trabajadores caigan en la complacencia de trabajo.

El cumplimiento de las normas y estándares es de vital importancia para el funcionamiento de cualquier empresa, sin embargo respecto a este tema que no ha sido estudiado completamente por las normas, existen diversas recomendaciones para evitar riesgos, los cuales se presentan en los diferentes estándares internacionales como lo son la IEEE y la ANSI.

1.3 Alcance

Este trabajo de investigación se enfoca al análisis de los daños que pueden ser ocasionados por un fenómeno de Arc Flash, así como los riesgos que presenta el no contar con una adecuada instalación eléctrica, y el cuidado que se debe tener al estar en contacto con un equipo eléctrico energizado.

Dentro de este proyecto todos los datos mencionados como riesgos y daños son el resultado de considerar que los equipos eléctricos se encuentran energizados, que es cuando se puede suscitar el fenómeno de Arc Flash, al igual que cuando se energiza o desenergiza un equipo.

Los datos considerados dentro de este proyecto son parte de los resultados arrojados en base a hipótesis y a métodos diversos que arrojan resultados aproximados, los cuales son válidos para aplicaciones teóricas.

Para llevar a cabo un estudio de Arc Flash, es necesario contar previamente con los estudios de corto circuito y de coordinación de protecciones; esto es con la finalidad de que sin la presencia de estos estudios, si se puede realizar el estudio de Arc Flash, pero sin las correcciones adecuadas a las instalaciones eléctricas recomendadas por los estudios anteriores los riesgos inminentes pueden ser mayores, además de que el estudio de Arc Flash proporciona información más enfocada a la protección del personal y de las condiciones de trabajo, para que sean apropiadas para los trabajadores y se puedan reducir los riesgos, puesto que la finalidad de dicho estudio es proporcionar los niveles de energía incidente.

1.4 Objetivos General

Eficientar el sistema de seguridad de las empresas relativas a las exposiciones del personal a los riesgos del Arc Flash; así como proporcionar información necesaria para la estandarización de las instalaciones y conocimiento de los trabajadores.

1.5 Objetivos Particulares

- Disponer de los criterios y estándares internacionales de la normativa en materia de protección eléctrica.
- Analizar el sistema de seguridad actual de una empresa en cuestiones de riesgos eléctricos.
- Determinar el grado de capacitación con que cuenta el personal operativo, en cuestiones de seguridad eléctrica, para proporcionar una adecuada capacitación.
- Determinar el grado de conocimiento e importancia que el personal operativo tiene sobre el manejo de riesgos de tipo eléctrico, para concientizar al personal.
- Dar seguimiento a las recomendaciones del estudio de Arc Flash realizado en una empresa tomada como ejemplo para poder reducir riesgos. Proporcionando soluciones basadas en nuevas tecnologías.
- Mostrar al sector industrial que cuando se realiza un estudio de riesgo de Arc Flash, y se da seguimiento a los resultados y recomendaciones obtenidos se obtiene una mayor confiabilidad de los equipos eléctricos, además de que se asegura la salud de los operadores.
- Concientizar a los trabajadores acerca de los posibles riesgos a los que se presentan al realizar sus tareas para que se puedan evitar accidentes.
- Evitar pérdidas económicas a la empresa con la implementación de una inversión significativa en la adquisición de nuevas tecnologías y modernización de equipos eléctricos.

1.6 Hipótesis

Un conocimiento mayor acerca de los riesgos eléctricos de Arc Flash que se puedan presentar en las instalaciones al realizar una tarea eléctrica específica, puede ayudar a los trabajadores a reducir los accidentes, así como poder evitarlos y saber cómo se comportan las instalaciones.

Capítulo II. Conceptos básicos y definiciones

2.1 Accidente eléctrico

Un accidente eléctrico es un suceso imprevisto, generalmente con graves daños. Es generado a partir de la circulación de una corriente eléctrica o la producción de un Arc Flash, establecidos en condiciones imprevistas o no controladas, dando lugar a condiciones de las cuales pueden derivar daños a seres vivos y/o bienes materiales.

Toda instalación eléctrica, cualquiera sea su tipo constituye una fuente potencial de riesgo. El riesgo que se puede presentar depende de las características constructivas, del estado de servicio como el de los equipos asociados y de las operaciones que sobre ellas se efectúen. La probabilidad de ocurrencia de un accidente eléctrico está directamente relacionada con el grado de riesgo.

Todo accidente eléctrico tiene su origen en dos causas fundamentales:

De orden Técnico: por la existencia de condiciones propicias para la ocurrencia de un accidente derivadas del diseño, de la ejecución, del estado de servicio, de los equipamientos asociados, de las normativas técnicas aplicadas, etc.

De orden Operativo: por la creación de condiciones propicias para la ocurrencia de un accidente como consecuencia de acciones y/o actitudes realizadas de las personas actuantes sobre la instalación debido a la ausencia o inadecuada capacitación, condiciones de entorno o personales no favorables, incumplimiento de normas operativas, actitudes imprudentes o negligentes, complacencia, etc.

Existen diversas formas en que puede producirse un accidente eléctrico: circulación de corriente eléctrica y por efecto de Arc Flash.

La figura 2.1 constituye un diagrama extraído de un estudio de Arc Flash, donde se pueden apreciar los tipos de accidentes eléctricos que pueden ser producidos en un accidente eléctrico, para fines de este proyecto se tratara únicamente los accidentes provocados por un Arc Flash.



Figura 2.1 Tipos de Accidente Eléctrico, Origen, Estudio de Arc Flash.

2.2 Riesgo eléctrico

Se considera como un riesgo a las condiciones en las que pueden suceder diversos eventos, para este fin se tomarán a estos eventos como un accidente eléctrico, en donde se puede producir una falla en el equipo eléctrico provocado por diversas causas.

El peligro inminente donde se puede presentar un accidente, es causado por diversas situaciones donde no se tienen las condiciones adecuadas para una correcta operación, o bien los trabajadores no están debidamente capacitados para realizar las tareas eléctricas. Entendemos así a estas condiciones como riesgos.

Así bien como riesgo eléctrico entenderemos a los sucesos susceptibles de ser producidos por instalaciones eléctricas, partes de las mismas y cualquier dispositivo eléctrico bajo tensión, con potencial de daño suficiente para producir fenómenos como el Arc Flash.

Se puede originar en cualquier tarea que implique manipulación o maniobra de instalaciones eléctricas de baja, media y alta tensión.

2.3 Arc Flash (Arco Eléctrico)

Un Arc Flash o Arco Eléctrico de una falla es el resultado de una rápida liberación de energía a través del aire, el cual es un elemento que funge como aislante, en los equipos eléctricos con un conductor vivo expuesto a otro, o bien, a tierra. La ruptura de la resistencia eléctrica del aire, puede resultar en un Arc Flash que se puede producir cuando hay suficiente voltaje en un sistema eléctrico.

Esto quiere decir, que podemos definir al Arc Flash como un término que se aplica al fenómeno del paso de corriente eléctrica a través de la ruptura del aislante que había sido previamente el aire.

El Arc Flash es el vertido resultante de energía causada por una falla eléctrica, donde el flujo no deseado de corriente viaja a través de un medio no destinado a transportar la corriente, como el aire. Eso sólo significa que la electricidad fluye a través de algo que no debería ser. El aire pasa de ser un aislante a ser un conductor, sólo con el aire en esta condición, se puede ver la descarga masiva de los electrones del elemento de descarga. Este es el Arc Flash. En otras palabras, es un rayo en una más pequeña, pero aún mortal, escala.

Sabiendo que este fenómeno ocurre cuando existe una falla en el sistema, también se puede definir al Arc Flash como el efecto producido de una falla de corto circuito.

Una aplicación controlada del Arc Flash se puede observar en las plantas de soldar; sin embargo en cambio para fines de este proyecto consideraremos que el efecto es producido al existir una falla eléctrica en el sistema, y no un efecto controlado, aun así, cuando el efecto es controlado se necesita equipo de protección personal, pues los efectos producidos no varían, y pueden causar daños irreversibles en los operadores.

El Arc Flash produce varios riesgos eléctricos, de los cuales se pueden desprender como sus efectos un intenso calor, ondas de presión, explosiones sonoras y luminosas; efectos que pueden ser fatales tanto para los trabajadores que se encuentren en presencia del fenómeno como para los equipos eléctricos.

La energía potencial de la falla se presenta en forma de calor y luz, las cuales son liberadas a causa de la ruptura de un aislamiento eléctrico como subsecuencia de una descarga a través de un aislante eléctrico.

2.4 Naturaleza del arco eléctrico

Las causas más comunes de una falla de Arc Flash son fallas en los equipos, por falta de mantenimiento, o envejecimiento de los mismos, errores humanos (la colocación inadecuada de las herramientas o el uso incorrecto de los equipos, la falta de

capacitación), o la conducción de la electricidad debido a las partículas extrañas en el aire (virutas usualmente de metal).

El uso de equipo de protección personal (EPP) es necesario para reducir las lesiones por accidentes de arco eléctrico, pero no es un sustituto para el entrenamiento y capacitación de seguridad adecuado, entre otras buenas prácticas en la seguridad.

Otro error humano que puede producir el fenómeno de Arc Flash, es la mala ingeniería en el diseño de las instalaciones eléctricas, pues estas deben estar de acorde a las normativas, y completamente bien definidas además de siempre estar actualizadas, puesto que en muchas ocasiones la instalación de un nuevo equipo infiere el reemplazo de ciertos dispositivos eléctricos en otros sectores de la instalación eléctrica, y si esto no se toma en cuenta estaremos en presencia de un riesgo eléctrico.

2.5 Causas del arc flash

A pesar de que el fenómeno de Arc Flash es producido por una falla, o bien por algún tipo de error en el sistema o humano, existen diversos factores que pueden ser importantes causas del comienzo del fenómeno.

2.5.1 Impurezas y polvo

Como se puede apreciar en la Figura 2.5.1 (impurezas y Polvo) existe ausencia de limpieza en el transformador, lo que ocasiona polvos en su superficie del mismo y en las boquillas de alta tensión, lo cual puede ser un camino para la corriente, permitiendo que el Arc Flash pueda pasar a través de su superficie. Esto puede desarrollar un mayor arqueado. El Arc Flash tiene diversos efectos, uno de ellos es la temperatura que presenta, que al ser muy alta puede iniciar un incendio, y en el caso de tener polvos e impurezas estos efectos se pueden propagar a una mayor distancia, afectando más equipos, y aumentando también los límites de arco.



Figura 2.5.1 Impurezas y polvos, Origen propio.

2.5.2 Corrosión

La corrosión es una de las principales causas del Arc Flash, pues proporciona impurezas en los equipos, además que también provoca impurezas en los aislamientos y debilita el contacto entre los conductores, incrementando de esta manera la resistencia al contacto a través de la oxidación o alguna otra forma de contaminación corrosiva. El calor se genera en los contactos y pueden producir chispas, esto puede llevar a fallas de arco, cerca de conductores expuestos de diferente fase o de tierra.

La condensación del vapor y el goteo del agua provocada por una instalación incorrectamente planeada pueden crear un camino en la superficie de los materiales aislantes. Esto puede crear un corto circuito a tierra y la intensificación del potencial del arco de fase a fase.

En la Figura 2.5.2 (Corrosión) se puede apreciar como la corrosión se presenta en las terminales de un interruptor, generando un gran riesgo eléctrico.



Figura 2.5.2 Corrosión. Origen Propio.

2.5.3 Contactos Accidentales

El contacto accidental con la exposición de las partes vivas puede iniciar el Arc Flash, provocando daños irreversibles en los trabajadores y en los equipos, es por eso que los trabajadores no deben tener contacto con las partes vivas sin su EPP adecuado, en condiciones de mantenimiento, se deben tomar las debidas precauciones de acuerdo a los procedimientos para evitar accidentes, como lo son los bloqueos eléctricos, la desconexión de equipos alimentadores, entre otros.

En la figura 2.5.3 (contactos Accidentales) se puede apreciar el mantenimiento de un interruptor de vacío, el cual se encuentra desenergizado, por motivos de mantenimiento, y al trabajador se le puede observar con su debido EPP para realizar este mantenimiento, pues ya se han establecido las condiciones de trabajo seguro (acordonamiento del área, desconexión de su fuente alimentadora), en caso de que este equipo estuviera energizado sería un riesgo inminente para la presencia de un Arc Flash.



Figura 2.5.3 Contactos Accidentales. Origen Propio.

2.5.4 Caída de herramienta

Como se puede apreciar en la Figura 2.5.4.1 (Caída de Herramienta), es necesario seguir los procedimientos al pie de la letra y verificar que el área de trabajo se encuentre debidamente limpia cuando se termine de hacer una maniobra de mantenimiento, ya que el olvidar herramienta o dejarla dentro de los equipos puede generar una falla de Arc Flash, cuando el equipo sea energizado.



Figura 2.5.4.1 Caída de Herramienta, Origen Propio.

La caída accidental de la herramienta puede causar un corto circuito momentáneo, produciendo chispas e iniciando el arco. Cuando se realice alguna maniobra se debe tener en cuenta que además del EPP adecuado se deben tener las consideraciones para que la herramienta que se esté utilizando no sea la causante de una falla y sea la

adecuada para realizar las operaciones necesarias para las tareas eléctricas. En la Figura 2.5.4.2 (Conexión de una Subestación Compacta), se puede apreciar la energización de una subestación compacta, dicho equipo cuenta con su propia herramienta para realizar la conexión, por ello se puede apreciar al trabajador con su adecuado EPP para realizar la operación, auxiliado por un compañero, y debidamente aislado del equipo. Es importante tomar en cuenta que los equipos también cuentan con su propio sistema de seguridad, por ello la conexión se hace a través de una herramienta específica, adecuada y perteneciente a la subestación compacta.



Figura 2.5.4.2 Conexión de una subestación compacta, Origen Propio

2.5.5 Falla de los materiales aislantes

Los materiales aislantes deben estar en buenas condiciones, cuando existe alguna falla en ellos, es muy probable que se pueda generar un Arc Flash, ya que la instalación no se encuentra en excelentes condiciones, como se puede observar en la figura 2.5.6 (Fallas en los Materiales Aislantes), el aislamiento de porcelana se encuentra roto en la boquilla de un transformador, y es indispensable que sea remplazada, ya que de lo contrario, ya no cumplirá su función de aislamiento del circuito.

