



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“ANÁLISIS DE RIESGOS POR ARCO  
ELECTRICO EN UNA PLANTA INDUSTRIAL”**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO ELÉCTRICO - ELECTRÓNICO**

PRESENTAN:

**EDUARDO MENESES LUVIANO  
FELIPE MONTES DE OCA BECERRIL**

**DIRECTOR: ING. AUGUSTO OCTAVIO HINTZE VALDEZ**



MÉXICO, D.F. CIUDAD UNIVERSITARIA 2011



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **AGRADECIMIENTOS:**

### ***Eduardo Meneses Luviano.***

A mis padres Enrique Meneses y Guadalupe Luviano, les agradezco su apoyo incondicional y su esfuerzo para lograr mis sueños. Soy afortunado por contar siempre con su amor, comprensión y ejemplo.

A mis hermanos Enrique y Daniela por estar conmigo.

A mi esposa Luisa por estar conmigo en esta etapa tan importante, por ser mi motivación y servirme de inspiración en mi vida. Te amo.

En especial a mi amigo Felipe, porque hace más de 20 años iniciamos juntos esta etapa escolar y hoy la podemos terminar juntos. Gracias amigo por estar siempre conmigo y ser como mi hermano.

A Felipe, Cecilia y Memo por abrirme las puertas de su casa y por ser parte de mi familia.

A todos mis amigos de la Universidad por compartir momentos inolvidables a lo largo de la carrera.

Al Ing. Augusto Hinzte por brindarnos su apoyo y tiempo para concluir este proyecto.

***Felipe Montes de Oca Becerril.***

Muchas Gracias por el amor, el apoyo y consejos de mis padres FELIPE MONTES DE OCA SALINAS y CECILIA BECERRIL JIMENEZ, he llegado a realizar uno de los anhelos más grandes de mi vida, pues este trabajo se lo dedico a ustedes, quienes me han dado las bases fundamentales para concluir mis estudios profesionales.

Estoy muy agradecido con mi hermano GUILLERMO MONTES DE OCA BECERRIL, por brindarme todo su apoyo y cariño incondicional.

A mi mejor amigo EDUARDO MENESES LUVIANO, a quien conozco desde la infancia y estuvo conmigo toda mi trayectoria académica, gracias por ser tan buen amigo. Realmente te considero parte de mi familia.

Con mucho cariño a Ángel Becerril Jiménez, que fuiste una inspiración para elegir esta carrera; gracias por tu apoyo y tus consejos.

Gracias a todos mis colegas; JORGE CABRERA CORTES , MARIANO IVAN LEON PEREZ ALLENDE, JOSE LUIS MENDOZA SUAREZ, ENRIQUE MENESES LUVIANO, ADOLFO RAMIREZ PULIDO, FELIPE SANCHEZ PEREZ y DANIEL SANTOS FLORES quienes han estado conmigo todo este tiempo, creciendo y disfrutando de tan buenos momentos. Gracias Amigos!

A toda mi familia que siempre ha creído en mí y formado una parte muy importante en vida.

Un agradecimiento muy especial a la FAMILIA MENESES LUVIANO, quienes a través de todos estos años me han abierto las puertas de su casa, permitiéndome compartir excelentes momentos.

Un agradecimiento al Ingeniero AUGUSTO HINTZE por su paciencia y enseñanzas para que este trabajo se pudiera concluir.

Y por último a la FACULTAD DE INGENIERIA, así como con la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO, por haberme brindado la mejor educación.

## INDICE

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO	1
I. ANTECEDENTES	2
II. ARCO ELECTRICO	4
Diferencia entra fallas francas y fallas por arco eléctrico	4
¿Qué causa el arco eléctrico?	5
Riesgos del arqueo de una falla	6
La naturaleza de los arcos eléctricos	7
Impacto económico del arco eléctrico	8
Exposición potencial al arco eléctrico	8
III. PLANEACIÓN DE UN PROGRAMA DE SEGURIDAD ELECTRICA	9
Propósito	9
Alcance	9
Responsabilidades	9
Definiciones	10
Control de peligros	11
Inspecciones del equipo eléctrico	12
Entrenamiento del personal	13
Pasos a seguir	14
Prácticas de seguridad. Procedimientos para Desenergizar/Energizar	14
Uso seguro y mantenimiento del equipo eléctrico	16
Equipo de protección personal (EPP) cuando se trabaja con electricidad o líneas vivas	17
Equipo nuevo	18
Permiso de trabajo eléctrico	19
IV. METODOS DE CALCULO PARA ARCO ELCTRICO	20
NFPA 70E	20
IEEE Std. 1584	20
Diferencia entre NFPA 70E e IEEE Std. 1584	20
Límites de protección	21
Equipo de protección personal	22
Clasificación de la categoría peligro/riesgo	22
Métodos de evaluación del riesgo	23
Método de cálculo basado en IEEE Std. 1584	24
Método de cálculo basado en NFPA 70E	29

V. EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL	31
Comienzos de la utilización del EPP	32
Segunda generación del EPP	33
Tercera generación del EPP: Revolución de normas y estándares	33
VI. ESTUDIO DE ARCO ELECTRICO	36
Alcance del estudio	36
Introducción	36
Choque eléctrico	37
Arco eléctrico	37
Diagrama unifilar esquemático	41
Base de datos	42
Corridas de corto circuito	43
Tablas de ajustes de protecciones	46
Gráfica de coordinación de protecciones	48
Resultados del análisis de arco eléctrico	49
Etiquetas de arco eléctrico.	52
Recomendaciones generales del estudio de arco eléctrico	55
VII. CONCLUSIONES	56
BIBLIOGRAFIA	57

## **INTRODUCCIÓN**

La electricidad ha sido reconocida por mucho tiempo como un problema grave en el trabajo, exponiendo a los empleados a peligros como descargas eléctricas, electrocución, quemaduras e incendios. El uso de métodos seguros mientras trabaja con o cerca de partes eléctricas sin corriente puede reducir sus posibilidades de lesionarse con la electricidad.

Cada organización debe tener un buen programa de Seguridad Eléctrica para la prevención efectiva de accidentes.

Un excelente programa de seguridad eléctrica proporciona:

- Procedimientos de seguridad eléctrica con responsabilidades bien definidas.
- Un análisis de arco eléctrico para determinar el grado de peligro al trabajar con sistemas eléctricos.
- Equipo de protección personal adecuado.
- Adiestramiento efectivo a los empleados.
- Herramientas y equipos apropiados para el trabajo.
- Señales de advertencia en los sistemas eléctricos.

Los buenos hábitos de trabajo pronto se harán parte de su propia naturaleza.

## **OBJETIVO**

Definir las causas del arco eléctrico para prevenir daños físicos en el personal y económicos en los equipos. Implementar un programa de seguridad eléctrica en las plantas industriales y resaltar la importancia que tiene el realizar un estudio de arco eléctrico para identificar el límite de protección de arqueo y la energía incidente en las distancias de trabajo asignadas a través de cualquier punto o nivel en el sistema de generación eléctrica, transmisión, distribución, para especificar el equipo de protección personal adecuado.

## I. ANTECEDENTES

Los peligros eléctricos existen desde que Thomas Edison inventó el primer generador eléctrico, en Septiembre del 1882. Desde entonces, quienes trabajaban con energía eléctrica en baja, media y alta tensión (instalaciones industriales) han utilizado algún tipo de protección personal, la cual no siempre ha sido la correcta. A través de los años, con destacada y abundante investigación y desarrollo por parte de unos pocos investigadores, se ha intentado encontrar lo más adecuado en EPP (Equipo de Protección Personal) para los trabajadores eléctricos. Favorablemente para los electricistas en el mundo entero, se ha avanzado suficientemente como para lograr establecer muchos parámetros y límites que nos permiten en el presente saber la verdad y dejar de lado muchos mitos acerca de la protección. Hoy, se ha conseguido definir la última generación en EPP, lo que por mucho tiempo se había buscado.



Los principales peligros que la energía eléctrica presenta son: el choque eléctrico (electrocución) y el arco eléctrico. El choque eléctrico es el peligro más reconocido desde la creación del generador eléctrico.

El choque eléctrico implica un flujo de energía eléctrica a través o sobre el cuerpo, usualmente sucede por contacto directo pero puede suceder por aproximación a límites no permitidos. La persona afectada por este fenómeno puede simplemente sentir un cosquilleo o ser quemado internamente, obtener daños neurológicos, sufrir paro respiratorio, cardíaco u otros daños también severos.





El arco eléctrico es la liberación de distintos tipos de energía concentrada como resultado de una falla, alcanzando temperaturas muy elevadas. Se presenta como una explosión (relámpago) irradiando intensamente luz ultra violeta, infrarroja, ruido a altos decibeles, partículas de metal fundido y una onda con gran presión, que impactan de distintas formas sobre el cuerpo humano. En estos eventos no existe el contacto directo, sino que es toda radiación. Los relámpagos y ráfagas de arcos eléctricos pueden causar lesiones por la exposición a salpicaduras de metales fundidos, quemaduras de 3er grado por encendido, derretimiento de vestimenta y/o incendios secundarios.

## II. ARCO ELECTRICO

### Diferencia entre fallas francas y fallas por arco eléctrico.

Una corriente de corto circuito es aquella que circula en un circuito eléctrico cuando existe el contacto entre dos o más conductores al perderse el aislamiento entre ellos o entre ellos y tierra.

La magnitud de la corriente de corto circuito es mucho mayor que la corriente nominal o de carga que circula por el circuito.

Las fallas francas, se caracterizan por el hecho de que existe una conexión sólida, causando el flujo de altas corrientes de corto circuito.

Las fallas por arco eléctrico son causadas por la pérdida de distancia de aislamiento entre equipos energizados.

Un arco eléctrico o una falla por arco es una formación de un arco de corriente eléctrica a través del aire, desde un conductor vivo expuesto a otro o a tierra.

El arco eléctrico es de manera general un corto circuito a través del aire. La corriente de falla por arco es de menor magnitud que las fallas francas debido a que el aire o vapor actúan como una impedancia entre los materiales conductores.

El Arco eléctrico 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. El arco eléctrico produce intenso calor, explosiones sonoras y ondas de presión. Se tienen temperaturas extremadamente altas, intenso calor radiante, puede quemar la ropa y causar severas quemaduras que pueden ser fatales.

Aunque los programas de seguridad eléctrica han existido desde los inicios de la electricidad, los riesgos por arco eléctrico no habían sido tomados en cuenta hasta hace, relativamente, poco tiempo.



## ¿Qué causa el arco eléctrico?

El arco puede ser iniciado por las siguientes causas:

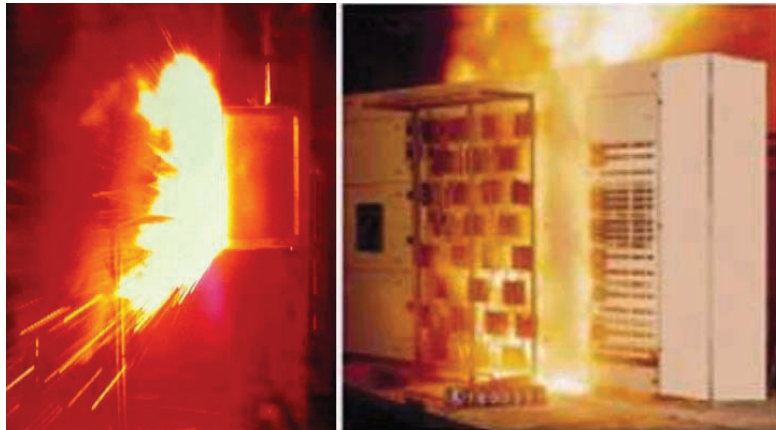
- Impurezas y polvo.

Las impurezas y polvo en la superficie del aislamiento pueden proporcionar un camino para la corriente, permitiendo un paso de corriente y creando la descarga del arco a través de la superficie. Esto puede desarrollar un mayor arqueado.

- Corrosión.

La corrosión de los equipos puede proporcionar impurezas en la superficie del aislamiento. La corrosión también debilita el contacto entre las terminales de los conductores incrementando la resistencia de contacto a través de la oxidación u alguna otra contaminación corrosiva.

La condensación del vapor y el goteo del agua pueden crear un camino en la superficie de los materiales aislantes. Esto puede crear un paso de corriente a tierra y la intensificación del potencial del arco de fase a fase.



- Contactos accidentales.

El contacto accidental con la exposición de las partes vivas puede iniciar el arco de una falla.



- Caída de herramienta

La caída accidental de la herramienta puede causar un cortocircuito momentáneo, produciendo chispas e iniciando el arco.

- Sobre-voltajes a través de espacios estrechos.

Cuando el espacio de aire entre conductores de diferentes fases es muy estrecho (debido a la mala calidad o al daño de los conductores), el arco puede ocurrir durante los sobre-voltajes temporales.

- Falla de los materiales aislantes.

El arco eléctrico también es causado por lo siguiente:

Utilización o diseño inapropiado del equipo.

Procedimientos de trabajo inapropiados.

### **Riesgos del arqueo de una falla.**

Algunos de los riesgos del arqueo de una falla son las siguientes:

- Calor

Quemaduras fatales pueden ocurrir cuando la víctima se encuentra a varios metros del arco. Serias quemaduras son comunes a una distancia de 3 metros.

- Objetos

La extensión del arco produce la caída de pequeños objetos metálicos a alta presión. La explosión puede penetrar el cuerpo.

- 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 2000 lb2ft.

- Ropa

La ropa es quemada a varios metros. El área de la ropa, puede ser quemada más severamente que la piel expuesta.

- Pérdida auditiva por explosión sonora.

El sonido puede tener una magnitud hasta de 140 dB a una distancia de 60.96 cm del arco.



## La naturaleza de los arcos eléctricos.

Los arcos eléctricos producen algunas de las temperaturas más altas conocidas que ocurren en la Tierra, arriba de los 35000° F. Esto es cuatro veces la temperatura de la superficie del sol.

El intenso calor generado por los arcos provoca la expansión del aire, esto resulta en una explosión con presiones de aire muy elevadas.

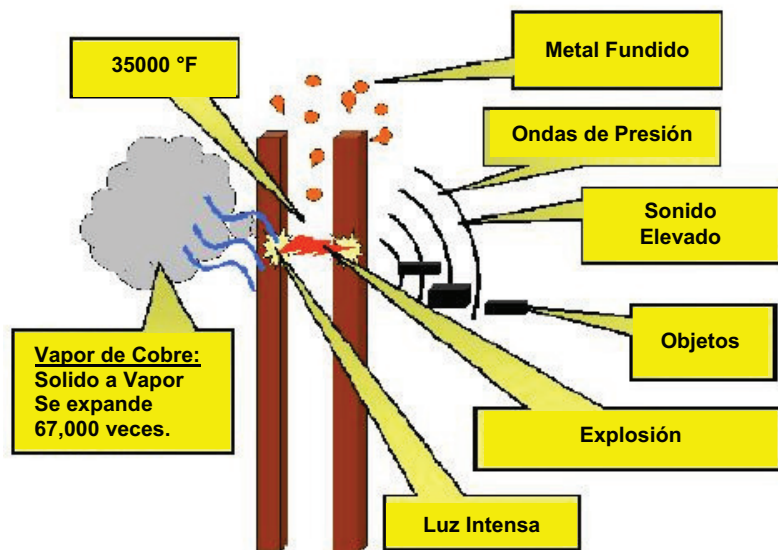
Todos los materiales conocidos son vaporizados a esta temperatura. Cuando los materiales se vaporizan se expanden (Cobre-67000 veces, Agua-1670 veces). La explosión de aire puede propagar, con fuerza, el metal fundido a grandes distancias.

Para un sistema de baja tensión (480/277 V), unas 3 o 4 pulgadas de arco pueden llegar a estabilizarse y persistir por un largo periodo de tiempo.

La energía liberada está en función del voltaje del sistema, la magnitud de la corriente de falla y la duración de la falla.

Los arcos encerrados, como en un centro de control de motores (CCM), magnifica la explosión y la energía transmitida.

## Arco Eléctrico



### **Impacto económico del arco eléctrico.**

El tratamiento de quemaduras puede requerir años de injertos de piel y rehabilitación. La víctima puede nunca regresar a laborar o continuar con la misma calidad de vida. Algunos de los costos directos son:

Tratamientos médicos.  
Costo de litigios.  
Pérdida de producción.

### **Exposición potencial al arco eléctrico.**

La exposición al arco eléctrico depende de:

- Número de veces que los trabajadores trabajan expuestos a equipo vivo.
- Complejidad de la tarea a realizar, necesidad de utilizar la fuerza, espacio disponible y márgenes de seguridad, etc.
- Entrenamiento, habilidad, agilidad mental y física, coordinación con ayudantes.
- Herramienta utilizada.
- Condiciones del equipo.

### **III. PLANEACIÓN DE UN PROGRAMA DE SEGURIDAD ELÉCTRICA**

En México, las normas NOM-029-STPS-2005 y NOM-017STPS-2001 exigen a los patrones a efectuar análisis de riesgos, capacitar al personal y proporcionar los equipos de protección personal para los riesgos relacionados con la actividad laboral.

#### **Propósito**

La electricidad es un peligro grave en los lugares de trabajo, capaz de causar lesiones (choques eléctricos, electrocución, fuego y las explosiones), daño grave a la propiedad o la muerte por electrocución. Proporcionando entrenamiento y seguridad eléctrica en los lugares de trabajo al personal de mantenimiento y demás empleados afectados se espera reducir el riesgo de tales incidentes.

#### **Alcance**

Este programa proporciona las pautas para entrenar a empleados en el reconocimiento básico de peligros eléctricos y prácticas seguras en los lugares de trabajo. Sólo la instrucción no califica ni autoriza a nadie para realizar trabajos eléctricos.

Todo alambrado y equipos eléctricos deben cumplir con las normas de seguridad eléctrica, y otros estándares establecidos para la seguridad y la ingeniería.

Esta instrucción no debe de ninguna manera interpretarse como una sinopsis de todos los requisitos eléctricos, ni como sustituto para un estudio formal, ni de entrenamiento ni de la experiencia en el diseño eléctrico, construcción, o mantenimiento.