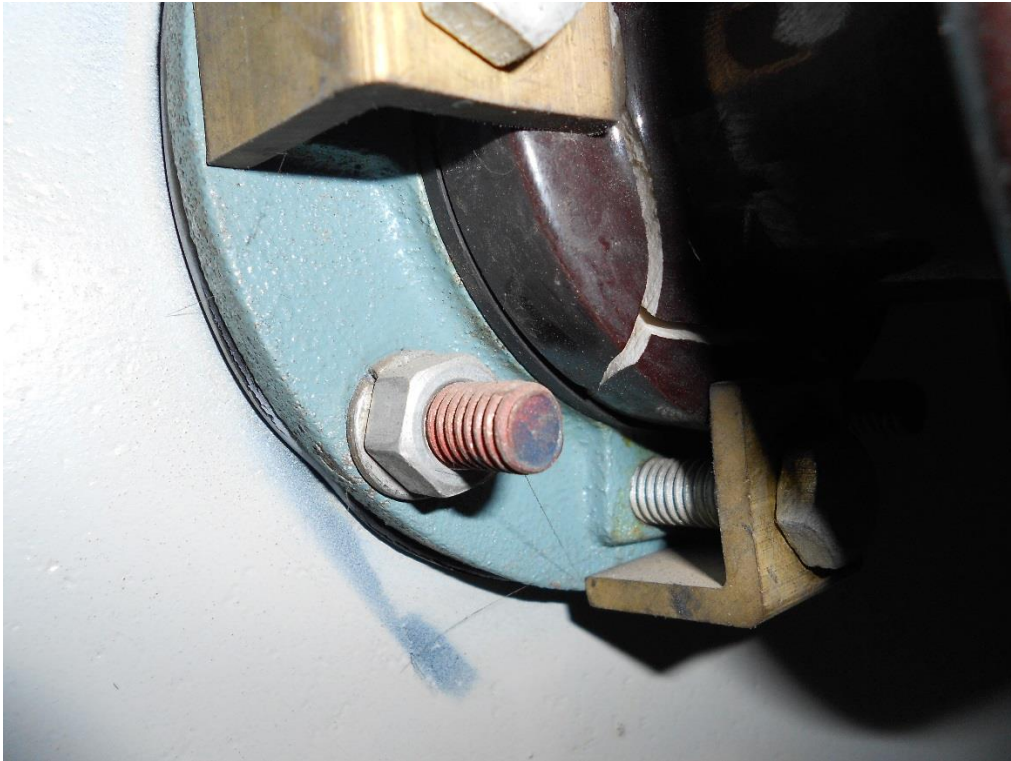


Figura 2.5.5 Fallas en los Materiales Aislantes, Origen Propio.

2.5.6 Otras Causas

Después del análisis de algunas causas probables que puedan iniciar un Arc Flash, en el campo, también podemos encontrar causas que pueden ser fatales, como el diseño inadecuado de la instalación, por desconocimiento de la ingeniería o por no seguir los procedimientos establecidos en los estándares y las normas, o bien el uso inadecuado de los equipos, por desconocimiento de su correcto funcionamiento.

Los trabajadores que se encuentren realizando maniobras de diferente índole en equipos eléctricos deben ser previamente capacitados de acuerdo a los trabajos que realizan, además que deben de seguir los procedimientos apropiados para poder evitar accidentes, como lo son permisos de trabajo, bloqueos eléctricos, desconexiones de fuentes de alimentación, libranzas de la compañía suministradora, entre otros; en ocasiones el pasar por alto estos procedimientos o el no llevarlos a cabo pueden ser causantes del Arc Flash.

2.6 Definiciones de la NFPA. (Asociación Nacional de Protección Contra el Fuego)

De acuerdo a la NFPA se pueden tomar algunas definiciones que facilitan la comprensión de este proyecto.

Límite de Arc Flash: distancia a la que un arco eléctrico puede parpadear hacia fuera, es decir la distancia en que se puede poner en peligro a los empleados que trabajan en el equipo eléctrico.

Límites de protección de Arc Flash: distancia de trabajo de los equipos eléctricos que en la que no se expone al empleado a los peligros asociados con un Arc Flash.

Evaluación eléctrica: evaluación analítica que calcula el potencial de Arc Flash que se utiliza para establecer el límite de protección de Arc Flash y el nivel del correcto EPP requerido, determinado por un ingeniero eléctrico o equivalente.

Arc Flash: efecto del corto circuito a través del aire, producido cuando la aislación entre dos conductores energizados colapsa.

Riesgo de Arc Flash: condición peligrosa asociada con la posible liberación de energía causada por un Arc Flash.

Análisis de Riesgo de Arc Flash: es un estudio de investigación sobre la posible exposición potencial de trabajadores a la energía incidente de un arco eléctrico, llevado a cabo con el propósito de la prevención de las lesiones y la determinación de las prácticas de trabajo seguras, los límites de protección de Arc Flash, y los niveles adecuados de los Equipos de Protección Personal (EPP).

Niveles de Arco Eléctrico: De acuerdo a la NFPA se consideran diversos niveles de Arc Flash, los cuales son los valores atribuidos a los materiales resistentes al fuego, los cuales son capaces de resistir diferentes niveles de energía en el momento de la exposición de una descarga eléctrica. Su clasificación se expresa en (cal/cm²).

Estos niveles se pueden expresar y visualizar de una mejor manera gracias a la Tabla 130.7 de la NFPA 70B, se aprecia en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6 Categorías de Riesgo, Tabla 130.7 NFPA 70E, Traducción.

Categoría	Nivel de Energía
0	<1.2 cal/cm ²
1	1.2 a 4.0 cal/cm ²
2	4.0 a 8.0 cal/cm ²
3	8.0 a 25 cal/cm ²
4	25 a 40 cal/cm ²

Fronteras, protección de Arc Flash: Cuando se está en presencia de un riesgo de Arc Flash, existen fronteras en donde se puede apreciar que el posible daño causado puede ser más grave mientras más cerca este el trabajador del equipo eléctrico, por el contrario, dichas fronteras son de menor riesgo cuando el trabajador se encuentra más alejado del equipo eléctrico.

Frontera, enfoque a límites: Son las fronteras enfocadas a las distancias que deben ser tomadas en cuenta cuando se está expuesto a conductores eléctricos energizados o partes de circuitos, con riesgos de Arc Flash.

Resistencia al Fuego: Cuando estamos siendo parte de un riesgo eléctrico, se infiere que en caso de algún accidente las causas pueden ser fatales, si bien uno de los mayores efectos producidos por un Arc Flash es la inmensa temperatura que dispersa alrededor de su evento, es por eso que se necesita un EPP apropiado y contar con las medidas de seguridad adecuadas; es por ello que la resistencia al fuego es el término utilizado para describir el material que puede ser auto extinguido después de la eliminación de una fuente de ignición externa, o bien que quema lentamente.

Energía Incidente: Cuando se genera un Arc Flash, también son generados distintas formas de energía, a esta energía se le denomina como “incidente”, ya que es el efecto de un evento eléctrico, y, se considera como la acumulación o cantidad de energía aplicada sobre una superficie a cierta distancia de la fuente, generada durante el

evento de Arc Flash. Esta energía se expresa en calorías por centímetro cuadrado (cal/cm²), de esta manera estandarizamos las unidades de medida a utilizar.

Equipo de Protección Personal (EPP): Es el equipo utilizado para la protección de los ojos, cara, oído, cabeza, el cuerpo y las extremidades de los trabajadores a posibles lesiones o enfermedades debido a la exposición a los riesgos físicos y químicos.

Capítulo III. Arc Flash

El realizar un estudio de Arc Flash trae consigo una gran contribución a la seguridad de los trabajadores dentro de una empresa, no es tan fácil como puede llegar a parecer la realización de dicho estudio, pues previo a este estudio es necesario contar con los datos que nos proporcionan los estudios de corto circuito y de coordinación de protecciones de las instalaciones donde se quiera realizar el estudio de Arc Flash, ya que ellos contienen datos importantes muy útiles para poder llegar a facilitar los cálculos del Arc Flash.

3.1 Cálculo de Arc Flash

El cálculo de Arc Flash más comúnmente usado para la protección del personal es el que determina la transferencia de la energía radiante de la posible fuente del Arc Flash a un cuerpo o superficie del equipo a una distancia asumida lejos del Arc Flash. A esta energía se le denomina “energía incidente”. Esta información es utilizada para poder determinar el nivel de Equipo de Protección Personal requerida para poder realizar algún tipo de maniobra en ese punto, además que dicho dato también se utiliza para realizar un análisis de riesgos.

Al mismo tiempo que debemos conocer los lineamientos para evitar un accidente, también debemos estar conscientes de los riesgos que puede representar, el cálculo de la energía incidente también es sobresaliente para realizar una estimación de las lesiones que le pueden causar al cuerpo humano, sobre todo a la piel, que debido a las altas temperaturas que el fenómeno presenta puede causar mucho daño.

Además de que por primera instancia ver la seguridad de los trabajadores, las empresas también están preocupadas por la inversión que los equipos eléctricos representan, y es por ello que también deben asegurar su correcto funcionamiento; así como sus debidas protecciones.

Muchos métodos se han desarrollado para el cálculo de la energía incidente, algunos más conservadores que otros, pero se puede llegar a estos resultados de una manera empírica y teórica.

Ralph Lee, uno de los primeros precursores en el estudio del Arc Flash, propuso una fórmula basada en sus experimentos en la cual predice que la energía térmica recibida por un objeto o trabajador se puede calcular usando la ecuación 3.1:

$$Q_o = \frac{Q_s \times A_s}{4\pi \times r^2} \times t$$

Ecuación 3.1 Energía Térmica

Donde:

Q_o= flujo de calor recibido por el objeto (cal/cm²)

Q_s= flujo de calor generado por la fuente (cal/cm²)

A_s= área de la superficie de la esfera de arco

r = distancia desde el centro de origen al objeto (cm)

t = tiempo de exposición de arco

Además de esta ecuación, Lee determino que la energía recibida por el trabajador se puede expresar de acuerdo a la ecuación 3.2:

$$E = 2.142 \times 10^6 VI_{bf} \left(\frac{t}{D^2} \right)$$

Ecuación 3.2 Energía Recibida por el Trabajador

Donde:

E = energía incidente (J/cm²)

V = voltaje del sistema (fase a fase)

t = tiempo de arco (segundos)

D = distancia del punto de arco a un objeto o persona (mm)

I_{bf}= corriente de falla aplicada (KA)

Es importante contar con los estudios previos de corto circuito ya que como se puede apreciar en las fórmulas de Lee se requiere de algunos datos como la corriente de falla, además de otros conceptos que a continuación se definen:

Corriente de falla disponible: La corriente eléctrica que puede ser proporcionada por la entidad de generación de energía como generadores y motores eléctricos, además de la compañía suministradora, teniendo en cuenta la cantidad de impedancia en la trayectoria de la corriente.

Corriente de falla estacionaria: Un corto circuito o contacto eléctrico entre dos o más conductores a potenciales diferentes en los que la impedancia o resistencia entre los conductores es esencialmente cero.

Corriente de falla de arco: Corriente que fluye a través de un Arc Flash.

Distancia de Trabajo: Dimensión entre el posible punto de arco y la cabeza y cuerpo de la posición del trabajador en el lugar de la tarea asignada.

3.2 Estudio de Arc Flash

El estudio de Arc Flash es un estudio de la distribución del sistema eléctrico para determinar posibles peligros existentes y su severidad. El estudio muestra que si un corto circuito se presenta o un equipo eléctrico fallara, esto resultaría en una pequeña chispa que puede dar inicio a una gran explosión.

Para realizar un estudio de Arc Flash, debemos basar los datos en datos reales y hacer un levantamiento real de los datos en campo, para ahorro de tiempo son necesarios los datos que pueden proporcionar los estudios de corto circuito y de coordinación de protecciones, cabe destacar que estos estudios se deben encontrar actualizados a las instalaciones, de esta manera los resultados del estudio de Arc Flash serán apreciados con mayor facilidad y precisión; además de que podrá determinarse la energía incidente con mayor facilidad y en un menor tiempo de cálculo.

La principal finalidad del estudio es el análisis de los resultados obtenidos como datos para mejorar la seguridad de los trabajadores y asegurar la duración de una instalación eléctrica.

Respecto a la seguridad de los trabajadores se pueden analizar los riesgos de trabajo presentes, para poder hacer una determinación del tipo de EPP que los trabajadores deben portar al realizar alguna tarea en determinadas áreas de la instalación, además de las distancias que debe considerar para estar seguro.

El EPP está conformado por ropa resistente al fuego, casco, protector para la cara, lentes, guantes, zapatos de seguridad y dieléctricos, dicho equipo y especificaciones se consideran en capítulos posteriores.

Para realizar un estudio de esta índole existen estándares que deben seguirse, pues bien la NFPA 70E y la IEEE 1584 ofrecen las ecuaciones desarrolladas por Ralph Lee además de contar con tablas que pueden estimar la energía incidente. Los métodos elegidos para realizar los cálculos pertinentes pueden estar basados en la información disponible, volúmenes de cálculo de trabajo, necesidad de precisión, entre otros factores que debe tomar en cuenta el personal calificado y adecuadamente capacitado para tomar todas las precauciones pertinentes.

El Arc Flash es capaz de producir algunas de las temperaturas más altas conocidas que ocurren en la tierra alrededor de 35000° F (19426.67°C), de acuerdo a los experimentos realizados por Ralph Lee. Estas temperaturas se estiman como cuatro veces la temperatura superficial del sol. Esta temperatura causa diversos daños cuando se presenta, pues al ser muy alta se puede presentar explosiones.

El Arc Flash es peligroso debido a la exposición excesiva de calor y serios daños por quemaduras causadas por el arqueo de una falla en los sistemas eléctricos. Además de las altas temperaturas también produce explosiones sonoras y ondas de presión que pueden ser fatales para los trabajadores, y es por esto que el fenómeno ha cobrado muchas vidas. Basados en estos datos entendemos porque la importancia de realizar un estudio de Arc Flash.

Con el estudio de Arc Flash y el adecuado dimensionamiento del EPP, se pueden evitar siniestros tales como quemaduras fatales que propiciarían un período largo de recuperación del personal afectado y en su caso hasta la muerte, significando pérdidas humanas, económicas y de producción para las empresas, además de la sustitución del equipo que integra el sistema eléctrico en cuestión. El uso de EPP, pueda que no garantice una protección entera a las explosiones causadas, pero si reduce en gran medida los daños a tal grado que se evitan pérdidas humanas.

Con la formación del Arc Flash se produce una cantidad sustancial de la corriente eléctrica que fluye a través de lo que previamente había sido aire. Puesto que el aire es un mal conductor, la mayor parte del flujo de corriente está ocurriendo en realidad a través del vapor del material de las terminales de los conductores donde se produce la falla y las partículas ionizadas del aire. Esta mezcla de sobrecalentamiento, materiales ionizados a través del cual fluye la corriente de arco, es llamada “plasma”.

El fenómeno de Arc Flash se puede iniciar de varias maneras:

Cuando el voltaje entre dos puntos supera la resistencia dieléctrica del aire. Esto puede ocurrir cuando se producen sobretensiones debido a descargas de rayos o sobretensiones de conmutación.

Cuando el aire se sobrecalienta con el paso de corriente a través de algún conductor. Esto es, si un alambre muy fino se somete a una corriente excesiva, el alambre se fundirá, y existirá un sobrecalentamiento del aire, iniciando un Arc Flash.

Capítulo IV. Riesgos Eléctricos

Donde sea que se trabaje con herramientas energizadas o en un circuito eléctrico, existen riesgos eléctricos, especialmente riesgos de Arc Flash.

Cualquiera puede estar expuesto a estos riesgos. Los trabajadores de cualquier empresa, están expuestos a mayores peligros debido a que los lugares de trabajo pueden estar desordenados o expuestos al aire libre, o simplemente no estar de acorde a una correcta instalación (falta de espacio, mala ubicación, mala iluminación, entre otras causas), esto se puede dar debido a una falta de control, o a un sistema de seguridad ineficiente.

Estar en contacto directo con un voltaje puede causar que la corriente fluya a través del cuerpo, resultando en un shock eléctrico o en quemaduras, serias lesiones o incluso la muerte puede ser causada, cuando se está en presencia de un accidente eléctrico.

Debido a que la electricidad forma parte de nuestra vida cotidiana, en ocasiones es tratada sin tanto respeto, lo que puede llegar a provocar algunos accidentes, cuando la gente entra en la llamada complacencia de trabajo, la cual no es otra cosa más que sentirse muy confiados al realizar un trabajo que se aparenta cotidiano, tal que se dejan de lado los posibles riesgos que se encuentran presentes al realizar una tarea.

Un shock eléctrico es la estimulación física que ocurre cuando la corriente eléctrica pasa a través del cuerpo humano.

Hay tres factores que contribuyen a un riesgo de arco eléctrico una vez establecido el peligro del Arc Flash: la magnitud de la corriente, duración del arco, y la distancia del trabajador al punto de la falla.

Para expresar de una mejor manera los efectos, la Figura 4.1 muestra un Arc Flash, producido entre dos terminales, aquí se pueden apreciar los diversos daños que puede causar el fenómeno, hay que proteger a los trabajadores de estos posibles riesgos.

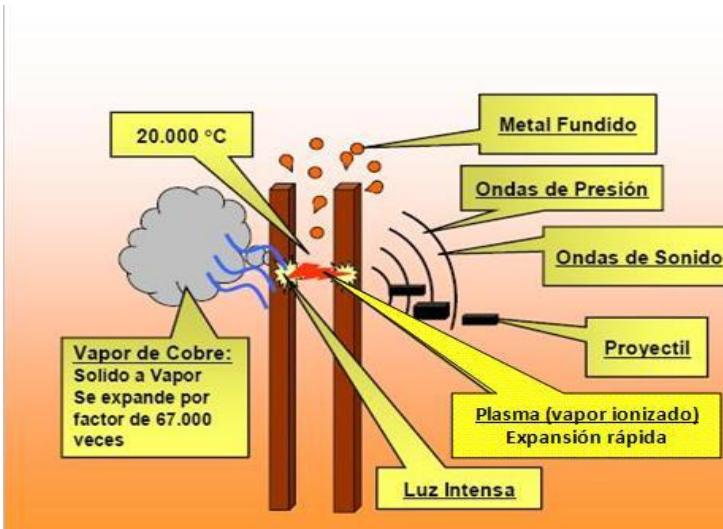


Figura 4.1 Riesgos producidos por el Arc Flash.

Para poder entender de otra manera los riesgos presentados en la Figura 4.1, podemos conocer las distancias existentes entre el punto de falla y el daño producido. Esto quiere decir que cuando estamos en presencia de una falla de Arc Flash también podemos darnos cuenta que existen distancias a las cuales el daño es minimizado no solo por el EPP, sino también por la distancia existente entre el punto de falla y la persona que se encuentra frente al fenómeno.

La NFPA, nos presenta la Figura 4.2 en donde se pueden apreciar los límites de riesgo existentes y las zonas de riesgo en un fenómeno de Arc Flash.

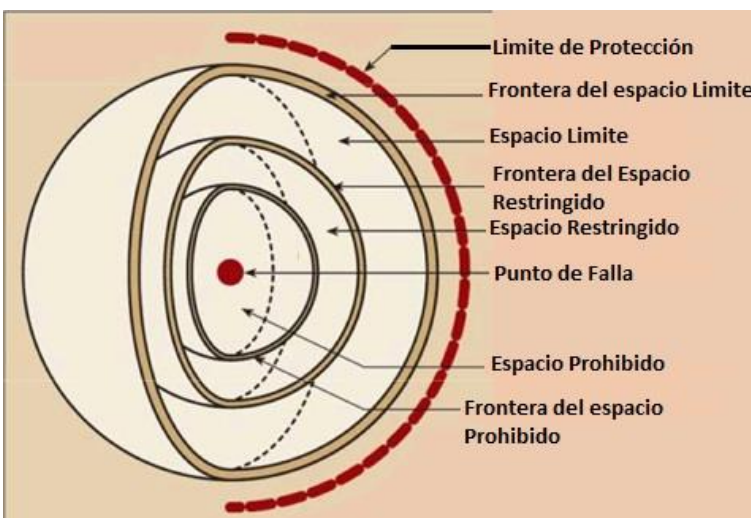


Figura 4.2 Límites de Riesgo, NFPA

4.1 Riesgos del arc flash

Como se puede apreciar en la Figura 4.1 existen cinco maneras en que un Arc Flash ocasione daños, e incluso la muerte.

4.1.1 Riesgo Térmico

Quemaduras fatales pueden ocurrir cuando la víctima se encuentra a pocos metros del punto de falla de Arc Flash. Serias quemaduras pueden ser causadas, inclusive a una distancia de 3 metros.

El fenómeno de Arc Flash presenta temperaturas muy altas en las terminales del arco, estas temperaturas pueden llegar cerca de los 20000°C. A pesar de que estas temperaturas fueron propuestas por el precursor del tema Ralph Lee, podemos también apreciar que dichas temperaturas varían dependiendo de factores como la distancia de arco, las condiciones ambientales, la energía incidente, entre otros.

La energía térmica provocada por un Arc Flash puede matar y herir al personal en sorprendentemente grandes distancias. Por ejemplo se han comprobado casos en que las quemaduras de segundo grado han sido causadas en la piel expuesta a distancias que llegan a superar los 3 metros, a partir del punto de la falla.

Prácticamente todos los tipos de fibras de la ropa pueden ser encendidos por las temperaturas del Arc Flash. La ropa hecha de fibras no resistentes al fuego seguirá ardiendo después de que la fuente de ignición se ha eliminado, y seguirá causando traumas físicos graves en la piel de los trabajadores.

Después de que se establece el arco, el voltaje del arco tiende a ser una función de la longitud del arco, y en consecuencia, la energía del arco es menos dependiente de la tensión del sistema y más dependiente de la magnitud de la corriente de falla. Esto significa que incluso los sistemas de bajo voltaje tienen riesgos de Arc Flash significativos y se deben tomar las precauciones adecuadas. Como un ejemplo podemos apreciar la Figura 4.3, donde se realizaron experimentos con maniqués expuestos al fenómeno. Como se puede apreciar, ambas tensiones de alta y baja pueden crear quemaduras importantes. Las imágenes de la izquierda, muestran el momento de falla cuando se está

trabajando con una alta tensión; los de la derecha muestran los efectos causados en la manipulación de baja tensión.



Figura 4.3 Experimentos con alta y baja tensión.

La exposición al calor producido por un Arc Flash puede producir heridas de quemaduras, aun cuando no existe contacto entre los equipos eléctricos y el cuerpo.

Las quemaduras pueden ser más graves cuando los trabajadores cuentan con las herramientas inadecuadas o joyería de metal en el momento de un Arc Flash. Pues el metal de la joyería puede calentarse tanto que se puede derretir y herir gravemente a su portador.

Además de que el punto de falla es un corto circuito y provoca una explosión, las altas temperaturas son capaces de derretir los componentes del equipo donde se presenta la falla y sus alrededores, los cuales con las ondas de presión pueden salir como metal fundido, agrediendo al personal cercano.

4.1.2 Riesgo por Presión

La onda de presión de la explosión puede lanzar a los trabajadores a través del cuarto, noqueándolos. La presión en el pecho puede ser mayor a 200 lb/ft².

Esta rápida expansión del aire crea un frente de onda que puede alcanzar presiones de 100 a 200 lb/ft² (4.8 a 9.6 KPa). Dicha presión es suficiente para explotar, que gire los componentes eléctricos en balas, inclusive puede empujar muros de hormigón, e impulsar el metal fundido y el plasma sobrecalentado a velocidades extremadamente altas, tomando en cuenta las temperaturas que estos proyectiles pueden llegar a alcanzar.

Las explosiones no siempre ocurren. A veces un arco no se acompaña de una explosión, pero cuando lo es, puede ser letal. La Figura 4.4 muestra la evidencia física de la presión ejercida por una explosión eléctrica, pues se aprecian las terminales de un equipo dentro de un CCM sin su puerta correspondiente, pues esta salió disparada en el momento de la explosión, es por eso que observamos los efectos térmicos, y la expansión de la celda del CCM.

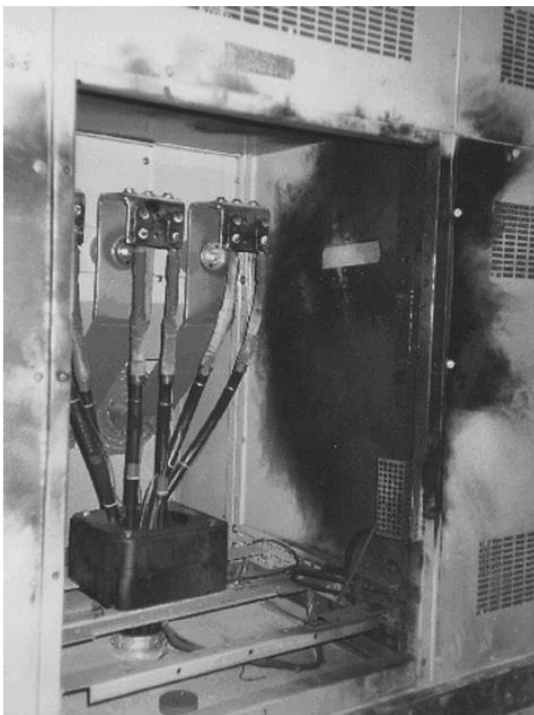


Figura 4.4 Ejemplo de una explosión de presión y térmica.

4.1.3 Riesgo por Audición.

El sonido puede tener una magnitud de hasta 140 decibeles a una distancia de 60 cm a partir del punto de falla, causando severos daños al oído de los trabajadores presentes.

4.1.4 Riesgo por proyectiles.

La extensión del Arc Flash produce la caída de pequeños objetos metálicos a alta presión. Dichos elementos pueden penetrar al cuerpo de los trabajadores.

Como se puede apreciar en la figura 4.5, los daños causados por el Arc Flash son fatales, pues nos damos cuenta que el panel se encuentra destrozado, y se puede apreciar los efectos térmicos causados, pues bien en conjunto con todos los daños, en el momento del fenómeno, en presencia de un trabajador, las partes que se observan faltantes salen disparadas, y pueden causar severos traumas al trabajador.



Figura 4.5 Riesgo por proyectiles, Origen Propio

4.1.5 Riesgo por proyectiles e Inhalación.

La explosión desprende gases tóxicos de los materiales involucrados, los cuales pueden inhalarse e intoxicar el cuerpo de los trabajadores.

Cuando se produce un Arc Flash, la vaporización de los conductores de metal sólido en un gas es un evento exotérmico, la liberación de calor conduce a un rápido sobrecalentamiento del aire circundante.

El vapor metálico puede ser tóxico para la exposición respiratoria o tejido pulmonar debido a su composición química y a la gran cantidad de calor. El sobrecalentamiento del aire circundante puede crear un efecto de explosión que conduce a un trauma acústico o a la destrucción del tejido de la explosión.

4.2 Riesgos a la Salud.

La electricidad puede causar severos daños al cuerpo humano en tres diversas maneras: la primera, por conversión de la energía eléctrica en energía luminosa, lo cual puede causar severos daños a los ojos; la segunda es la conversión de la energía eléctrica en energía calorífica, si esta toma lugar fuera del cuerpo el calor es usualmente asociado a una flama que puede causar quemaduras graves, por el contrario, cuando toma lugar dentro del cuerpo existe una mayor energía calorífica, ya que el cuerpo también actúa como una resistencia, provocando quemaduras por efecto Joule; la tercera, es el paso de la corriente eléctrica a través del cuerpo, la cual produce otros efectos asociados con el término “shock eléctrico”.

Basados en la investigación del profesor Charles Dalziel de la Universidad de California, Berkeley, el efecto de 60 Hz (ciclos por segundo) de la corriente sobre el cuerpo humano es generalmente aceptado para ser de la siguiente manera alterna:

- 1mA o menos-ninguna sensación (1.000 miliamperios equivalen a 1 A)
- 3 mA, una descarga más dolorosa
- 5 mA o más contracciones musculares
- 30 mA o más dificulta la respiración y puede causar la pérdida del conocimiento.
- 50-100 mA fibrilación ventricular del corazón
- 100-200 mA fibrilación ventricular del corazón cierta
- 200 mA o quemaduras más graves contracciones en el corazón, propensos a dejar que el musculo fibrile.