Ocupaciones que tienen un riesgo eléctrico superior al normal:

- Supervisores de planta.
- Ingenieros eléctricos e ingenieros electrónicos.
- Ensambladores de equipo eléctrico y electrónico.
- Técnicos eléctricos y electrónicos.
- Electricistas.
- Operadores de maquinaria industrial.
- Mecánicos y encargados de reparaciones.
- Pintores.
- Instaladores.
- Ingenieros de planta.
- Soldadores

#### **Responsabilidades**

La gerencia es responsable de:

- Identificar al personal calificado para trabajar en instalaciones de sistemas eléctricos.
- Proporcionar al personal calificado y los trabajadores afectados el entrenamiento de seguridad.
- Proporcionar a los empleados el Equipo de Protección Personal (EPP) necesario.
- Garantizar que todas las inspecciones de seguridad eléctrica se lleven a cabo.

- Garantizar que todos los riesgos para la seguridad eléctrica sean corregidos.
- Garantizar que todos los nuevos equipos eléctricos y componentes cumplan con los códigos y reglamentos

Los empleados son responsables de:

- Presentar inmediatamente los informes de riesgos de seguridad eléctrica.
- No trabajar en equipo eléctrico sin la debida autorización y capacitación.
- Inspeccionar los equipos antes de usarlos.

La gerencia de riesgos será responsable de:

- Programar la capacitación eléctrica en el lugar.
- Garantizar que la seguridad de los empleados calificados y afectados se realice una vez al año; para los nuevos empleados una vez se vinculen, y cuando sea necesario (como el caso de identificación de nuevos peligros).
- Evaluar periódicamente las operaciones eléctricas en el lugar, a fin de determinar nuevos riesgos eléctricos u otros que estén en gestación.
- Utilizar los materiales de capacitación suministrados, para los entrenamientos del personal.
- Documentar el entrenamiento.
- Hacer exámenes acerca del programa de seguridad eléctrica

## **Definiciones**

Autorizado / Persona calificada.- Una persona calificada es un individuo reconocido por la administración por tener comprensión suficiente del equipo, dispositivo, sistema, o por tener la facilidad para controlar positivamente cualquier peligro que se presente. La calificación o autorización para realizar trabajos eléctricos o electrónicos está basada en una combinación de entrenamiento profesional y experiencia ganada en el sitio de trabajo.

Interruptor de circuito.- (600 volts nominales o menos). Un dispositivo de diseño para abrir y cerrar un circuito por medios manuales o para abrir el circuito automáticamente en caso de sobrecarga sin dañarse cuando opera dentro de las condiciones de diseño.

Conductor.- Cable o porción de cable que puede conducir corriente.

La corriente eléctrica.- El flujo de electrones por un conductor.

Extensión.- Cable flexible que proporciona un método conveniente de llevar corriente a un dispositivo que está lejos de la fuente de energía y siempre son usados como medios temporales de conducción de energía.

Tierra.- Conexión que se realiza, intencional o accidentalmente, entre un circuito o el equipo eléctrico y la tierra o cualquier cuerpo que sirve como tierra.

Interruptor automático contra falla a tierra.- Dispositivo diseñado para proteger el personal parando el flujo de electricidad cuando la corriente que fluye hacia tierra excede un predeterminado valor.

Aislador.- Materia que no permite que la corriente fluya libremente de un punto a otro.



Trabajador calificado.- Un empleado que es entrenado y es autorizado para realizar un trabajo en equipos y componentes eléctricos.

Resistencia.- la resistencia Eléctrica es la restricción al flujo de corriente a través de cualquier materia. (La Resistencia se mide en ohms). La piel tiene una resistencia de 1000 ohms aproximadamente.

Trabajador no calificado.- Un empleado que no ha sido entrenado ni ha sido autorizado a realizar el trabajo eléctrico.

Volt.- unidad de medida del potencial eléctrico.

## **Control de Peligros**

Los siguientes métodos de control administrativo, de ingeniería y de prácticas de trabajo serán usados para prevenir incidentes relacionados con la electricidad:

### Controles de ingeniería

- Todos los tableros de distribución de energía eléctrica, interruptores, mecanismos de desconexión, deben estar completamente cerrados.
- Tableros a prueba de agua se deben usar si existe la posibilidad de que alguno de los componentes están expuestos a la humedad.
- Barreras estructurales deben utilizarse para evitar daños en los componentes eléctricos.
- Las canaletas deben estar apoyados en toda su longitud y están prohibidos los accesorios diferentes al motivo eléctrico.
- Los cables flexibles deben tener aliviadores de esfuerzo.

### Controles Administrativos

- Sólo personal calificado / autorizado puede reparar o prestar servicios eléctricos.
- Los contratistas deben contar con una licencia para realizar obras eléctricas.
- Barreras físicas deben utilizarse para impedir que personas no autorizadas entren en áreas donde se están realizando instalaciones o reparaciones de equipos o componentes eléctricos.
- Sólo los empleados autorizados podrán entrar en salas de distribución eléctrica.
- Todos los dispositivos de control eléctrico deben tener la etiqueta correcta.
- El gerente general debe autorizar cualquier obra en los circuitos de energía eléctrica.

### Controles para ejecutar el trabajo

- Los empleados cubiertos bajo esta política eléctrica deben usar equipo de protección personal adecuado para la categoría de riesgo incluyendo botas o zapatos de seguridad.
- Utilice sólo herramientas que tengan un aislamiento adecuado.
- Guantes no conductivos deben estar disponibles para los trabajos en equipos o componentes eléctricos.

- Vallas adecuadas para la categoría de riesgo se deben colocar en frente de todos los tableros de distribución eléctrica

### **Inspecciones del Equipo Eléctrico**

Consiste en la inspección y evaluación del motivo eléctrico y del equipo de protección personal:

- *Electricidad*.- Equipo, interruptores, interruptores automáticos de circuito, fusibles, interruptores integrados con las cajas, empalmes, accesorios especiales, circuitos, aisladores, extensiones, herramientas, motores, conexión a tierra, código eléctrico nacional.
- *Equipo de Protección Personal (EPP)*.- Tipo, tamaño, mantenimiento, reparación, edad, almacenamiento, asignación de responsabilidades, métodos de compra, normas a seguir, entrenamiento en el cuidado y en el uso, reglas a seguir, el método de asignación.

#### Equipo eléctrico

Inspeccione todos los equipos eléctricos acerca de peligros que puedan causar lesiones o la muerte de los empleados. Considere los siguientes factores cuando esté determinando la seguridad del equipo:

- Apropiado para el uso que se pretende.
- Debidamente aislado.
- Efectos bajo condiciones de calor.
- Efectos del relámpago.
- De acuerdo al tipo, tamaño, voltaje, capacidad de corriente, para el uso pretendido

#### Equipo de Protección Personal (EPP)

Los empleadores deben proveer el equipo de protección personal (EPP) para ser usado por los trabajadores expuestos a peligros eléctricos. Los empleados deben observar los siguientes procedimientos para el uso adecuado del equipo de protección personal (EPP):

- El EPP es obligatorio cuando puede ocurrir contacto con la electricidad.
- Solamente use (EPP) que ha sido diseñado para la categoría de trabajo.
- Inspeccione y pruebe todo el (EPP) antes de usarlo.
- Use petos de protección (de cuero, por ejemplo) si el trabajo a realizar pudiera dañar el aislamiento del (EPP).
- Use protección de cabeza que no sea conductivo si hay peligro de quemaduras eléctricas o choque eléctrico al entrar en contacto con partes energizadas.
- Use protección para los ojos y la cara cuando hay peligro de objetos volando o relámpagos, fogonazos o arcos eléctricos.

## Entrenamiento del Personal

### Personal Calificado

El entrenamiento para el personal calificado para realizar trabajos eléctricos consiste en:

- Procedimientos específicos de los equipos

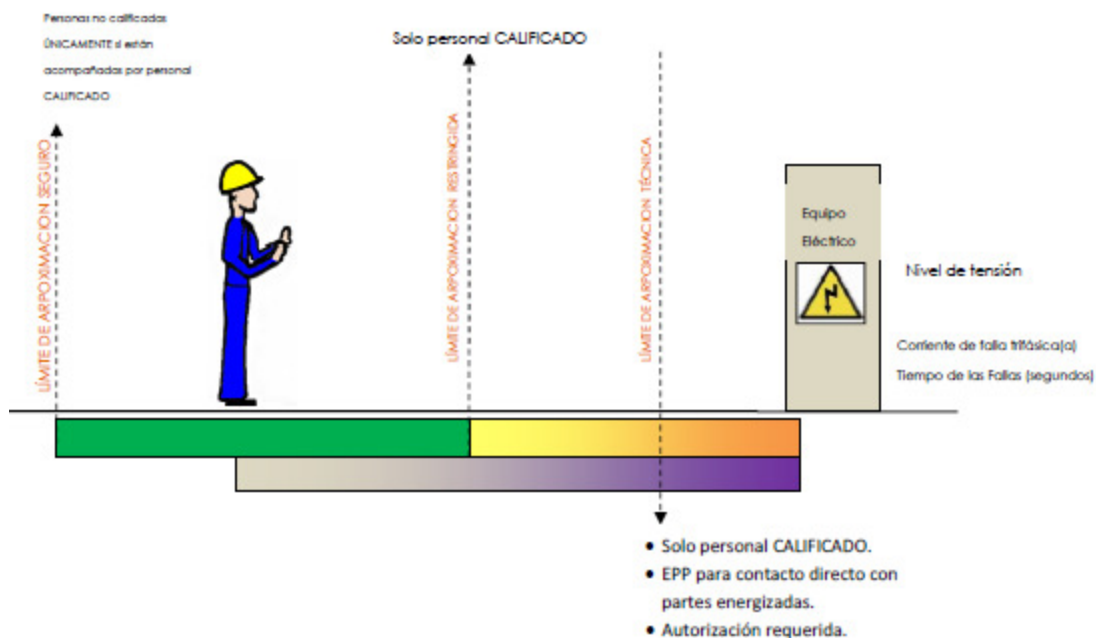
### Personal No Calificado

El personal no calificado o autorizado para hacer trabajos en los equipos o componentes eléctricos debe ser instruido en las precauciones generales de la seguridad eléctrica para tomar conciencia de los peligros.