Por lo tanto, podemos darnos cuenta que hay diferentes tipos de lesiones que la electricidad puede causar. En el rango de 20 a 30 mA puede resultar una forma de anoxia (asfixia).

4.2.1 Daños a los Ojos.

Esta condición aparece después de ser visto el Arc Flash, sin la apropiada protección facial, los daños a los ojos pueden ser fatales, pues van desde quemaduras en las pestañas, así como la cara, o inclusive quemaduras en los ojos, además de causar ceguera temporal o total.

Este daño es causado por el Arc Flash ya que justo en el instante en que se produce dicho fenómeno, solo por unos milisegundos se aprecia una ráfaga de luz inmensa, la cual puede causar daños a la vista.

4.2.2 Quemaduras por efecto Joule.

Una quemadura por efecto Joule es causada por el paso de la corriente eléctrica a través de la piel. El efecto calorífico está determinado por la fórmula: I^2Rt

Las quemaduras Joule pueden ser causadas por voltajes medios solo si la víctima permanece en contacto con el conductor.

Los síntomas pueden incluir una sensación de leve hormigueo, contracciones musculares violentas, arritmia cardíaca, o daño a los tejidos.

4.2.3 Daños a la Piel.

La piel es la capa exterior que encierra completamente y envuelve el cuerpo. La piel de cada persona pesa alrededor de 2 Kilos, protege contra la invasión bacteriana y lesiones físicas de las células subyacentes, y evita la pérdida de agua. También proporciona al cuerpo la sensación, la regulación del calor y la excreción.

Las principales regiones de importancia para usos eléctricos son la epidermis, la dermis y las capas subcutáneas de la piel. Para las quemaduras eléctricas graves, los músculos subyacentes y los tejidos óseos pueden estar implicados también.

La epidermis, la capa superior de la piel, es de 0,1 a 1,5 milímetros de espesor, sin embargo, que se compone de cinco capas que incluyen la capa de células basales, la capa de células escamosas , el estrato granuloso , el estrato lúcido , y la capa más externa se llama la estrato córneo o " capa córnea ".

El estrato córneo comprende de 10 a 30 capas delgadas de células muertas que han sido " empujadas" a partir de las capas inferiores en el proceso del crecimiento normal.

El estrato córneo se compone principalmente de un material de proteína llamada queratina. De todas las capas de la piel, la queratina exhibe la más alta resistencia al paso de la electricidad. Cuando las áreas de la epidermis como las manos o los pies están sometidos a la fricción, la capa córnea se hace más gruesa y endurecida. Las áreas que se endurecieron de esta manera se llaman los callos y callosidades.

Las glándulas sudoríparas y los vasos sanguíneos tienen relativamente baja resistencia al paso de la electricidad y proporcionan un medio de acceso eléctrico a los tejidos internos húmedos y grasos. La mayor parte de la resistencia eléctrica mostrada por el cuerpo humano (véase la Tabla 4.2) proviene de la capa córnea.

4.2.3.1 Efectos sobre el flujo de corriente.

Puesto que el cuerpo es un conductor de la electricidad, la ley de Ohm se aplica como lo hace a cualquier otra sustancia física. Cuanta más gruesa sea la capa córnea, mayor será la resistencia eléctrica de la piel. Los trabajadores que han desarrollado una capa córnea gruesa tienen una mucha mayor resistencia a la electricidad que un niño con una capa extremadamente delgada. Sin embargo, como muestra la Tabla 4.2, incluso la resistencia alta de la piel no es suficiente para proteger a los trabajadores de una descarga eléctrica.

La resistencia de la piel es también una función de la cantidad de área de la piel que está en el circuito. Por lo tanto, una herramienta de agarre con la mano entera da una resistencia mucho menor que tocar la herramienta con un dedo. También, cualquier corte o abrasión penetra la capa córnea y reduce significativamente la resistencia total

del circuito de shock. La humedad, especialmente sudor, reduce en gran medida la resistencia eléctrica de la piel.

Tabla 4.2 Valores de Resistencia Nominal para Varias partes del Cuerpo Humano, Traducción, Ralph Lee.

Área del Cuerpo	Resistencia	
	SECO	HUMEDO
Toque de un dedo	40 k Ω -1 M Ω	4-15 k Ω
Palma de la mano	5-10 k Ω	1-3 k Ω
Agarre del dedo pulgar	3-8 k Ω	1-2 k Ω
Agarre de una mano	1-3 k Ω	0.5-1.5 k Ω
Agarre de dos manos	0.5-1.5 k Ω	250-750 Ω
Mano completa	-	200-500 Ω
Pie Completa	-	100-300 Ω
Cuerpo Humano, interno, excluyendo la piel	-	200-1000 Ω

4.2.3.2 Quemaduras

Quemaduras provocadas eléctricamente pueden provenir de cuatro posibles fuentes diferentes:

El contacto físico con los conductores, las herramientas, u otros equipos que se han calentado por el paso del flujo de corriente eléctrica. Este tipo de quemaduras no son diferentes de las quemaduras recibidas de cualquier objeto metálico caliente.

El flujo de corriente a través de la piel puede causar quemaduras por efecto Joule (RI^2). Puesto que tales quemaduras se producen desde dentro-fuera, con frecuencia son de tercer grado.

Las quemaduras térmicas o de radiación son causadas por la energía radiante del Arc Flash.

El contacto con plasma causado por la vaporización de materiales sólidos en las proximidades de un arco eléctrico.

Las quemaduras causadas por la corriente eléctrica son casi siempre de tercer grado debido a la combustión que se produce desde el interior del cuerpo. Las quemaduras eléctricas por flujo de corriente pueden ser especialmente graves cuando se refieren a los órganos internos vitales, pues pueden quemar dichos órganos quitando la vida a los trabajadores.

Las quemaduras causadas directamente por el fenómeno de Arc Flash son de naturaleza térmica, y por lo tanto pueden ser de cuatro diferentes categorías:

1. Las quemaduras de primer grado: causa un trauma doloroso a la capa externa (epidermis) de la piel. Pequeños daños permanentes los resultados de una quemadura de primer grado. La curación es generalmente rápido y no deja cicatrices.
2. Las quemaduras de segundo grado: Son a veces llamadas quemaduras de espesor parcial y causan daño a la epidermis y las capas de la dermis, la quemadura de segundo grado es generalmente muy dolorosa y suele causar ampollas en la piel, sin embargo, este tipo de quemadura se cura sin injertos de piel. Este tipo de quemaduras se clasifican a menudo en dos subcategorías:
 - a) Superficial: afectan la epidermis y la parte superior capa de la dermis llamada la dermis papilar.
 - b) Profundo: la quemadura profunda secundaria implica la epidermis y se extiende a través de la dermis papilar en la dermis reticular.
3. Las quemaduras de tercer grado: Destruyen la epidermis y la dermis y no suelen causar daños a la capa subcutánea. Este tipo de quemaduras resultan en la destrucción completa de los centros de crecimiento. Si la quemadura es pequeña, la curación puede producirse a partir de los bordes de la zona dañada, sin embargo, extensas quemaduras de tercer grado requieren un injerto de piel.

4. Las quemaduras de cuarto grado: Provocan graves daños a las tres capas de la piel y se extienden en el músculo, nervios, tendones, ligamentos, vascular, órganos y tejidos del hueso debajo de la piel. Las quemaduras eléctricas más graves son de cuarto grado.

4.2.4 El Sistema Nervioso.

El sistema nervioso comprende las vías de conducción eléctrica que se utilizan para comunicar información de una parte del cuerpo humano a otro. Para comunicarse, los impulsos eléctricos se transmiten de un nervio a otro. Por ejemplo, el corazón late cuando se aplica un impulso eléctrico a los músculos que lo controlan. Si se aplica algún otro impulso eléctrico, el sistema nervioso puede llegar a confundirse. Si la corriente es lo suficientemente alta, el daño puede ser permanente.

Por lo que el sistema nervioso se refiere, al menos, tres efectos principales pueden ocurrir cuando la corriente fluye a través del cuerpo:

1. Dolor: Es el método del sistema nervioso de señalización de lesión. Cuando la corriente fluye a través de los nervios, puede dar como resultado la dolorosa sensación de hormigueo.
2. La pérdida de control: Esta condición es similar al ruido eléctrico que cubre una señal de información en un sistema de telecomunicación u otras comunicaciones. Cuando esto sucede, el cerebro pierde su capacidad de controlar las diversas partes del cuerpo. Esta condición es más evidente durante la paralización eléctrica o retención eléctrica.
3. Daño permanente: Si se permite que persista, la corriente eléctrica puede dañar el sistema nervioso de forma permanente. Este daño toma la forma de las neuronas y/o sinapsis destruidas. Dado que el sistema nervioso es la vía de comunicaciones utilizado para controlar los músculos, tal daño puede resultar en la pérdida de la sensación y/o la función dependiendo del tipo de lesión.

4.2.5 Sistema Muscular.

El sistema muscular proporciona la acción de motriz para el cuerpo humano.

Cuando el sistema nervioso estimula los músculos con impulsos eléctricos, los músculos se contraen para mover el cuerpo y realizar la actividad física.

Las descargas eléctricas pueden afectar a los músculos en al menos tres aspectos significativos:

1. La acción de reflejos: Las contracciones musculares son causadas por impulsos eléctricos. Normalmente estos impulsos vienen del sistema nervioso. Cuando una corriente inducida desde el exterior fluye a través de un músculo, se puede hacer que el músculo se contraiga, tal vez violentamente. Esta contracción puede causar que los trabajadores caigan de las escaleras o choquen contra las puertas de acero u otras estructuras.
2. Parálisis eléctrica: Magnitudes superiores a 10 mA puede ser suficiente para bloquear las señales del sistema nervioso con el sistema muscular. De este modo, cuando una corriente tal externa está fluyendo a través del cuerpo, la víctima puede ser incapaz de controlar sus músculos. Esto significa que la víctima no puede dejar ir, él trabajador se encuentra atrapado eléctricamente hablando. Como la corriente continua, la acción de calentamiento y la quema puede disminuir la resistencia de la ruta y causar un aumento en la corriente. Si la corriente no se interrumpe o si la víctima no es liberada del circuito, se producirá la muerte.
3. Daño permanente: Si la corriente es suficientemente alta, el tejido muscular puede ser destruido por la quema. Incluso las corrientes muy bajas provocarán la destrucción del tejido si duran el tiempo suficiente. Debido a que dicha quema destruye las zonas de crecimiento de los tejidos, el daño puede ser muy lento para sanar.

4.2.6 El Corazón.

El corazón es una bomba del tamaño de un puño que late más de 2.5 billones de veces en toda su vida de 75 años promedio. Las aurículas y los ventrículos trabajan juntos, alternativamente contraer y relajar para bombear la sangre a través del corazón. El sistema eléctrico del corazón es la fuente de energía que hace que esto sea posible. Normalmente, un latido del corazón comienza en el nódulo sinusal, viaja a

aproximadamente 2.1 m/s a través del nodo Aurículo/Ventrículo y ramas derecha e izquierda. La contracción resultante envía la sangre que fluye desde el corazón.

Esta secuencia se produce con cada latido (por lo general 60 a 100 veces por minuto). Si la ruta se interrumpe por cualquier motivo, aunque sea por un par de minutos, los cambios en la frecuencia cardíaca y el ritmo que se producen pueden ser fatales.

Cuando el sistema eléctrico del corazón se altera por cualquier motivo, como una corriente externa de una descarga eléctrica, se producen cambios en el ritmo del corazón y el ritmo. Tales interrupciones dan como resultado en un gran porcentaje las muertes de corazón.

Los impulsos eléctricos en el corazón deben estar coordinados para dar un golpe suave, rítmico. Una corriente fuera de tan sólo 60 a 75 mA puede molestar a los impulsos nerviosos por lo que ya no es un latido sincronizado suave. En cambio, el corazón fibrila - es decir, de una manera rápida, sin coordinación. Cuando un corazón está en fibrilación, se agita inútilmente. La exposición prolongada a una corriente exterior superior a 75 mA es probable que resulte con la muerte.

Como cualquier músculo, el corazón se paraliza si la corriente que fluye a través de él es de magnitud suficiente. Curiosamente, la parálisis del corazón no suele ser mortal si la corriente se elimina con la suficiente rapidez. De hecho, tales parálisis se utilizan para una ventaja en los desfibriladores. Un desfibrilador intencionalmente aplica corriente paralizando el corazón. Cuando se retira la corriente, el corazón está en un estado relajado listo para la siguiente señal. Con frecuencia, el corazón se reinicia.

Cualquier órgano interno, como el corazón, puede ser quemado por los flujos de corriente por encima de los 5 A. Estas quemaduras son a menudo fatales.

4.2.7 El Sistema Pulmonar.

Con la excepción del corazón, el sistema pulmonar es el más crítico para la vida humana. Si la respiración se detiene, lo que puede ocurrir con apenas 30 mA, puede causar daño cerebral en tan sólo cuatro minutos. Cuando el diafragma inferior se mueve hacia abajo, se crea un vacío parcial en la cámara de pecho. Esto a su vez lleva aire a los alvéolos de los pulmones. El oxígeno se pasa a la corriente sanguínea a través de los capilares

pequeños. Al mismo tiempo, el dióxido de carbono se devuelve al aire en los pulmones. Cuando el diafragma inferior se mueve hacia arriba, el aire es forzado a salir de los pulmones, completando así el ciclo de respiración.

El flujo de corriente a través de la sección media del cuerpo puede interrumpir los impulsos del sistema nervioso que regulan la función de la respiración. Esta interrupción puede tomar la forma de irregulares, respiración esporádica, o si el flujo de corriente es suficiente, el sistema pulmonar puede ser paralizado por completo. Cuando se produce esta paralización, a menudo se requiere de primeros auxilios.

4.2.8 Condición Física y Respuesta Física.

La condición física del individuo influye en gran medida los efectos de flujo de corriente. Una determinada cantidad de flujo de corriente a menudo causa menos trauma a una persona en buena condición física. Por otra parte, si la víctima tiene problemas de salud específicos, tales como enfermedades del corazón o de los pulmones, estas partes del cuerpo se verán gravemente afectadas por las corrientes relativamente bajas.

Existen varios factores que influyen en la gravedad de un shock eléctrico. Dentro de los cuales podemos destacar la condición física de la víctima, el camino del flujo de la corriente, la duración del flujo de la corriente, la frecuencia de la corriente y la magnitud de la tensión del shock eléctrico.

4.2.9 Duración de la Corriente.

La cantidad de energía suministrada al cuerpo es directamente proporcional a la longitud de tiempo que fluye la corriente, consecuentemente, el grado del trauma es también directamente proporcional a la duración de la corriente, se pueden ilustrar dos ejemplos:

El flujo de la corriente pasa a través de los tejidos del cuerpo suministrando energía en forma de calor. La magnitud de la energía se puede aproximar por:

$$J=I^2Rt$$

J= energía en Joules

I= corriente, Amperes

R= resistencia de la trayectoria de la corriente a través del cuerpo, ohms

t= tiempo de flujo de la corriente, segundo

Si se suministra suficiente calor se puede producir la quema de los tejidos. Hay que tener en cuenta que la cantidad de energía entregada es directamente proporcional a la duración de la corriente (t).

Una parte del flujo de corriente causado externamente tenderá a seguir los caminos de corriente utilizados por el sistema nervioso central del cuerpo. Puesto que la corriente externa es mucho mayor que el flujo de corriente normal del sistema nervioso, se puede dañar el sistema nervioso. Teniendo en cuenta que el daño del sistema nervioso puede ser fatal incluso con períodos relativamente cortos de corriente, sin embargo, una mayor duración aumenta la probabilidad de que se produzcan daños.

Capítulo V. Normatividad

El Arc Flash es un fenómeno que puede ocurrir en cualquier lugar de la industria, y debemos estar conscientes de los riesgos que representa, si bien preocupados por la seguridad de los trabajadores, existen diversas normas y estándares que nos ayudan a aplicar mejor nuestros conocimientos acerca del tema para poder evitar posibles accidentes y disminuir los riesgos eléctricos, desde contar con una buena capacitación de los trabajadores hasta contar con una instalación eléctrica segura y bien diseñada.

Existen diferentes estándares que deben ser tomados en cuenta para la seguridad de los trabajadores, como lo son los estándares de la OSHA, la cual al ser una organización dedicada a vigilar la seguridad de los trabajadores, no deja de lado la seguridad eléctrica, y es por ello que debe ser tomada en consideración, por otro lado, otro estándar que establece los requerimientos necesarios para evitar los riesgos de Arc Flash; en este caso nos referimos al estándar NFPA 70E (Standard for Electrical Safety in the Workplace), el cual define las bases de las prácticas a ser seguidas por las empresas para la seguridad eléctrica, incluyendo niveles de protección de ropa y algunas recomendaciones para la correcta capacitación de los trabajadores.

Otro estándar que también debe ser tomado en cuenta es el que provee la IEEE y es el llamado “Guide for Performing Arc Flash Hazard Calculations”, el cual traducido al español quiere decir: “Guía para la Realización de Cálculos de Riesgos de Arc Flash” denominado también “IEEE 1584”, y es una guía de los diferentes métodos proporcionados para poder establecer los riesgos de Arc Flash.

5.1 OSHA.

Como es sabido la OSHA por sus siglas en inglés (Occupational Safety and Health Administration), en español, (Administración de Seguridad y Salud Ocupacional), es un organismo de carácter internacional encargado de la seguridad de los trabajadores en toda industria, pues asegura estándares que enmarcan situaciones y condiciones específicas para proporcionar a los trabajadores de seguridad cuando estos realicen cualquier tipo de trabajo.

Para fines de este proyecto de investigación, solo se consideraran algunos estándares que la OSHA enmarca para la seguridad eléctrica de los trabajadores, esto es con el fin de entender porque no lleva al éxito los estándares y se preocupan por la seguridad de los trabajadores ante los riesgos eléctricos en general, y en específico para los riesgos que el Arc Flash representa.

La OSHA ofrece a las empresas y a los trabajadores algunas guías para poder realizar trabajos eléctricos de seguridad, mantenimiento y procedimientos de operación.

Todas las regulaciones de la OSHA requieren que las empresas tengan la documentación adecuada de que sus empleados estén debidamente capacitados, demostrando eficiencia en tareas eléctricas. Además, las empresas deben mantener estas certificaciones durante la estadía de sus trabajadores.

Algunas regulaciones de capacitación de la OSHA van más allá de hacer responsables a las empresas en estas capacitaciones, para poder asignar tareas específicas a los trabajadores quienes están certificados, son competentes o calificados para realizar las tareas en las cuales han recibido una capacitación específica. Estos requerimientos afirman las creencias de la OSHA de que la capacitación es parte de los programas de seguridad y salud de cada empresa.

Para los fines de este proyecto se mencionaran a continuación algunos artículos que deben ser tomados en consideración, cuando se haga una revisión de la OSHA, en cuestiones de seguridad de Arc Flash.

Seguridad Eléctrica Relacionada a las Prácticas de Trabajo.

- OSHA – Estándar 1910.331
- Sección 1910.331 (a) – Cobertura del trabajo por trabajadores calificados y no calificados.
- Sección 1910.331 (b) – Otros tipos de trabajos para personas no calificadas.
- Sección 1910.331 (c) – Trabajos exclusivos para personas calificadas.

Seguridad Eléctrica Relacionada a las Prácticas de Trabajo. Capacitación.

- OSHA Estándar 1910.332

- Sección (a) – Alcance.
- Sección (b) – Contenido de la Capacitación.
- Sección (c) – Tipos de Capacitación.

Seguridad Eléctrica Relacionada a las Prácticas de Trabajo. Selección y Uso de Prácticas de Trabajo.

- OSHA Estándar 1910.333
- Sección (a) – General.
- Sección (b) – Trabajando en o cerca de partes desenergizadas expuestas.
- Sección (c) – Trabajando en o cerca de partes energizadas expuestas.

Seguridad Eléctrica Relacionada a las Prácticas de Trabajo. Uso de Equipo.

- OSHA Estándar 1910.334
- Sección (a) – Equipo Eléctrico Portátil.
- Sección (b) – Circuitos de Alimentación y de Iluminación.
- Sección (c) – Instrumentos y Equipos de Prueba.
- Sección (d) – Uso ocasional de Materiales Flamables.

Seguridad Eléctrica Relacionada a las Prácticas de Trabajo. Salvaguardar la protección del Personal.

- OSHA Estándar 1910.335
- Sección (a) – Uso de Equipo de Protección.
- Sección (b) – Técnicas de Alerta.
- Equipo de Protección Personal.
- Técnicas de Protección.
- Equipo de Protección Eléctrico.
- Equipo de Protección de Arc Flash.
- Equipo de Protección contra Explosiones.
- Otros Equipos de Protección.

5.2 NFPA 70E (STANDARD FOR ELECTRICAL SAFETY IN THE WORKPLACE)

La NFPA 70E (Estándar para la seguridad eléctrica en el lugar de trabajo) por sus siglas en inglés (National Fire Protection Association), en español (Asociación Nacional de

Protección Contra el Fuego), es un estándar integral que provee de valiosa información al patrón y a los trabajadores acerca de la seguridad eléctrica que se debe tomar en cuenta y con la que se debe contar en los diferentes lugares de trabajo, así como los procedimientos a seguir para realizar satisfactoriamente las tareas a realizar. Los trabajadores que realicen tareas en las áreas de trabajo eléctricas deben estar debidamente cualificados y respectivamente equipados con su EPP.

Para las consideraciones de riesgos de Arc Flash, la NFPA 70E se enfoca en el artículo 130 “Working On or Near Live Parts”, (Trabajos cerca o en Partes Vivas), aplica a todo el personal que trabaja en equipos eléctricos energizados con un voltaje superior a 50 V o equipos que puedan producir un Arc Flash, donde los trabajadores pueden estar expuestos a los riesgos eléctricos, lo que significa que prácticamente todos los sectores tienen empleados en situación de riesgo, y este estándar define medidas necesarias que se deben tomar en cuenta para prevenir adecuadamente lesiones graves en caso de un accidente de Arc Flash.

Este estándar requiere que el patrón de una justificación para tener a los trabajadores en o cerca de las partes energizadas. Debido al daño potencial que se involucra en dicho trabajo, el estándar es claro en que el equipo eléctrico debe estar desenergizado antes de que se inicie un trabajo a no ser que el patrón pueda demostrar la necesidad de trabajar con el equipo energizado (artículo 130). Si el trabajo debe ser realizado mientras el equipo esta energizado se debe tramitar por escrito los permisos de trabajo correspondientes. La única excepción permitida para que estas tareas sean calificadas por los trabajadores, es usando las prácticas de trabajo seguro, un apropiado EPP para trabajos con altos voltajes y pruebas; pero aun así deben informar al patrón de las razones de estar presentes en esas áreas de trabajo.

5.2.1 Propósito.

El propósito de este estándar es proveer a los empleados de áreas seguras de trabajo relacionadas a los peligros del uso de la electricidad.

5.2.2 Alcance

5.2.2.1 Cobertura

Este estándar aborda las prácticas eléctricas de trabajo relacionadas con la seguridad de los lugares de trabajo de los empleados que son necesarios para la salvaguarda práctica de los empleados en relación con los riesgos asociados a la energía eléctrica durante actividades tales como la instalación, operación, mantenimiento y demolición de conductores eléctricos, equipos eléctricos, de señalización y conductores de comunicaciones y canalizaciones.

Este estándar también incluye seguridad a los trabajadores en actividades donde pueden estar expuestos a riesgos eléctricos como:

1. Instalación de conductores y equipos que han sido conectados a una alimentación eléctrica
2. Instalaciones utilizadas por la empresa como los edificios de oficina, almacenes, garajes, talleres mecánicos, y edificios recreativos que no son una parte integral de un centro de la planta de generación, subestaciones o centros de control.

5.2.2.2 No Cobertura

Este estándar no cubre la seguridad relacionada con las siguientes prácticas.

- 1) Instalaciones en barcos, botes o alguna otra construcción flotante, material rodante ferroviario, aeronaves o vehículos automotores, aparte de las casas rodantes.
- 2) Instalaciones subterráneas en minas, así como la maquinaria para la minería.
- 3) Las instalaciones de los ferrocarriles para la generación, transformación, transmisión o distribución de energía utilizada exclusivamente para la acción de operación y fines de señalización y de comunicaciones de laminación.
- 4) Instalaciones de equipos de comunicaciones bajo el control exclusivo de los servicios públicos de comunicaciones situados al aire libre o en la construcción de los espacios utilizados exclusivamente para este tipo de instalaciones.

La NFPA 70E está dividida en tres capítulos:

- Capítulo I: Seguridad Relacionada en Prácticas de Trabajo.
- Capítulo II: Seguridad Relacionada con los Requerimientos de Mantenimiento.
- Capítulo III: Seguridad Relacionada para Equipos Especiales.

El capítulo I cubre las responsabilidades del personal (ambos el patrón y el empleado tienen responsabilidades específicas de seguridad), requerimientos de capacitación, el establecimiento de un programa de seguridad eléctrica, y el establecimiento de condiciones de trabajo eléctrico seguro.

Pues esto es porque haciendo un análisis rápido de los artículos mencionados en el estándar cabe destacar al artículo 100, el cual considera las definiciones básicas y generales además de algunas particulares para lograr un mejor entendimiento del tema y del mismo estándar; conceptos que han sido tomados en cuenta en este proyecto de investigación, los cuales se mencionan en el desarrollo del mismo.

El artículo 105 trata acerca de la aplicación de seguridad en las prácticas de trabajo en conjunto con el artículo 110 se establecen las responsabilidades de los patrones y de los trabajadores, así mismo como los puntos mínimos que deben ser tomados en cuenta al realizar una capacitación a los trabajadores para que ésta sea completa, precisa y adecuada.

El artículo 120 establece las condiciones que deben ser consideradas por las empresas para contar con lugares y condiciones de trabajo seguros, mencionando y especificando los límites de los riesgos existentes. El artículo 130 menciona las practicas seguras que deben ser realizadas para poder llevar a cabo un trabajo dentro de los límites de peligro, proporcionando así mismo diversas tablas donde se especifican los límites de peligro de acuerdo a los niveles de tensión de los equipos, incluyendo también una explicación detallada de la conformación del equipo de protección personal que debe ser usado para realizar algún trabajo, sobre el cual se especifica en el capítulo posterior, realizando también diversas tablas que facilitan la mejor elección del EPP.

El artículo 130.7 es uno de los más importantes, ya que menciona las condiciones del EPP desde las protecciones del cuerpo humano, hasta las condiciones de los materiales de dicho EPP, así como el mantenimiento de dicho equipo; artículo del cual se desprende el capítulo en este proyecto de investigación dedicado a las especificaciones del EPP.

El Capítulo II cubre los requerimientos de trabajo seguro para equipos eléctricos e instalaciones en lugares de trabajo incluidos en el capítulo I. Estos requerimientos

identifican solo el mantenimiento asociado directamente con la seguridad de los trabajadores.

El capítulo II prescribe métodos de mantenimiento o pruebas. Es responsabilidad del patrón elegir diversos métodos de mantenimiento disponibles para satisfacer los requerimientos de seguridad, enmarcados en este capítulo.

Habla acerca de la seguridad que está relacionada en los requerimientos de mantenimiento, pues el artículo 205 proporciona algunas bases de dichos requerimientos que deben ser tomados en cuenta antes de poder realizar algún tipo de mantenimiento en las áreas donde existen riesgos, así, junto con el artículo 210 se mencionan las condiciones a realizar para poder llevar a cabo un mantenimiento seguro identificando los posibles riesgos, para así poder evitarlos.

El Capítulo III trata acerca de los requerimientos de seguridad que se deben tomar en cuenta para el uso y operación de algunos tipos de equipos eléctricos como lo son: equipo electrónico, uso de láseres, cuarto de baterías y celdas electrolíticas.

Un ejemplo del uso de esta norma, se muestra a continuación para la determinación de un trabajo con equipo energizado.