Las siguientes reglas de seguridad eléctrica también se aplican para el personal no calificado:

- No haga reparaciones eléctricas.
- Reporte todos los peligros eléctricos a su supervisor.
- No opere ningún equipo si usted cree que es peligroso.
- No permita que el equipo o componentes eléctricos entren en contacto con el agua.
- Recuerde que aun bajos voltajes eléctricos pueden ser perjudiciales físicamente.
- No use extensiones o enchufes que no tienen la conexión a tierra.
- No sobrecargue los receptáculos eléctricos.

Figura 3.1



En la figura 3.2 se muestra la tabla 130.2 de la NFPA 70 E donde se muestran los límites de aproximación a partes energizadas.

Figura 3.2

(1) Rango de la tensión nominal del sistema, fase a fase	(2) Frontera de aproximación limitada <sup>1</sup>		(4) Frontera de aproximación restringida <sup>1</sup> ; incluye suma de movimiento inadvertido	(5) Frontera de aproximación prohibida <sup>1</sup>
	(2) Conductor móvil expuesto	(3) Parte de circuito fija expuesta		
Menos 50	No especificado	No especificado	No especificado	No especificado
50 a 300	3.05 m (10 ft 0 in.)	1.07 m (3 ft 6 in.)	Evitar Contacto	Evitar Contacto
301 a 750	3.05 m (10 ft 0 in.)	1.07 m (3 ft 6 in.)	304.8 mm (1 ft 0 in.)	25.4 mm (0 ft 1 in.)
751 a 15 kV	3.05 m (10 ft 0 in.)	1.53 m (5 ft 0 in.)	660.4 mm (2 ft 2 in.)	177.8 mm (0 ft 7 in.)
15.1 kV a 36 kV	3.05 m (10 ft 0 in.)	1.83 m (6 ft 0 in.)	787.4 mm (2 ft 7 in.)	254 mm (0 ft 10 in.)
36.1 kV a 46 kV	3.05 m (10 ft 0 in.)	2.44 m (8 ft 0 in.)	838.2 mm (2 ft 9 in.)	431.8 mm (1 ft 5 in.)
46.1 kV a 72.5 kV	3.05 m (10 ft 0 in.)	2.44 m (8 ft 0 in.)	965.2 mm (3 ft 2 in.)	635 mm (2 ft 1 in.)
72.6 kV a 121 kV	3.25 m (10 ft 8 in.)	2.44 m (8 ft 0 in.)	991 mm (3 ft 3 in.)	812.8 mm (2 ft 8 in.)
138 kV to 145 kV	3.36 m (11 ft 0 in.)	3.05 m (10 ft 0 in.)	1.093 m (3 ft 7 in.)	939.8 mm (3 ft 1 in.)
161 kV a 169 kV	3.56 m (11 ft 8 in.)	3.56 m (11 ft 8 in.)	1.22 m (4 ft 0 in.)	1.07 m (3 ft 6 in.)
230 kV a 242 kV	3.97 m (13 ft 0 in.)	3.97 m (13 ft 0 in.)	1.6 m (5 ft 3 in.)	1.45 m (4 ft 9 in.)
345 kV a 362 kV	4.68 m (15 ft 4 in.)	4.68 m (15 ft 4 in.)	2.59 m (8 ft 6 in.)	2.44 m (8 ft 0 in.)
500 kV a 550 kV	5.8 m (19 ft 0 in.)	5.8 m (19 ft 0 in.)	3.43 m (11 ft 3 in.)	3.28 m (10 ft 9 in.)
765 kV a 800 kV	7.24 m (23 ft 9 in.)	7.24 m (23 ft 9 in.)	4.55 m (14 ft 11 in.)	4.4 m (14 ft 5 in.)

*Nota: Para Frontera de Protección contra Arco, consultar 130.3(A).*  
<sup>1</sup> Consultar definición en el Artículo 100 y el texto en 130.2 (D)(2) y el Anexo C para elaboración.

### Pasos a seguir

- Todo el cableado y equipos deben cumplir con las normas de seguridad eléctrica, y numerosas provisiones a nivel local y estatal además de los estándares de ingeniería.
- Programar evaluaciones locales para identificar peligros eléctricos que pueden sucederse durante la operación normal.
- Reparar todos los peligros eléctricos lo más pronto posible.
- Determinar cuales empleados requieren entrenamiento de seguridad eléctrica.
- Revisar la efectividad del programa y hacer los cambios cuando sea necesario.

### Prácticas de seguridad. Procedimientos para Desenergizar/ Energizar

Las siguientes prácticas de seguridad se deben seguir como mínimo cuando se trabaja con equipos eléctricos o cerca de ellos:

A) Los equipos eléctricos se desenergizarán, si es posible, antes y durante el trabajo que se realice en el equipo. Siga todos los procedimientos de candado/etiqueta. Sólo para equipos que por diseño no es posible desenergizarlos porque pueden crear un mayor riesgo personal, se permitirá trabajarlos con las líneas vivas. Aprobación de la gerencia es obligatoria antes de que el trabajo con líneas vivas se comience.

B) Una etiqueta también se debe colocar con el candado de bloqueo anunciando que el equipo eléctrico no puede energizarse y que la etiqueta no puede ser removida.

Las etiquetas no son necesarias:

- Cuando sólo un circuito o pieza de equipo son desenergizados.
- Cuando el período del bloqueo no se extiende más allá de un turno de trabajo.
- Cuando los trabajadores expuestos a los peligros de reenergización están familiarizados con esta excepción.

C) Equipo eléctrico que ha sido desenergizado debe someterse a prueba con los aparatos de medida conveniente de que realmente quedo desenergizado. Esta verificación se hace usando guantes aisladores y cualquier otro equipo de protección personal necesario de acuerdo a la categoría de riesgo eléctrico.

D) Reenergización de equipos eléctricos puede realizarse sólo: cuando una persona calificada realiza los ensayos y las inspecciones visuales, de ser necesario, para verificar que todas las herramientas, empalmes eléctricos, corto circuitos, aterrizadas, y otros de tales dispositivos han sido eliminados, a fin de que el equipo se pueda energizar nuevamente de manera segura, cuando los empleados expuestos a los peligros potenciales de la reenergización han sido avisados de permanecer distantes de los circuitos o equipo.

E) Si el trabajo se va a ejecutar con líneas vivas, se debe usar equipo de protección personal adecuado, incluyendo guantes, botas, ropa aisladora, cascos aisladores, etcétera.

F) Todos los condensadores de los equipos que están en reparación se deben considerar como "energizados", hasta que se descargan correctamente.

G) Ningún empleado debe conectar o desconectar cables o extensiones con las manos mojadas.

H) No se permite la manipulación de cables eléctricos que se han sumergido en agua o cualquier otro líquido conductor si no se cuenta con la debida protección personal.

I) Cables eléctricos a utilizarse en cualquier área donde hay líquidos conductivos deberán ser aprobados para dicho servicio.

J) Si un cable o una extensión han sido desenergizados por el dispositivo de protección, como un interruptor automático de circuito o un interruptor automático contra falla a tierra, la causa se debe determinar antes de reenergizarlos nuevamente. Si la causa de la interrupción del circuito se evalúa como una sobrecarga, no se necesita análisis posterior.

K) Los equipos de protección de sobre-corriente no pueden ser alterados para servir más allá de su capacidad.

L) Circuitos que repetidamente se disparan deben ser investigados para corregir cualquier problema.

M) Interruptores automáticos de circuito no deben usarse como interruptores del equipo eléctrico.

N) El uso de cables eléctricos o cables de extensión cerca de líquidos inflamables no se permiten a menos que suficientes medidas de seguridad se hayan adoptado y se use el equipo adecuado para la categoría de riesgo eléctrico. También es necesario tener a disposición recipientes de almacenamiento de materiales si se está cerca de posibles fuentes de ignición.

O) Solamente escaleras que no son conductivas se pueden usar cuando se trabaja en o cerca de cualquier equipo eléctrico.

P) Los empleados no podrán entrar a espacios que contienen equipo eléctrico energizado a menos que se garantice la debida iluminación.

Q) Los equipos de medición eléctrica serán inspeccionados de manera regular y reparados cuando fuere necesario.

R) Donde las partes puedan presentar peligro de contacto eléctrico, los empleados no podrán realizar tareas de limpieza a distancias indebidas puesto que hay la posibilidad de contacto, a menos que se proporcionen las garantías adecuadas (como barreras aislantes o equipo).

S) Prestación de servicios a componentes energizados en una zona conductiva (agua, rejillas de acero, etcétera) pueden realizarse sólo después de que equipo suficientemente aislado ha sido colocado en dicho lugar.