Dos pasos son requeridos para que se realice un trabajo con equipo energizado. Primero el patrón debe establecer los límites de Arc Flash (sección 130.3 (A)). Luego debe determinar la ropa apropiada de protección y EPP requerido para que los trabajadores realicen una tarea dentro de los límites de Arc Flash (sección 130.3 (B)). Para esto el patrón debe conocer los niveles de peligros determinados para dichas tareas. Para estos trabajos, el patrón debe considerar todas las tareas en las cuales el trabajador puede estar expuesto a los riesgos de Arc Flash. Esto requiere un inventario completo de todas las herramientas y dispositivos dentro del lugar de trabajo donde se realizan las tareas.

Los límites de aproximación a las partes vivas se han definido anteriormente y también se ilustran en la figura 4.2 estos forman una serie de límites de exposición a la energía eléctrica, conductores o partes del circuito. Los requisitos para el cruce de estos límites son cada vez más restrictivos a que el trabajador se acerque a partes vivas expuestas.

El estándar sugiere tres opciones para poder determinar los niveles de riesgo. Un camino para calcular los niveles de riesgo usando el conocimiento de los parámetros eléctricos tales como la corriente de corto circuito en esos puntos, el voltaje manejado y la duración y distancia existente entre el posible Arc flash y el trabajador (sección 130.3 (B)). El otro método utiliza tablas [sección 130.7(C) (9) (a), 130.7(C) (10) y 130.7(C) (11)] para la lista de trabajos eléctricos comunes. Para el uso de estas tablas es necesario considerar todos los límites de referencia para confirmar que los datos en estas tablas son apropiados para sistemas eléctricos particulares y las prácticas de trabajo sean evaluadas.

Los niveles de riesgo utilizando cualquiera de estos métodos están definida bajo las unidades de calorías sobre centímetro cuadrado (cal/cm²). Una vez establecido los niveles de riesgo eléctrico para las tareas a realizar se procede con hacer una relación de acuerdo a los niveles de energía con las protecciones adecuadas (EPP) para poder realizar trabajos en esas áreas. El último paso es proveer a los trabajadores del EPP adecuado para realizar los trabajos sugeridos por la NFPA 70E.

El sitio debe minimizar la exposición de los trabajadores a los riesgos laborales mediante el empleo de ingeniería eficaz o controles administrativos siempre que sea posible.

Los empleados deben recibir capacitación antes de ser asignados a algún trabajo que implique el uso de EPP. Dentro de esta capacitación es necesario que los trabajadores sean informados acerca de cuándo es necesario el uso del EPP, además de conocer el EPP necesario para cualquier situación, tener un mantenimiento adecuado del EPP, así como conocer sus funciones y sus límites.

Es necesario implementar este estándar, no solo por cumplir, sino hay que hacerlo para prevenir accidentes; algunos piensan que no es la ley, y que no importa, sin embargo el desconocimiento del tema puede terminar en fatales accidentes.

5.3 IEEE 1584

Un estándar creado por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, la cual toma sus siglas en ingles IEEE del nombre “Institute of Electrical and Electronics Engineers”,

que lleva el nombre de “Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations” que en español quiere decir: “Guía para la realización de cálculos de riesgo de Arc Flash”

Esta guía provee de técnicas para el diseño y facilitación a los usuarios la aplicación de determinación de los límites de riesgo de Arc Flash y la energía incidente a los cuales pueden estar expuestos los trabajadores en una instalación eléctrica durante maniobras en equipos eléctricos.

Esta guía presenta métodos para el cálculo de la energía incidente y los límites de arco a los cuales pueden estar expuestos los trabajadores. Presenta ecuaciones necesarias para poder encontrar la energía incidente y los límites de protección de Arc Flash, además de algunos softwares como solución alternativa.

El capítulo 3 del estándar enmarca algunas definiciones necesarias, las cuales ya se han definido en este proyecto de investigación.

El capítulo 4 menciona el proceso de análisis a seguir para realizar los cálculos necesarios para determinar la energía incidente. Se enmarcan 9 pasos a seguir los cuales se enumeran a continuación.

1. Recolección de los datos e instalación del sistema
2. Determinación del modo de operación del sistema.
3. Determinación de las corrientes de falla.
4. Determinación de las fallas de arco
5. Encontrar las características de los dispositivos de protección y la duración del arco.
6. Determinación de los voltajes y las clases de equipos.
7. Selección de las distancias de trabajo.
8. Determinación de la energía incidente para todos los equipos.
9. Determinación de los límites de arco para todos los equipos.

El capítulo 5 presenta un modelo para el cálculo de la energía incidente, basado en los cálculos y formulas presentadas por Ralph Lee. Por otro lado, el capítulo 7 presenta una comparación de los diferentes métodos de cálculo de Arc Flash.

El capítulo 8 presenta pruebas de laboratorio para analizar los diferentes tipos de falla. El artículo 9 es un desarrollo de un modelo el cual se presenta como un ejemplo a seguir para poder realizar el cálculo de la energía incidente, los límites de Arc Flash y la correcta elección de EPP.

5.4 NEC

En la sección 110.16 del National Electrical Code, se especifica la protección contra Arc Flash que es requerida para equipos eléctricos tales como cuadros de distribución, tableros, paneles de control y los centros de control de motores, que son propensos a requerir un mantenimiento o ajustes con equipos energizados, y dichos equipos deben ser marcados para advertir a las personas calificadas acerca de los riesgos potenciales de Arc Flash.

Menciona de esta manera que es importante expresar en los propios equipos cuales son los riesgos que se pueden presentar en esos equipos, de acuerdo a sus características, como lo son la ubicación, los voltajes manejados, las posibles corrientes de falla, entre otros, esto con el fin de prevenir a operadores y externos al equipo, de los riesgos que representa.

Capítulo VI. Equipo de protección personal de arc flash

Todos los días, los accidentes de Arc Flash hieren o matan a los trabajadores que no están debidamente capacitados y protegidos, pero el uso de un Equipo de Protección Personal (EPP) adecuado, puede minimizar los accidentes y su gravedad. El EPP por sí solo no puede sustituir una formación completa de seguridad, pues se deben llevar a cabo los procedimientos adecuados, como bloqueos, etiquetado y mantenimiento de los equipos eléctricos.

Cuando exista una interacción entre el personal y los equipos eléctricos energizados, se está en presencia de un riesgo eléctrico, por lo que todo personal que se encuentre dentro de un área de trabajo eléctrico deberá usar una protección adecuada que le proteja contra los riesgos que puede representar el Arc Flash.

Para realizar cualquier análisis de Arc Flash, se debe tener el conocimiento de los datos requeridos en un estudio de Arc Flash, en caso de no contar con dicho estudio se deberá realizar previo a elegir algún tipo de protección, pues de lo contrario las acciones tomadas pueden ser erróneas y esto conllevará a tener un mayor riesgo para los trabajadores.

Los programas de equipo de protección personal han sido desarrollados para minimizar el riesgo al que los empleados se presentan, como riesgos de seguridad y de salud en el trabajo relacionado con la descarga de la energía cuando se trabaja dentro de la distancia del límite de Arc Flash. El tipo de equipo eléctrico, voltaje de los equipos y tareas de trabajo que se realizan, así como la energía incidente, determinan esta distancia. La protección se otorgará mediante la correcta selección de EPP cuando los empleados están dentro de los límites de Arc Flash.

6.1 Selección de Ropa Para Protección contra Arc Flash.

Existen normatividades y estándares que rigen la protección de los trabajadores cuando estos se encuentren en presencia de un riesgo de Arc Flash, además que también proporcionan mejores ideas para poder capacitar a los trabajadores acerca de su propia seguridad en presencia de un riesgo de Arc Flash.

La intensa energía y la muy corta duración de un Arc Flash, representa una exposición única. Todos los días la ropa de trabajo hecha de algodón, independientemente de su peso, puede ser rápidamente encendida por alguna exposición y continuará quemándose, añadiendo gravedad a las heridas causadas. La NFPA 70E exige ahora a los empleados a usar ropa protectora de algodón que sea resistente al fuego y que cumpla con los requisitos de la norma ASTM F1506 donde quiera que haya una posible exposición a un Arc Flash. Para ello es necesario que la empresa lleve a cabo un estudio de Arc Flash para poder determinar los límites apropiados.

El estándar NFPA 70E está diseñado para dar a conocer información para proteger a los empleados que trabajan dentro de estos límites de protección de Arc Flash, al exigir la ropa de protección para la correspondiente categoría de riesgo, y es por ello que nos proporciona una tabla donde se pueden encontrar la descripción de las necesidades de la ropa que vayan de acuerdo a la categoría o niveles de riesgo, así como a la protección mínima que ofrecen a los trabajadores. En la Tabla 6.1 se puede apreciar esta información, la cual es la traducción de la tabla presentada por la NFPA 70E 130.7(C)(11).

Tabla 6.1 Sistema de Ropa Protectora. Origen: Tabla 130.7(C)(11) NFPA 70E. Traducción.

Sistema de Ropa Protectora		
Tabla 130.7(C)(11) Características de Ropa de Protección.		
Niveles de Riesgo Categoría	Descripción de la Ropa	Protección mínima en cal/cm ²
0	Todo tipo de material	N/A
1	Camisas y pantalones resistentes a la flama	4

2	Camisas y pantalones resistentes a la flama más Ropa interior de Algodón	8
3	Camisas y pantalones resistentes a la flama, Ropa interior de Algodón más protección adicional resistente a la flama	25
4	Camisas y pantalones resistentes a la flama, Ropa interior de Algodón más doble protección adicional resistente a la flama de abrigos y pantalones	40

6.1.1 Ropa Interior.

Antes de poder hacer un análisis acerca del equipo de protección que nos va a ayudar a protegernos de los riesgos de Arc Flash, debemos tener en cuenta que la ropa que usamos a diario en las actividades dentro de una empresa también debe ser cómoda y estar dentro de algunos rangos permitidos para asegurar nuestra protección, así como es el caso de una ropa interior adecuada.

Pues bien para la seguridad de los trabajadores el uso de ropa interior adecuada también debe considerarse, no se permite el uso de ropa interior de licra ni de ninguna otra tela que pueda poner en riesgo la vida de los trabajadores.

Considerando las especificaciones de telas que nos proporciona la “Tabla 6.1 Sistema de Ropa Protectora”, se toma en cuenta que la ropa interior de los trabajadores debe ser de algodón resistente al fuego, debe proteger en gran medida una de las partes más sensibles del cuerpo de los trabajadores, esto puede depender de las políticas de cada empresa; sin embargo algunas empresas optan por proporcionar a los trabajadores con la ropa interior adecuada, como se puede apreciar en la Figura 6.1, se muestran algunos ejemplos de la ropa interior que ofrece una empresa dedicada a la fabricación de equipos de seguridad, los cuales abarcan a los trabajadores de ambos sexos, es por ello que se les aprecia con ropa adecuada a trabajos eléctricos, de algodón, resistente al fuego y cubriendo las necesidades que la ropa naturalmente de cubrir ciertas partes del cuerpo.



Figura 6.1 Ropa Interior. Origen: Catálogo Salisbury.

Aunque en la Figura 6.1, se muestra la ropa interior que debe ser usada por los trabajadores de ambos sexos, también se puede optar por ropa de la misma tela que cubra una menor parte del cuerpo para una mayor comodidad de los trabajadores. Pues de esta manera se estará cubriendo la necesidad de la ropa interior y de la comodidad de los trabajadores. Esta elección dependerá de las políticas de las empresas.

6.1.2 Ropa de Trabajo.

Como ya es sabido, la seguridad en las empresas ha tomado gran preocupación para que los trabajadores sean debidamente capacitados y proporcionados de herramientas y equipos para conservar su seguridad, inclusive se ha tomado en cuenta que la vestimenta también es parte de la seguridad, y es por ello que se han creado diversos códigos de vestimenta, pues así como existen códigos de vestimenta que rigen al personal administrativo que da la cara a los clientes en las empresas, también el personal operativo debe contar con ciertas reglas, en este caso un código de vestimenta de seguridad, el cual debe ser implementado en los sistemas de seguridad de las empresas, pues en muchas empresas se prohíbe el paso a zonas productivas con la ropa inadecuada.

Uno de los principales riesgos existentes en las áreas productivas son los riesgos eléctricos, ya que una instalación eléctrica recorre toda la empresa y cuenta con diferentes áreas donde se prohíbe el paso a personas no capacitadas, además de que algunos equipos expuestos que cuentan con una distancia mínima de seguridad, y al ser la electricidad un medio de alimentación para toda la empresa, los trabajadores deben contar con ropa adecuada y más cuando se trata de áreas donde existen diversos equipos eléctricos, esta ropa no solo ofrece a los empleados una protección eléctrica, sino de diferentes índoles; sin embargo para fines de este proyecto de investigación solo se consideraran los fines eléctricos, es por ello que dicha ropa debe de estar hecha de materiales como algodón y que proporcione resistencia al fuego para que les permita a los trabajadores una mayor seguridad al desplazarse por la planta, y más específicamente en las áreas eléctricas.

Una de las principales prendas que son aptas para la protección de los trabajadores son los pantalones de mezclilla, pues esta tela es resistente y retarda el fuego, además que su uso como equipo de protección personal básico está permitido. En el caso de un EPP eléctrico, la mezclilla y el algodón con resistencia al fuego están permitidos para realizar trabajos eléctricos, en la Figura 6.2 se muestran diferentes tipos de pantalones de mezclilla y algodón permitidos en el uso de EPP eléctrico.



Figura 6.2 Pantalones de Trabajo. Origen: Catálogo Salisbury. Diferentes tipos de pantalones cubren las especificaciones mínimas de protección eléctrica.

Ya hemos analizado la ropa de EPP básica que cubre a las piernas, la protección básica de los brazos y del cuerpo radica en el mismo tipo de tela, se pueden usar camisas,

sudaderas, y playeras; sin embargo el uso de camisas es la mejor opción para las empresas, pues proporcionan una seguridad a los trabajadores y les da una mejor presencia, además de ser una prenda cómoda, en la Figura 6.3 se muestran diversos tipos de ejemplos de prendas que pueden ser usadas como EPP básico.



Figura 6.3 Camisas y Sudaderas de Trabajo. Origen: Catálogo Salisbury.

Para algunas empresas el sentido de pertenencia ayuda mucho a que los trabajadores realmente sientan un compromiso hacia la empresa, y es por ello que se les proporciona la vestimenta adecuada para realizar su trabajo, para hacer una mejor estandarización, algunas empresas optan por proporcionar a los trabajadores una prenda completa, la cual cubre todo el cuerpo del trabajador, y así mismo lo protege de diversos riesgos en la empresa. Además de que esta ropa está etiquetada con el logo de la empresa.

En el caso de los riesgos de Arc Flash, si se permite que las empresas proporcionen esta prenda a los trabajadores como ropa de trabajo, pues está hecha de algodón y es muy resistente a algunos daños como rasgaduras que le pudiesen ocurrir, el trabajador también debe entender que esta prenda aunque lo protege de muchos factores, no es suficiente para obtener de ella una protección en caso de que un Arc Flash se presente. A continuación en la figura 6.4 se muestra un ejemplo de esta prenda en cuestión.



Figura 6.4 Ropa de Trabajo Completa. Origen: Catálogo Salisbury.

En la Figura 6.4 se pueden apreciar distintas prendas que sustituyen por completo el uso de pantalones y camisas a una sola prenda, la cual debe ser usada por los trabajadores dentro de las áreas operativas de las empresas, para fines de este proyecto, esta prenda debe estar bajo los estándares de protección eléctrica, es decir que sea de algodón resistente al fuego.

6.2 Traje de Protección de Arc Flash.

En la mayoría de las empresas productivas el código de vestimenta de seguridad cubre varios aspectos en las áreas productivas, esto con la finalidad de que los trabajadores se encuentren cómodos y seguros, además de tener una fácil movilidad de su cuerpo en caso de alguna emergencia.

Algunas empresas cuentan con planes de contingencia donde algunos trabajadores son parte de brigadas como de bomberos, emergencias químicas, emergencias médicas entre otros, y es por ello que cuando una contingencia ocurre, el sistema de seguridad de la empresa cuenta con diversos puntos donde equipos especiales de protección personal esperan a los brigadistas para que puedan acudir a la emergencia sin poner en riesgo su seguridad.

Así como existen trajes especiales para diversas emergencias, hablando de cuestiones eléctricas no se puede jugar con la vida de los trabajadores, y es por ello que

cuando se va a realizar cualquier tipo de actividad frente a algún equipo eléctrico energizado, los trabajadores deben estar debidamente protegidos.

La protección de los trabajadores en áreas eléctricas es muy variada, sin embargo el enfoque de este proyecto de investigación ha analizado que uno de los principales riesgos eléctricos es el Arc Flash.

Es por ello que para proteger a los trabajadores de los riesgos que el Arc Flash representa, se les debe proporcionar con una capacitación adecuada y con un traje de Arc Flash, para que puedan realizar tareas en áreas con posibles riesgos de Arc Flash, con una mayor seguridad, y sin exponer sus vidas.

El traje de Arc Flash cuenta con diferentes tipos de protección, es por ello que basados en la Tabla 6.1 “Sistema de Ropa Protectora” las empresas que se dedican a fabricar estos trajes han realizado diversas mejoras para poder cumplir con las especificaciones de protección mínima que la tabla antes mencionada incluida en el estándar NFPA 70E requiere.

El traje debe ser usado por completo ante cualquier tarea eléctrica a realizar para que los trabajadores que se encuentran dentro de los riesgos de Arc Flash sean debidamente protegidos, es por ello que este proyecto analizará cada una de las partes constituyentes de dicho traje.

Una vez determinado el nivel de energía incidente, previo a un estudio de Arc Flash, conoceremos el tipo o categoría de traje que debe ser utilizado en las diferentes áreas de trabajo, de lo contrario se puede usar un traje el cual no sea apropiado para algunas áreas de trabajo, exponiendo a los trabajadores a los riesgos que el Arc Flash representa.

6.2.1 Overol y Kazaka.

Los trajes de Arc Flash, dentro de los elementos que los constituyen, cuentan con la ropa de trabajo adecuada, que es colocada encima de la ropa de trabajo que con la que usualmente cuenta el trabajador y que se menciona en puntos anteriores de este capítulo.

En todas las categorías que deben ser cubiertas de acuerdo a la NFPA 70E, los trajes de Arc Flash cuentan con dos prendas muy importantes, las cuales son los overoles y las kazakas.

Algunas empresas no le dan importancia al color de estas prendas, sin embargo en muchas ocasiones un buen sistema de seguridad también cuenta con un sistema de colores, los cuales ayudan a reconocer los riesgos o peligros a los que se enfrentan los trabajadores y ofrece una mayor identificación de los mismos por otros trabajadores. La elección de estos colores en el caso de los trajes de Arc Flash dependerá tanto de las empresas solicitantes del traje, así como de las empresas que los fabrican, que usualmente ya cuentan con un código de colores para estas especificaciones.

Los overoles deben ser capaces de cubrir gran parte del cuerpo, y proteger las piernas y pecho de los trabajadores de todos los riesgos que el Arc Flash representa, que ya se han analizado en capítulos anteriores. Como se puede apreciar en la Figura 6.5 los trabajadores utilizan los trajes encima de su ropa de trabajo, pues en casos contrarios, el traje no puede asegurar la protección de los trabajadores si no es debidamente utilizado. Los trajes deben estar debidamente ajustados a los diferentes tipos de trabajadores, pues en el caso de la Figura 6.5 se puede observar la diferencia física de los trabajadores, sin embargo también se aprecia que el traje les queda sin realizar algún ajuste y dándoles una movilidad para que puedan sentirse cómodos y evitar posibles riesgos que la incomodidad o el movimiento al realizar las tareas puede representar.

En la Figura 6.5 se pueden apreciar dos overoles usados por los trabajadores antes de realizar alguna tarea, en el de izquierda se puede apreciar que el overol pertenece a un nivel o categoría 2, pues tiene estampado su protección mínima 8 cal/cm^2 , mientras que del lado derecho se aprecia a un trabajador con un overol nivel 4, pues en el pecho se puede apreciar la especificación de protección mínima de 40 cal/cm^2 .



Figura 6.5 Overol de Arc Flash. Origen: Propio.

El traje también cuenta con una kazaka, la cual es muy similar a una camisa de manga larga, y dará una mayor protección al pecho y espalda del trabajador, además que cubre los brazos por completo, dando un ajuste al trabajador para que se pueda mover con facilidad al realizar los trabajos. En la Figura 6.6 se muestra el ejemplo de una kazaka, así de cómo cubre al trabajador ofreciendo comodidad, al igual que se puede apreciar un ajuste de la kazaka en las muñecas, la cual sirve para aislar los brazos de los guantes, también se puede apreciar que el overol cuenta con ajustes en los tobillos, los cuales cumplirán la función de aislar las piernas de los zapatos del trabajador y del traje. El mismo ajuste se puede observar en el cuello cumpliendo la misma función y ofreciendo seguridad a los trabajadores de cualquier físico.



Figura 6.6 Kazaka y Overol. Origen: Propio.

En las Figuras 6.5 y 6.6 se pueden apreciar algunas especificaciones que la normatividad hace notar a las empresas proveedoras de estos trajes, pues cuentan con una clara identificación de que nivel de energía incidente mínima protegen. En el caso de las kazakas en la Figura 6.6 se aprecia una kazaka corta, sin embargo la normatividad también permite que las kazakas sean largas como tipo gabardina para dar una mayor protección a los trabajadores en caso de que las empresas lo crean necesario, un ejemplo

de esto se puede observar en la Figura 6.7, donde claramente se observa el largo máximo permitido para no entorpecer al trabajador.



Figura 6.7 Largo de Kazakas. Origen: Catálogo Salisbury.

Esta protección se ofrece ante el traje de nivel 4, el cual es el más resistente y solo se ofrece para trabajos con niveles de energía demasiado altos, o con instalaciones con riesgos muy altos. Entre otros casos también se pueden ofrecer estos trajes a las compañías suministradoras en el área de generación, transmisión y distribución.

6.2.2 Protección de Ojos.

Habiendo ya conocido los riesgos que un fenómeno de Arc Flash le puede causar a los ojos, necesitamos proteger a este órgano en dos importantes aspectos, el primero es la protección contra posibles proyectiles, y el segundo es la protección a proporcionar para evitar una posible ceguera en el momento de formación del Arc Flash.

La tecnología se ha visto preocupada en los aspectos de protección a los ojos, sin afectar la visibilidad de los trabajadores al realizar las tareas, sin embargo la protección a proyectiles está completamente abarcada, esto se logra a través de proporcionar al trabajador con una careta que evitará el paso de los proyectiles, la cual se ofrece en todas las categorías de los trajes de acuerdo a la Tabla 6.1.

Dicha careta también está unida a un casco dieléctrico, el cual protegerá la cabeza del trabajador ante cualquier proyectil o caída.

Por otro lado la protección al efecto luminoso de Arc Flash, provoca que el material del cual está realizada esta careta sea oscura y no permite una buena visibilidad, lo que en muchos trabajos específicos como los son una energización de una subestación en un cuarto entre otros, requiera la ayuda de otro trabajador que apoye al que realizara la maniobra con luz exterior que le alumbré el área donde se realizan las tareas, poniendo en riesgo la vida de otro trabajador. Un ejemplo de este riesgo se puede apreciar en la Figura 6.8.



Figura 6.8 Ayuda Externa en Trabajos con traje de Arc Flash. Origen: Propio.

En la figura se muestra la necesidad que tiene el trabajador que está realizando una conexión de un interruptor de ser alumbrado por otro trabajador, lo cual al mismo tiempo pone en riesgo la seguridad de ambos trabajadores.

Es por ello que las empresas productoras de estos equipos de seguridad han logrado mejorar sus tecnologías hasta llegar a la que se ofrece hoy en día, la cual cubre los aspectos de protección y ofrece una mejora a la visibilidad de los trabajadores, como en tareas específicas mostradas en la Figura 6.8, entre otras.

Esta tecnología es la llamada transmisión de luz visible (TLV), la cual permite una mayor visibilidad y más clara; lo ideal sería contar con lentes transparentes, pero esto es imposible para proteger a los ojos al momento de una falla de Arc Flash, esta tecnología nos ofrece un mayor reconocimiento auténtico del color, a diferencia de la tecnología anterior, la cual debía ser apoyada por una luz exterior como en la Figura 6.8 para poder realizar trabajos en lugares donde la luz no es tan accesible.

Contar con esta tecnología como protección visual nos ayuda a realizar mejor los trabajos sin la necesidad de ayuda externa de otro trabajador para realizar alguna tarea. La figura 6.9 nos muestra las mejoras en esta tecnología.

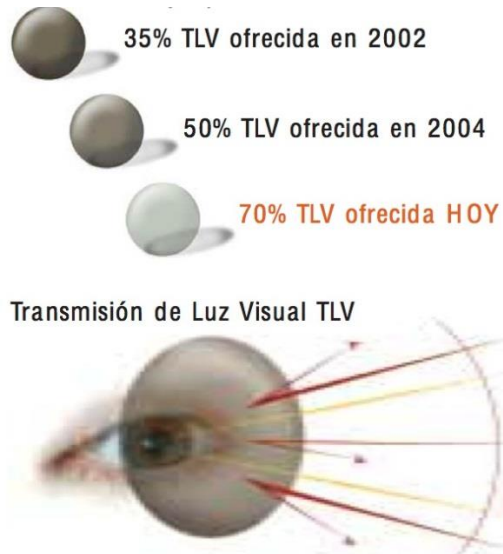


Figura 6.9. Transmisión de Luz Visual. Origen Catálogo Salisbury.

Cuando la luz pasa por un lente, algunas longitudes de onda son reflejadas por la superficie, y otras las absorbe el material de los lentes. La luz que realmente llega al ojo es una medida del nivel de transmisión de las lentes.

Esta tecnología nos proporciona una mejora en la realización de los trabajos como lo muestra la imagen 6.10 se mejoró la visión del trabajador y se continua con una protección a los ojos del trabajador.



Figura 6.10. Mejoras en Protección a Ojos. Origen: Catálogo Salisbury. Se pueden apreciar las mejoras en la tecnología de seguridad visual.

De esta manera y con estas mejoras, trabajos como el mostrado en la Figura 6.8, ya se pueden realizar con un solo trabajador, provocando un mayor espacio de trabajo y siendo apoyado por otro trabajador en tareas más importantes que la de solo alumbrar el espacio en donde se realizan las tareas.

Como se puede apreciar en la Figura 6.10 la protección de los ojos está cubierta además de que la careta cuenta con un casco dieléctrico que cubre la cabeza del trabajador, estos equipos son cubiertos por el mismo material del cual está realizado el traje de Arc Flash, para poder proporcionar protección a la cara y cuello del trabajador. Además de que este material también cubre abajo del cuello, ofreciendo una barrera para que los gases que pueden ser producidos por el fenómeno de Arc Flash no sean ingeridos por los trabajadores.

También es importante mencionar que los trabajadores que usen este equipo deben tener el cabello corto para no contar con fallas en la función del traje, en el caso de las mujeres se deben recoger el cabello dentro del casco, para que se puedan proteger de igual manera.

6.2.3 Protección de Manos.

Como ya hemos visto algunas partes del traje de Arc Flash, este nos protege el cuerpo, pero a continuación veremos cómo es que nos protege y aísla el cuerpo entero para poder realizar alguna maniobra, como se mencionó, la kazaka tiene mangas muy resistentes y con resortes que aíslan a la mano, en este punto analizaremos el equipo de protección que deben llevar las manos.

Los trabajadores deben usar tres tipos de guantes para estar completamente seguros, los primeros son unos guantes de algodón, los segundos son guantes de goma aislantes cuando sus manos cruzan los límites de Arc Flash. Además se deben usar protectores de cuero sobre los guantes aislantes de goma para proporcionar una protección contra los cortes, pinchazos y la abrasión.

Los primeros guantes que deben ser usados son los que van a proteger a la mano en caso de que los guantes aislantes no lleguen a ser lo suficientemente seguros en caso de la presencia de un fenómeno de Arc Flash, por lo que protegerán a la mano contra las posibles quemaduras que puede llegar a causar el fenómeno, así como servir como

primer aislante de la mano, en la Figura 6.11 se muestran unos guantes de algodón a ser usados antes de un mantenimiento, dichos guantes deben ser inspeccionados ante posibles defectos que eviten su funcionalidad.