T) No se pueden emplear materiales de limpieza conductivos de electricidad mientras se prestan servicios de reparación de energía, a menos que se sigan los procedimientos para evitar un choque eléctrico.

U) Bajo ninguna circunstancia deberá un empleado llegar a una zona que contiene componentes de energía "cables sin aislamiento".

V) En tableros eléctricos, las puertas con bisagras, las cubiertas y demás componentes deberán estar fijos o asegurados, para evitar el cierre accidental que puede alcanzar al empleado y causarle lesiones por el contacto con partes energizadas.

W) Se deben mantener distancias de seguridad cuando se trabaja sobre una fuente de energía eléctrica.

### **Uso Seguro y Mantenimiento del Equipo Eléctrico**

#### **a) Enchufes y conexiones de los cables**

Los equipos utilizados con un cable y enchufe, incluyendo los cables de extensión, se manipularan con cuidado a fin de no dañar el aislante que lo cubre. Lo mismo al sujetarlos o colgarlos se deben evitar los daños en el aislante que los cubre. Las conexiones de potencia deben ser colocadas de manera tal que no se cree peligro para los empleados que trabajan en la zona.

Cables de potencia dentro de las plantas físicas son aceptables sólo si se realizan inspecciones diarias de todos los cables expuestos. Estas inspecciones visuales se deben realizar antes de comenzar los turnos de trabajo, buscando por cualquier defecto, como aislamiento dañado, terminales defectuosos, piezas sueltas o

deformadas. Si uno de estos cables de potencia resultara defectuoso, la reparación o sustitución debe realizarse antes de ponerlo en uso.

b) Equipos eléctricos y herramientas aterrizadas

Herramientas eléctricas aterrizadas deben utilizar cables de alimentación y / o extensiones que tengan un conductor a tierra. No se permiten alteraciones de las conexiones a tierra, por ejemplo, un adaptador que no esté aterrizado a un cable que si tiene esa tierra.

Equipo eléctrico portátil no debe manipularse para levantarlo o bajarlo utilizando sus cables eléctricos. Este equipo deberá ser inspeccionado visualmente antes de cada uso y reparado cuando sea necesario.

**Equipo de Protección Personal (EPP) cuando se trabaja con electricidad o cerca de líneas vivas**

Sólo el personal calificado está autorizado para realizar servicios con líneas vivas (energizadas) o cualquier otro equipo dentro de la planta física. Prestación de servicios a equipos o componentes energizados es aceptable sólo cuando la desenergización interfiere o impide la reparación de las operaciones a realizar. Aparte de estas operaciones limitadas, el procedimiento candado / etiqueta deben aplicarse.

Procedimientos de control son necesarios durante operaciones como cambiar motores, interruptores, etcétera

Cuando se trabaja con materiales conductores, cerca de equipo energizado, se debe tener más cuidado para evitar el contacto entre el trabajador y esos componentes. Esto se hará aislando esos materiales o usando equipo de protección personal adicional. Operaciones de líneas vivas en espacios cerrados, tales como pozos de inspección o bóvedas, se requiere usar equipo de protección personal adicional.

El empleador deberá proporcionar escudos de protección, barreras o materiales aislantes, que el empleado debe utilizar en el desempeño de todas las operaciones con líneas vivas. Los trabajadores deben tener el equipo de protección personal disponible en todo momento. Este equipo debe estar en buenas condiciones y ser sustituido cuando sea necesario.

a. Herramientas especialmente aisladas.

Equipos protegidos al choque eléctrico (no conductivos) y equipo de protección personal se debe utilizar para poder prestar servicios a componentes energizados. Por ejemplo, si se va a reemplazar un fusible de una caja de fusibles energizada, se debe usar un extractor con protección aislante.

Herramientas no conductivas deben utilizarse siempre que sea posible cuando se presta un servicio sobre equipos energizados.

Todos los cables y cadenas utilizados cerca de equipos energizados deben ser de un material no conductor.

Todas las escaleras usadas dentro de la planta física cerca a equipos energizados deben tener laterales no conductivos.

b. Telas / Vestuario aislador.

Use vestuario clasificado como resistente al fuego. Materiales sintéticos o tejidos que se pueden derretir están prohibidos. La ropa del empleado debe ser de material no conductivo. Así que ni anillos, ni relojes, ni collares están permitidos durante las operaciones. Sin embargo, se permite usar estas prendas si están suficientemente cubiertas por un material aislante.

c. Protección para la Cabeza.

Los empleados deben usar un protector amplio para la cabeza si se está cerca de una línea viva de energía.

d. Protección para los ojos a causa de relámpagos

Durante las operaciones en que un arco eléctrico pueda presentarse, se debe proveer la protección adecuada para los ojos del empleado que la está ejecutando.

e. Cortinas de seguridad para áreas de soldadura

Si se realizan actividades de soldadura dentro de la planta física durante las horas de producción, y otro personal puede ser afectado por el relámpago, se debe usar una cortina de seguridad capaz de proteger a todos los empleados de la zona.

f. Señales y Barreras de Aviso

Se deben colocar señales en las áreas donde se realizan reparaciones con líneas vivas, para advertir a los demás empleados del peligro presente. Las barreras serán de un material no conductivo y deben colocarse alrededor de la zona de trabajo donde está el equipo energizado; ya que otras personas podrían entrar en contacto con los componentes.

Cuando las señales y barricadas no proporcionan suficiente protección para los demás, un guardia será colocado para que advierta a los transeúntes de los riesgos presentes.

## **Equipo nuevo**

Todo equipo nuevo debe ser aprobado por un laboratorio certificado de cumplir con las normas de seguridad eléctrica y otros estándares del Código Nacional de Electricidad. Equipos diseñados a solicitud del cliente deben ser inspeccionados por una persona calificada y certificar que se aplicaron los estándares eléctricos aplicables.



## Permiso de trabajo eléctrico.

La figura 3.3 muestra un permiso de trabajo eléctrico energizado.

Figura 3.3

PERMISO DE TRABAJO ELÉCTRICO ENERGIZADO	
<b>PARTE I: PARA SER COMPLETADO POR EL SOLICITANTE:</b>	
Número de orden de trabajo/tarea _____	
(1) Descripción del circuito/equipo/lugar de trabajo	_____
(2) Descripción del trabajo a realizar	_____
(3) Justificación de porque el circuito/equipo no puede ser desenergizado o el trabajo diferido hasta la próxima interrupción programada	_____ _____
Solicitante/Título	Fecha
<b>PARTE II: PARA SER COMPLETADO POR LA PERSONA CALIFICADA ELÉCTRICAMENTE HACIENDO LA TAREA</b>	
	Marque al Completar
(1) Descripción del procedimiento de trabajo a utilizar al realizar la tarea detallada arriba:	_____ <input type="checkbox"/>
(2) Descripción de las Prácticas de Trabajo Seguras a emplear:	_____ <input type="checkbox"/>
(3) Resultados del Análisis de Choque Eléctrico:	_____ <input type="checkbox"/>
(4) Determinación de las Fronteras de Protección al Choque:	_____ <input type="checkbox"/>
(5) Resultados del Análisis de Relámpago de Arco:	_____ <input type="checkbox"/>
(6) Determinación de las Fronteras de Protección al Relámpago:	_____ <input type="checkbox"/>
(7) EPP (Equipo de Protección Personal)necesario para realizar la tarea en forma segura:	_____ <input type="checkbox"/>
(8) Medios de restricción de acceso a personas no calificadas al área de trabajo:	_____ <input type="checkbox"/>
(9) Evidencia de haber realizado un Informe de Trabajo incluyendo la discusión de peligros asociados a las tareas:	_____ <input type="checkbox"/>
(10) ¿Está de acuerdo en que el trabajo descrito arriba puede hacerse en forma segura? <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No (Si no, devolver al solicitante)	
Persona/s Calificada/s Eléctricamente	Fecha
Persona/s Calificada/s Eléctricamente	Fecha
<b>PARTE III: APROBACIONES PARA REALIZAR TRABAJO MIENTRAS ESTÉ ELÉCTRICAMENTE ENERGIZADO:</b>	
Gerente de Producción	Gerente de Ingeniería/Mantenimiento
Gerente de Seguridad	Persona Eléctricamente Capacitada
Gerente General	Fecha
Nota: Una vez finalizado el trabajo, pasar este formulario al Departamento de Seguridad para revisión y retención.	
© 2004 National Fire Protection Association	NFPA 70E (p. 1 de 1)

## **IV. METODOS DE CÁLCULO PARA ARCO ELECTRICO**

### **NFPA 70E.**

La primera organización en los Estados Unidos con relación a los estándares de fuego y seguridad eléctrica es la NFPA, Nacional Fire Protection Association. Su documento, NFPA 70E-2004, Norma para la Seguridad Eléctrica en Lugares de Trabajo, ha sido adoptada por la ANSI, American National Standard Institute como un estándar americano. Esta norma cubre las prácticas de trabajo relacionadas con la seguridad, define a los trabajadores calificados y no calificados y provee una guía para establecer un programa de seguridad eléctrica. También contempla un análisis de riesgo eléctrico por choque y destello, discute los trabajos permitidos en equipo energizado y procedimientos de apertura/cierre apropiados. NFPA define y establece los límites de aproximación a equipo energizado contra choque y arco eléctrico e indica cómo seleccionar tanto el Equipo de Protección Personal (EPP) y equipo eléctrico de protección de los sistemas adecuados.