Al igual que se mencionó cuando se habló de la ropa interior, en el caso de las manos sucede algo similar, el primer contacto que debe tener la piel con un equipo de protección de Arc Flash, debe de ser de algodón y claro está que también debe de ser resistente al fuego, es por ello que los guantes que se muestran en la Figura 6.11 son unos guantes de algodón, y su principal función es aislar la piel del resto del equipo, además de absorber el sudor que algunos trabajadores producen en la mano y que puede ser un factor de riesgo.



Figura 6.11 Guantes de Algodón. Origen: Propio.

Los guantes aislantes de caucho se encuentran entre los artículos más importantes de protección personal para los trabajos de electricidad y especialmente para la protección de las manos en posibles fenómenos de Arc Flash, pues combinan una gran resistencia dieléctrica y física, además de que ofrecen una flexibilidad y durabilidad.

Al igual que cualquier EPP, existen diferentes tipos de guantes, que van a proteger a los trabajadores de acuerdo a los riesgos a los que se estén expuestos, así que los guantes aislantes tienen la clasificación que nos brinda la NFPA de acuerdo a los niveles de energía incidente, como lo muestra la Tabla 6.1, es por ello que para una mayor facilitación de su funcionalidad algunas empresas proveedoras de estos guantes los fabrican de diferentes colores, de acuerdo a sus niveles de protección. La Figura 6.12

nos muestra un ejemplo de los guantes a usar en un traje de nivel 4, para poder realizar un mantenimiento.



Figura 6.12 Guantes Aislantes de Caucho Nivel 4. Origen Propio.

Los guantes de goma o caucho deben de ser inspeccionados antes de cada uso, e inclusive después, para asegurar la confiabilidad de los mismos, esto se puede hacer realizando pruebas con aire, para poder descartar los equipos defectuosos, los cuales ya no deben ser usados, por seguridad de los trabajadores.

Es por ello que también se debe dar una capacitación a los trabajadores acerca de cómo se deben inspeccionar los guantes, la inspección más rápida es inflando los guantes con aire y posteriormente se realiza una minuciosa revisión visual para comprobar el buen estado de los guantes, para esto es necesario contar con el equipo adecuado para hacer las revisiones de los EPP, pues así mismo se asegura su funcionalidad y su efectividad, como se aprecia en la Figura 6.13 se realiza una inspección visual de los guantes con el equipo adecuado.



Figura 6.13 Equipo de Inspección de Guantes Aislantes de Caucho. Origen: Propio.

Los guantes deben ser inspeccionados en un intervalo no mayor a los 6 meses, y las mangas de los mismos no deben exceder de 12 meses para que se les realice una prueba eléctrica.

Aunque se puede considerar que las manos de los trabajadores están protegidas eléctricamente hablando, aún falta mencionar los guantes de cuero, los cuales siempre deberán usarse encima de los guantes aislantes de caucho para protegerlos mecánicamente de cortes, pinchazos y de la abrasión mecánica producidos en las tareas a realizar donde existan riesgos de Arc Flash.

Por seguridad los guantes de cuero deben ser adecuadamente cuidados, pues al mismo tiempo que se realizan las pruebas de inspección visual a los guantes de caucho y de algodón, se debe seguir el mismo procedimiento con los guantes de cuero, para poder observar cualquier anomalía que puedan presentar, así como residuos de trabajos anteriores. En la figura 6.14 se muestran los guantes de cuero adecuados a la protección de nivel 4.



Figura 6.14 Guantes de Carnaza. Origen: Propio.

Al igual que el traje de Arc Flash, los guantes también dependen de la Tabla 6.1 para ofrecer un rango de protección mínima de acuerdo al nivel o categoría previamente analizado.

6.2.4 Protección de Pies.

Como sucede con las manos, los pies son extremidades muy importantes que deben ser adecuadamente cubiertas por un equipo de protección adecuado, por el contrario de las manos, los pies no tienen una interacción directa en las maniobras o tareas a realizar en

equipos eléctricos, sin embargo deben ser protegidos, por un comienzo al igual que como el uso de ropa interior y de guantes de algodón, los pies serán protegidos por calcetines de algodón, que sean justos a cada persona, además de ellos se deben usar zapatos o botas dieléctricas que cubran las necesidades de protección de los pies.

Sabiendo que lo anterior se considera como un EPP básico, cuando se está en presencia de un riesgo de Arc Flash, se debe tener en cuenta que las botas o zapatos dieléctricos no bastan para poder aislar el cuerpo, sino que son también necesarios otros zapatos o botas hechos de caucho, los cuales al igual que los guantes de caucho tienen diferentes capacidades de resistencia a la energía incidente, y deben ser regidos conforme a la Tabla 6.1.

A continuación en la figura 6.15 se pueden apreciar los diferentes modelos que presenta una compañía proveedora de dicho equipo, así como se puede observar que las formas dependen del lugar a donde se realizaran los trabajos.



Figura 6.15 Zapatos de Caucho. Origen: Catálogo Salisbury.

Estos zapatos van a permitir que se aíse por completo el cuerpo de los trabajadores del suelo, disminuyendo así, los posibles riesgos por Arc Flash, que puedan ser ocasionados desde el piso, además que como en las kazakas el tamaño convencional de usar zapatos o botas dependerá de la empresa, siempre y cuando estos equipos estén dentro de los rangos de protección mínima de la Tabla 6.1.

Al igual que los guantes, las botas de caucho deben ser debidamente inspeccionadas, pues muchas veces se pueden pasar por alto algunas rasgaduras que pudieran tener y ser la causa de riesgos inminentes.

Una cosa para recordar al momento de retirar la ropa de trabajo de protección es tratar de asegurarse de que su piel no quede expuesta. Asegurarse de que las piernas de los pantalones completamente bajen a la bota. Asegúrese también de que las mangas de la labor de protección del desgaste descenden a la mano, sin dejar los brazos al descubierto. Y por último, que la cabeza es la parte más vulnerable del cuerpo, sea completamente cubierta.

Se deben de respetar los límites de trabajo, para evitar riesgos, la ropa de protección eléctrica debe ser usada en todo momento al estar en presencia en un área de trabajo. Los trabajadores deben recordar que los accidentes de Arc Flash no solo se producen con equipos de alto voltaje. Los trabajadores que usen la ropa adecuada de protección reducen significativamente el riesgo de lesiones en caso de un accidente.

En cuanto a ropa debajo del traje de Arc Flash, no están permitidas telas como nylon, deben ser de algodón, al igual que la ropa interior de los trabajadores.

6.3 Otros Equipos de Protección Personal.

6.3.1 Alfombra Dieléctrica.

Cuando nos encontramos en presencia de ciertos tipos de instalaciones, como lo son cuartos de control de motores, subestaciones compactas en cuartos cerrados, debemos tener cuidado de donde pisamos cuando estamos en estos cuartos, aun con el traje de Arc Flash, pueden seguir existiendo riesgos que puedan provocar el fenómeno, pues las superficies de estos cuartos pueden llegar a contar con impurezas que puedan conducir a un Arc Flash, como lo muestra la Figura 6.16 Se aísla la superficie de estos cuartos de diferentes maneras, en la figura se aprecian tarimas aisladas con patas de porcelana, sin embargo no son totalmente seguras.



Figura 6.16 Tarimas Inseguras. Origen: Propio.

El principal problema que se aprecia en la Figura 6.16 es la inseguridad que estas tarimas representan para los trabajadores, pues bien puede haber caídas por la inseguridad, pero la necesidad de cubrir la superficie de estos cuartos se puede cubrir con una alfombra dieléctrica.

Al igual que una alfombra convencional, la alfombra dieléctrica se coloca en todo el piso del cuarto, otorgando a los trabajadores un aislamiento total del cuarto y del traje de Arc Flash que llevan como protección.

Estas alfombras dieléctricas, también se rigen bajo la Tabla 6.1, pues el nivel de energía incidente, indicará la protección mínima que deberán tener, y obviamente estas alfombras deben otorgar una gran resistencia al fuego.

Estas alfombras, al igual que las botas y los guantes son de caucho, y son corrugadas, para ofrecer seguridad a los trabajadores.



Figura 6.17 Alfombra Dieléctrica. Origen: Catálogo Salisbury

Como se puede apreciar en la Figura 6.17 la alfombra dieléctrica, puede reemplazar por completo las tarimas eliminando por completo algunos riesgos de posibles caídas y otorgando a los trabajadores un aislamiento, inclusive para poder colocar sobre ellas, las herramientas de trabajo.

6.3.2 Herramientas de Trabajo.

El traje de Arc Flash, no es suficiente y funcional si no se usa adecuadamente, al igual que las herramientas de trabajo, deben ser adecuadas para realizar las tareas específicas que necesiten de la protección de un traje de Arc Flash, pues bien dichas herramientas

deben contar con diferentes características para que puedan ser usadas en estos trabajos.

Estas herramientas de trabajo deben ser aisladas en su mayoría en las extremidades que sean manipuladas por los trabajadores, así como deben ser debidamente dimensionadas de acuerdo a las tareas a realizar para eliminar posibles riesgos de caída de herramientas.

Al igual que el traje de Arc Flash, las herramientas también deben ser debidamente inspeccionadas antes y después de su uso, ya que por posibles fallas o impurezas pueden ser la causa de accidentes, además de ser inútiles en su funcionamiento.

El material aislante empleado en las herramientas debe resistir un posible impacto de Arc Flash, así como dicho material debe de ser retardante al fuego.



Figura 6.18 Herramientas de Trabajo. Origen: Catálogo Salisbury.

Como se puede apreciar en la Figura 6.18, las herramientas de trabajo a utilizar están debidamente dimensionadas y su aislamiento es distinguido por un color primario sobresaliente, esto es con fines de facilidad de identificación de las herramientas en las tareas a realizar.

Al igual que las herramientas de la Figura 6.18, cuentan con diversas características para ser utilizadas por los trabajadores, existen algunos trabajos que requieren de herramientas más específicas para realizar trabajos, tales como son la conexión y desconexión de fusibles de transformadores, en esta tarea tan específica la herramienta a utilizar son las llamadas pértigas, las cuales son herramientas que facilitan las tareas sin el acercamiento de los trabajadores dentro de las distancias de los límites de arco, protegiendo así a los trabajadores de posibles riesgos de Arc Flash.



Figura 6.19 Desconexión con Pértiga y Traje de Arc Flash. Origen: Propio.

En la Figura 6.19 se puede apreciar una desconexión de un transformador con el uso correcto del traje de Arc Flash y con la herramienta adecuada, la pértiga, la cual al

igual que el traje en general, deben ser inspeccionadas antes y después de cada uso, para asegurar su funcionalidad y confiabilidad.

6.3.3 Joyería y Vestimenta.

Accesorios de uso personal como lo son relojes, pulseras, anillos, llaveros, collares, entre otros artículos de joyería no deben ser usados en el momento de presentarse ante un riesgo eléctrico, ya que pueden ser considerados como conductores eléctricos, y de esta manera se incrementan los riesgos de Arc Flash, y el trabajador no estará debidamente protegido con su EPP.

Conclusiones

Con el tiempo, la industria eléctrica es capaz de añadir nueva tecnología, lo que hace contar con mejores sistemas eléctricos y con mejores diseños. Este conocimiento tiene un efecto profundo en la forma de diseño y mantenimiento al igual que la operación de los sistemas eléctricos. Tal es el caso de la creciente comprensión de los peligros del Arc Flash al que se enfrentan los trabajadores. Como ingenieros y diseñadores, tenemos la responsabilidad de incorporar este nuevo conocimiento en nuestros diseños.

El diseño del sistema eléctrico puede tener un efecto significativo sobre los niveles de riesgo de arco eléctrico. Al tomar en cuenta los efectos del Arc Flash al trazar el sistema, se puede ayudar a mantener el Arc Flash en una categoría de riesgo de nivel al mínimo.

Si un arco eléctrico se produce dentro de las celdas, los gases de altas temperaturas creadas por el arco se ventilan desde el recinto. Hay que prestar atención a la ubicación de los orificios de ventilación y mantenerlos alejados de las áreas donde la gente podría estar de pie.

Con lo que respecta al trabajo realizado podemos concluir que es indispensable realizar una evaluación del sistema eléctrico con los estudios de cortocircuito y coordinación de protecciones previamente, antes de abordar con el estudio de Arc Flash, ya que el estudio de cortocircuito 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 de Arc Flash, ya que con esto se tiene una estimación correcta de la energía incidente y los límites de protección a los que se debe trabajar, así como determinar la categoría y tipo de equipo de protección personal que se debe emplear de acuerdo al nivel de energía incidente y no sobre dimensionar el equipo de protección, ya que podría causar incomodidad propiciando accidentes que causarían la inanición del arco.

Asimismo se evita en un 90% de siniestros tales como quemaduras fatales que propiciarían un período largo 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.

Hay que lograr un cambio de cultura en los trabajadores, para poner en primer lugar su seguridad, en este caso se expresan los posibles riesgos y consecuencias de un accidente eléctrico, el cual puede disminuir sus efectos a través de la cultura de protección, en este caso, la protección eléctrica al realizar alguna tarea.

BIBLIOGRAFIA

- Cadick, J. (2006). Electrical Safety Handbook. Estados Unidos de America. Mc Graw Hill.
- Chet Davis, P.E. et al. "Practical Solution Guide To Arc Flash Hazards". 2003. ESA, Inc.
- IEEE Std 584-2002 Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations Rev 2004
- NFPA 70E Standard for electrical Safety in the work place Edición 2009
- IEEE Std 399 1990 & 1997 Power System Analysis – the Brown Book
- IEEE Std 141 1986 & 1993 Electric Power Distribution for Industrial Plants
- IEEE Std 242 1986 & 2001 IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems
- Ralph Lee, "The Other Electrical Hazard: Electrical Arc Blast Burns", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. IA-18, No. 3 May/June 1987, p. 246
- Ralph Lee, "A Clinical Study of Electrical Accidents", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. IA-18, No. 3 May/June 1987, p. 260
- Catálogo Salisbury, (2006). Arc Flash Protección.
- R. A. Jones, "Staged Tests increase Awareness of Arc_flash Hazrds in Electrical Equipment", IEEE Trans Ind. Applicat, vol 36, No. 2, pp 659-667, March/April 2000.
- Leslie Geddes, "Handbook of Electrical Hazards and Accidents", CRC Press, 1995.