### **IEEE Std. 1584.**

La IEEE 1584, Guía para realizar cálculos de riesgo por Arco Eléctrico, presenta métodos para el cálculo de la energía incidente durante un arco eléctrico y los límites de dicho arco en sistemas trifásicos de corriente alterna. Esta cubre el proceso de análisis desde la recopilación de los datos en campo hasta los resultados finales, presenta las ecuaciones necesarias para encontrar la energía incidente y los límites de protección por arco, y discute las soluciones alternativas por software. Las aplicaciones cubren un modelo derivado empíricamente y un modelo derivado teóricamente, aplicable para cualquier voltaje. Sistemas monofásicos de corriente alterna y sistemas de corriente directa no están incluidos en ésta guía.

### **Diferencia entre cálculos de NFPA 70E e IEEE Std. 1584.**

El método de la NFPA 70E estima la energía incidente basado en un valor teórico máximo disipado por fallas por arco, basado en el trabajo de Ralph Lee. Este es generalmente conservador. En contraste, IEEE Std. 1584 estima la energía incidente con ecuaciones empíricas desarrolladas de análisis estadísticos de mediciones tomadas de numerosas pruebas de laboratorio. El método de IEEE intenta ser más realista que conservador, y pretende evitar accidentes debido a las limitaciones de la sobreprotección a los trabajadores. La sobreprotección también puede restringir la visibilidad y movimiento, incomodidad y reducción de la productividad del trabajador.

## Límites de protección.

NFPA 70E define una serie de límites, mostrados en la figura 4.1 relacionados a la seguridad eléctrica cuando se trabaja en equipo energizado. Solo personal calificado puede cruzar estos límites y requieren utilizar Equipo de Protección Personal (EPP) apropiado dentro de estos límites.

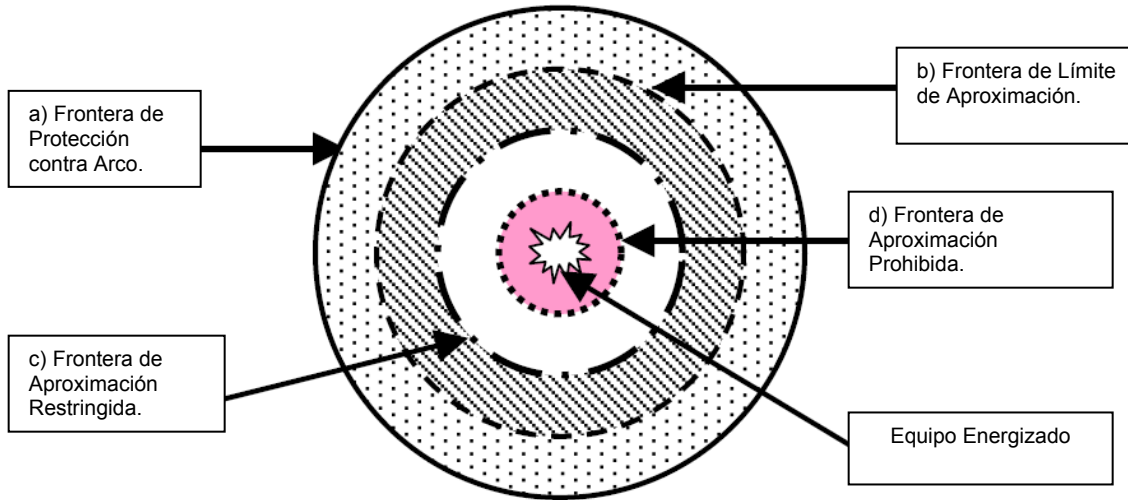


Figura 4.1. Límites de Protección.

### a) *Frontera de protección contra arco.*

La frontera de protección contra arco es la distancia desde la fuente del arco (equipo expuesto energizado) a la cual la energía potencial de calor incidente de una falla por arco es de  $1.2 \text{ cal/cm}^2$  sobre la superficie de la piel. Una exposición a  $1.2 \text{ cal/cm}^2$  podría normalmente resultar en una quemadura curable de segundo grado.

Dentro de este límite los trabajadores requieren usar ropa de protección como camisas y pantalones resistentes al fuego (FR por sus siglas en inglés), y otro equipo para cubrir varias partes del cuerpo. La distancia puede variar de equipo a equipo ya que esto está en función de la corriente de falla disponible del sistema en este punto, el voltaje y las características de disparo del dispositivo de protección inmediato superior, así como de algunos otros parámetros.

### b) *Frontera de límite de aproximación.*

Una frontera de protección contra choque que la puede cruzar únicamente personal calificado y que la pueden cruzar personas no calificadas a menos que lo hagan con una persona calificada.

### c) *Frontera de aproximación restringida.*

Un límite de aproximación a una distancia de una parte viva expuesta dentro de la cual aumenta el riesgo de choque, debido a arco eléctrico ocasionado por movimientos involuntarios, para personal que trabaja cerca de una parte viva.

d) *Frontera de aproximación prohibida.*

Un límite de aproximación a una distancia de una parte viva expuesta dentro de la cual se considera lo mismo que estar haciendo contacto con la parte viva.

**Equipo de Protección Personal.**

La NFPA especifica el Equipo de Protección Personal (EPP) para trabajar dentro de la frontera de protección contra arco. Todas las partes del cuerpo que puedan estar expuestas al arco eléctrico, necesitan estar cubiertas por el equipo de protección personal apropiado. Todo Equipo de Protección Personal (EPP) debe comprender de ropa Retardante al Fuego (FR por sus siglas en inglés), casco o careta, lentes de seguridad, guantes, zapatos, etc. dependiendo de la magnitud de la energía del arco. La cantidad de Equipo de Protección Personal (EPP) requerida y clase que se necesita es determinada de los cálculos básicos de la energía incidente sobre el cuerpo de los trabajadores. Los cálculos necesitan ser realizados por una persona calificada, como un ingeniero. La ropa de protección limitaría la energía incidente a menos de 1.2 cal/cm<sup>2</sup> en el área de pecho/cara del trabajador. La ropa Retardante al Fuego (FR) provee aislamiento térmico y también es auto-extinguible. La ropa de protección es clasificada en cal/cm<sup>2</sup> o en J/cm<sup>2</sup>.

**Clasificación de la categoría peligro/riesgo.**

NFPA 70E define 5 niveles de riesgo de arco eléctrico, Tabla 4.1, basados en el cálculo de la energía incidente a la distancia de trabajo.

**Tabla 4.1. Clasificación del Equipo de protección Personal.**

<b>Categoría</b>	<b>Nivel de energía (cal/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Nivel de energía (J/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Ejemplos típicos de EPP</b>
0	< 2	< 8.4	Algodón no tratado, lana, rayón.
1	5	21	Camisa y pantalón FR.
2	8	34	Ropa interior de algodón más camisa y pantalón FR.
3	25	105	Ropa interior de algodón más camisa y pantalón FR más overol FR.
4	40	168	Ropa interior de algodón más camisa y pantalón FR más vestido de arco multi-capas (3 o más).

## **Métodos de evaluación del riesgo.**

Los cálculos de riesgo de arco eléctrico pueden ser realizados de distintas maneras. La elección del método puede basarse en la información disponible, cantidad de trabajo de cálculo, necesidad o precisión, disponibilidad de recursos y calidad del programa de mitigación del arco eléctrico. Sin importar qué método se utilice se debe estar consciente de las limitaciones del método y realizar el análisis de ingeniería para obtener mejores resultados.

1. Cálculos manuales: Se pueden realizar cálculos manuales utilizando las ecuaciones de la NFPA 70E o IEEE 1584 para pequeños sistemas radiales de distribución. Esto consume mucho tiempo y no es conveniente para grandes sistemas. Mientras más cálculos manuales se realicen, pueden ser introducidos errores inadvertidos en los cálculos.
2. Hoja de cálculo: El Standard IEEE 1584 viene con una hoja de cálculo en Excel que puede ser usada para evaluar los riesgos por arco eléctrico. Hojas de cálculo similares pueden ser fácilmente realizadas usando las ecuaciones de la NFPA 70E. Este método está limitado a sistemas radiales de una sola fuente y los errores se incrementan con el tamaño del sistema.
3. Programas integrados comerciales: Estos son prácticos para todos los sistemas con múltiples fuentes y múltiples escenarios de interconexiones donde se desea una mayor precisión y en donde los sistemas han tenido cambios a través del tiempo. Una vez que los datos son introducidos al programa, obtener la evaluación de los riesgos toma muy poco tiempo. Los resultados son observados instantáneamente.

## Método de cálculo basado en IEEE Std. 1584.

Procedimiento del estudio de Arco Eléctrico.

Como se mencionó anteriormente las ecuaciones para el cálculo de arco eléctrico fueron desarrolladas en base a una serie de pruebas.

Las ecuaciones empíricamente derivadas fueron desarrolladas por un grupo de trabajo en arco eléctrico de la IEEE. Estas ecuaciones están basadas en resultados de pruebas y son aplicables para las condiciones mostradas en la tabla 4.2.

**Tabla 4.2. Condiciones para las cuales las ecuaciones de IEEE 1584 son aplicables.**

Parámetro	Rango aplicable
Voltaje del sistema (kV)	0.208 a 15 kV
Frecuencia (Hz)	50 o 60 Hz
Corriente de Corto Circuito (kA)	0.7 a 106 kA
Separación entre electrodos (mm)	13 a 152 mm
Tipo de equipo	Aire libre, caja, CCM, panel, tableros, cables
Tipo de conexión a tierra	No aterrizado, aterrizado, aterrizado con una gran resistencia.
Fases	Fallas trifásicas

El procedimiento general del estudio de Arco Eléctrico recomendado en el estándar IEEE 1584 consta de los siguientes pasos:

1. Recopilar los datos de campo suficientes para realizar un estudio de corto circuito y coordinación.

Se debe contar con los diagramas unifilares actualizados, si no se cuenta con estos se debe hacer un levantamiento de datos para crearlos. Los diagramas unifilares deben contar con los datos suficientes para poder llevar a cabo los estudios de Corto Circuito, Coordinación de Protecciones y Arco Eléctrico.

Los diagramas deben mostrar todos los transformadores, líneas de transmisión, circuitos de distribución, puesta a tierra de los equipos, reactores limitadores de corriente y otros dispositivos limitadores de corriente, bancos de capacitores, cuchillas desconectoras, tableros de distribución y centros de control de motores incluyendo dispositivos de protección y sus capacidades, alimentadores y circuitos derivados, así como motores hasta un nivel de 480V, y transformadores de instrumentos. El equipo debajo de los 240V

no necesita ser considerado a menos que involucre un transformador de 125kVA o un transformador de muy baja impedancia.

2. Identificar los posibles modos de operación del sistema.

En un sistema de distribución radial simple hay solo un modo de operación –normal- pero en un sistema más complejo puede haber diferentes modos.

Es importante determinar la corriente de falla en cada bus para los diferentes modos de operación, tanto la corriente máxima como la corriente mínima de falla.

3. Calcular la corriente de falla en cada punto del sistema.

Para esto es necesario desarrollar un estudio de Corto Circuito y obtener las corrientes de falla para cada bus del sistema.

En el siguiente capítulo se describe el procedimiento para el cálculo de la corriente de corto circuito.

4. Calcular la corriente de falla por arco que fluye a través de cada rama de cada punto de falla.

Esta se calcula para separar la corriente de falla por arco en el punto de interés de la porción de la corriente fluyendo a través del dispositivo inmediato superior de protección arriba de la falla.

La corriente de falla por arco será menor que la corriente de falla franca debido a la impedancia del arco, especialmente en aplicaciones menores a 1000V. Para aplicaciones en media tensión la corriente de arco también es una pequeña parte de la corriente de falla franca, y también debe ser calculada. A continuación se presenta la ecuación para el cálculo de la corriente de arco.

Para sistemas de baja tensión (<1 kV), la corriente de arco está dada por la siguiente ecuación (4.1).

$$I_a = 10^{\left\{ k + 0.662 \log(I_{bf}) + 0.0966V + 0.000526G + 0.588V \log(I_{bf}) - 0.00304G \log(I_{bf}) \right\}}$$

*Ecuación 4.1*

donde:

- $I_a$  = corriente de arco (kA).
- $k$  = -0.153; configuración abierta.  
= -0.097 ; configuración caja
- $I_{bf}$  = corriente de falla de corto circuito sólido trifásica (simétrica RMS kA)
- $V$  = Voltaje del sistema (kV)
- $G$  = separación entre conductores (mm).

Para sistemas de tensión media (>1 kV), la corriente de arco está dada por la ecuación (4.2).

$$I_a = 10^{\left\{ 0.00402 + 0.983 \log(I_{bf}) \right\}}$$

*Ecuación 4.2*

La ecuación para alta tensión no hace distinción entre la configuración abierta o de caja.

- Determinar el tiempo requerido para liberar la corriente de falla por arco utilizando los ajustes de los dispositivos de protección y asociándolos con las curvas de disparo.

Para poder obtener estos tiempos de operación es necesario desarrollar un estudio de coordinación de protecciones.

- Documentar los Voltajes del Sistema y la clasificación de los equipos.

Para cada bus, se debe documentar el Voltaje y la clase de equipo. Esto permitirá la correcta aplicación de las ecuaciones basadas en estándares de clase de equipo y la separación bus-bus como se muestra en la tabla 4.3.

**Tabla 4.3. Clase de Equipo y Separación entre partes vivas.**

Clase de Equipo	Distancias entre Buses Típicas (mm)
Tablero 15 kV	152
Tablero 5 kV	104
Tablero Baja Tensión	32
CCM y Tableros de Baja Tensión	25
Cable	25
Otros	13

- Seleccionar las distancias de trabajo basadas en el voltaje del sistema y tipo de equipo.

La protección contra el arco eléctrico está basada en el nivel de energía incidente en la cara y el cuerpo de la persona a la distancia de trabajo, no en la energía incidente sobre manos o brazos.

Las distancias típicas de trabajo se muestran en la tabla 4.4.



**Tabla 4.4. Clase de Equipo y Distancias de trabajo típicas.**

Clase de Equipo	Distancias de Trabajo Típicas * (mm)
Tablero 15 kV	910
Tablero 5 kV	910
Tablero Baja Tensión	610
CCM y Tablero de Baja Tensión	455
Cable	455
Otros	Determinar en campo

\* La distancia típica de trabajo es la suma de la distancia entre el trabajador parado frente al equipo, y del frente del equipo a la potencial fuente del arco dentro del equipo.

8. Calcular la energía incidente para cada punto de falla.

La energía incidente normalizada es utilizada para obtener la energía incidente a una superficie normal a una distancia y tiempo de arco dados con la ecuación (4.3).

$$E_n = 10^{\left\{ k_1 + k_2 + 1.081 \log(I_a) + 0.0011G \right\}}$$

*Ecuación 4.3*

donde:

$E_n$  = Energía incidente normalizada en tiempo y distancia (J/cm<sup>2</sup>).

$K_1$  = -0.792 para configuraciones abiertas.

-0.555 para configuraciones de caja.

$K_2$  = 0 para neutros flotantes o aterrizados a través de resistencia

$G$  = Separación entre conductores,

Finalmente se tiene que la energía incidente es:

$$E = 4.184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left( \frac{t}{0.2} \right) \cdot \left( \frac{610}{D} \right)^x$$

*Ecuación 4.4*

donde:

- $E$  = Energía incidente ( $J/cm^2$ )  
 $C_f$  = Factor de cálculo = 1.0; voltaje > 1 kV.  
           = 1.5; voltaje < 1 kV.  
 $t$  = Duración del arco (segundos)  
 $D$  = Distancia a la fuente de arco (mm).  
 $X$  = Exponente de distancia como se muestra en la tabla 4.5.

**Tabla 4.5. Factor de distancia (x) para varios voltajes.**

Tipo	0.208 a 1 kV	> 1 a 15 kV.
Aire libre	2	2
Tablero	1.473	0.973
CCM y Panel	1.641	
Cable	2	2

9. Calcular la frontera de protección contra arco para cada punto de falla.

La frontera de protección contra arco es la distancia a la cual una persona sin equipo de protección personal (EPP) puede recibir una quemadura de segundo grado.

$$D_B = 610 \cdot \left[ 4.184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left( \frac{t}{0.2} \right) \cdot \left( \frac{1}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

*Ecuación 4.5*

donde:

- $D_B$  = Distancia de la frontera al punto de arco (mm)  
 $C_f$  = Factor de cálculo = 1.0; voltaje > 1 kV.  
           = 1.5; voltaje < 1 kV.  
 $E_n$  = Energía incidente normalizada.  
 $E_B$  = Energía incidente a la distancia de la frontera ( $J/cm^2$ );  $E_B$  puede ser establecida a  $5 J/cm^2$  ( $1.2 cal/cm^2$ ) para piel descubierta.  
 $t$  = Duración del arco (segundos)  
 $X$  = Exponente de distancia como se muestra en la tabla 3.3.

## Método de cálculo basado en NFPA 70E. Anexo D

El método más simple para determinar el equipo de protección personal es usar las tablas del NFPA 70-E. Estas tablas dan respuestas inmediatas y no requieren levantamiento en campo. Se debe notar que estas tablas se aplican para corrientes de falla y tiempos de liberación de falla muy específicos y estas tablas no cubren todas las aplicaciones o instalaciones de equipo eléctrico. Aunque estas tablas intentan ser conservadoras para la mayoría de las aplicaciones, no pueden ayudar al usuario a seleccionar la protección adecuada, ya que se puede llegar a sobredimensionar el equipo.

Ralph Lee desarrolló un modelo para el cálculo del arco eléctrico. Este modelo sirvió por muchos años como el único método disponible. Su gran limitación es que no incluye un método para calcular la corriente de arco, la cual es muy importante en casos de sistemas de menos de 1000V. Este método se describe a continuación y es utilizado en software para aplicaciones en las que el modelo empírico no es conveniente, como puede ser en subestaciones al aire libre, sistemas de transmisión y distribución al aire libre.

1. Cálculo de la energía incidente para cada punto de falla utilizando NFPA 70-E.

Arco abierto al aire libre – 0.6 kV o menor, 16 – 50 kA corriente de CC.

$$E = 5271 \cdot D^{-1.9593} \cdot t \cdot [0.0016 \cdot I_{bf}^2 - 0.0076 \cdot I_{bf} + 0.8938]$$

*Ecuación 4.6*

Arco en caja - 0.6 kV o menor, 16 – 50 kA corriente de CC.

$$E = 1038.7 \cdot D^{-1.4738} \cdot t \cdot [0.0093 \cdot I_{bf}^2 - 0.3453 \cdot I_{bf} + 5.9675]$$

*Ecuación 4.7*

Arco abierto al aire libre – Superior a 0.6 kV.

$$E = 793 D^{-2} \cdot V \cdot I_{bf} \cdot t$$

*Ecuación 4.8*

donde

- $E$  = Energía incidente ( $\text{cal}/\text{cm}^2$ )
- $I_{bf}$  = Corriente de falla de corto circuito sólido (kA)
- $t$  = Duración del arco (segundos)
- $D$  = Distancia a la fuente de arco (pulgadas)

2. Cálculo de la Frontera de protección contra arco utilizando NFPA 70-E.

La potencia máxima teórica en MW es la mitad de MVA de corto circuito trifásico. Esto ocurre cuando la corriente de arco es 70.7% de la corriente de corto circuito. Basada en esto, la frontera de protección contra arco es calculado como sigue:

$$D_B = \sqrt{2.65 \cdot 1.732 \cdot V \cdot I_{bf} \cdot t}$$

*Ecuación 4.9*

donde:

- $D_B$  = Distancia de la frontera al punto de arco (pulgadas)
- $V$  = Voltaje del sistema L-L (kV)
- $I_{bf}$  = Corriente de falla de corto circuito sólido (kA)
- $t$  = Duración del arco (segundos)

## V. EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL

El equipo de protección personal (EPP) está diseñado para proteger a los empleados en el lugar de trabajo de lesiones o enfermedades serias que puedan resultar del contacto con peligros químicos, radiológicos, físicos, eléctricos, mecánicos u otros. Además de caretas, gafas de seguridad, cascos y zapatos de seguridad, el EPP incluye una variedad de dispositivos y ropa tales como gafas protectoras, overoles, guantes, chalecos, tapones para oídos y equipo respiratorio.

Los requisitos generales de EPP exigen que los empleadores lleven a cabo una evaluación de los riesgos en sus lugares de trabajo para identificar los riesgos que existen y que requieren el uso de EPP, para que brinden el EPP adecuado a los trabajadores y que exijan que estos mismos hagan uso del equipo además de mantenerlo en condiciones sanitarias y fiables.

El uso de EPP suele ser esencial, pero es generalmente la última alternativa luego de los controles de ingeniería, de las prácticas laborales y de los controles administrativos. Los controles de ingeniería implican la modificación física de una máquina o del ambiente de trabajo. Los controles administrativos implican modificar cómo y cuando los empleados realizan sus tareas, tales como los horarios de trabajo y la rotación de empleados con el fin de reducir la exposición. Las prácticas laborales implican la capacitación de los trabajadores en la forma de realizar tareas que reducen los peligros de exposición en el lugar de trabajo.

Como empleador, usted debe evaluar su lugar de trabajo con el fin de determinar si existen riesgos que requieran el uso de EPP. Si existen estos riesgos, usted debe seleccionar el EPP y exigir que lo utilicen sus empleados, comunicar sus selecciones de EPP a sus empleados y seleccionar EPP que se ajuste a la talla de sus trabajadores.

Debe también capacitar a los empleados que tienen que hacer uso de EPP para que sepan como hacer lo siguiente:

- Usar adecuadamente el EPP.
- Saber cuándo es necesario el EPP.
- Conocer qué tipo de EPP es necesario.
- Conocer las limitaciones del EPP para proteger de lesiones a los empleados.
- Ponerse, ajustarse, usar y quitarse el EPP.
- Mantener el EPP en buen estado.

A los empleados que trabajan en áreas donde hay peligros eléctricos, se les deberá proveer y deberán usar, equipo de protección que este diseñado y construido para la parte específica del cuerpo que se va a proteger y para el trabajo que se va a realizar.

El equipo de protección se mantendrá en condiciones seguras y confiables. El equipo de protección personal se deberá inspeccionar visualmente antes de usarlo.

Cuando el empleado trabaja dentro de la frontera de protección contra relámpago, deberán vestir ropa de protección y otros equipos de protección personal de acuerdo con la tabla.

Cuando se utilicen ropas resistentes al fuego, retardantes al fuego o tratadas, para proteger al empleado, estas deberán cubrir toda la ropa que sea incendiadle y deberán permitir el movimiento y la visibilidad.

Protección de la cabeza, la cara, el cuello y el mentón.

Los empleados deberán vestir protección no conductiva en la cabeza, siempre que exista peligro de heridas en la cabeza causadas por choque eléctrico o quemaduras debidas al contacto con partes energizadas o por objetos que vuelen como resultado de una explosión eléctrica. Los empleados deberán vestir EPP para la cara, cuello y mentón cuando exista un peligro de heridas por exposición a arcos eléctricos o relámpago de arco por objetos volátiles que resulten de una explosión eléctrica.

Protección de los ojos.

Los empleados deberán vestir equipo de protección para los ojos, siempre que exista peligro de heridas causadas por arcos eléctricos, relámpagos o por objetos que vuelen como resultado de una explosión eléctrica.

Protección del cuerpo.

Los empleados deberán vestir ropa retardante al fuego RF siempre que exista la posibilidad de exposición a relámpago de arco por encima del umbral del nivel de energía incidente para una quemadura de segundo grado.

Protección de las manos y los brazos. Los empleados deberán vestir guantes de caucho aislante cuando existe el peligro de heridas en las manos y en los brazos, causadas por choque eléctrico y quemaduras debidas al contacto con partes energizadas. La protección de las manos y los brazos se deberá vestir cuando haya posibilidad de exposición a quemadura de relámpago de arco. Las prendas descritas en la tabla se requieren para la protección de las manos contra quemaduras. La protección de los brazos de deberá alcanzar mediante la vestimenta descrita en la tabla.

Protección de los pies y de las piernas.

Cuando se utilice calzado aislado como protección contra las tensiones de paso y de toque, se exigirán zapatones dieléctricos. Las suelas aisladas no tienen el propósito de ser utilizadas como protección eléctrica principal.

### **Comienzos de la utilización de EPP**

Por muchos años la utilización de ropa de algodón y lana, guantes de caucho y de cuero fue lo más común, luego y a medida que se desarrollaron nuevas tecnologías, se empezaron a implementar fibras sintéticas a la ropa de trabajo, típicamente para darle más duración a las prendas. A principio de los años 70's algunas compañías eléctricas comenzaron a utilizar gafas de lente claro con protección UV (ultra violeta), dado que se reconocía un peligro de explosiones eléctricas y se pensaba que era radiación UV.

La practica fue demostrando que esto no era suficiente o el adecuado EPP para proteger a los trabajadores, dado que se tomaba en consideración solamente el choque eléctrico al utilizar materiales dieléctricos y aislantes, pero no se consideraban los relámpagos de arco. También se descubrió que utilizando telas con fibras sintéticas y protección facial de materiales termoplásticos, al ser expuestos a arcos eléctricos muchas veces se empeoraba la situación. Estos materiales se fundían con el calor y se pegaban al cuerpo,

extremidades y rostro de los trabajadores, haciendo que quemaduras que quizás podrían haber sido leves se transformaran en quemaduras de tercer grado.

### **Segunda Generación del EPP**

Poco después de haber sido publicada la teoría de los arcos eléctricos por Ralph Lee, en 1985 Jack B. Hirschmann Jr. crea el primer protector facial para relámpagos de arco. Este es fabricado en poli carbonato con una protección UV, para proteger de los aspectos que se conocían hasta entonces de este fenómeno. En 1987 se confecciona el primer traje para la protección de arcos eléctricos, diseñado en dos piezas, una parca o sobretodo hasta los tobillos con su capucha y protector facial con protección UV incorporado.



### **Tercera Generación del EPP: Revolución de Normas y Estándares**

Los 90 s fueron años de gran avance en cuestión de normas y estándares de seguridad eléctrica, esto asistió al desarrollo de mejores, más confiables productos de seguridad y el surgimiento de la 3er generación de trajes para arco eléctrico. Por otra parte, no faltó quien tomara ventaja y promoviera sus productos diciendo cumplir con ciertas bondades, cuando pruebas de laboratorio demostraban lo contrario.

Se publicaron normas y estándares sobre productos como guantes, mantas, mangas, mangueras, cubiertas y herramientas aislantes, también otras complementarias a la seguridad eléctrica, que cubrían productos y procedimientos tales como calzado dieléctrico, guantes protectores de cuero, inspección visual de guantes aislantes, señales y etiquetas de seguridad, escaleras y herramientas de fibra de vidrio y puestas a tierra.



En 1994 OSHA en su norma 1910.269 trata el tema de la vestimenta que contribuye a las quemaduras por arcos eléctricos y ASTM por medio del estándar F1506 publica sobre la ropa de protección contra relámpagos de arco. Por primera vez en la historia se escribe un estándar acerca del EPP para relámpagos de arco, a este lo complementan dos estándares que se publican en 1995, ASTM F1959 y F1958 los cuales revolucionaron el EPP para electricistas como se lo conocía hasta ese momento.

Los estándares permitieron a Oberon Company y DuPont cuantificar la incidencia de energía sobre telas y maniqués, pudiendo darle niveles de protección a los trajes de relámpago de arco. Así se crea la 3er generación de EPP para relámpagos de arco, trajes conformados por capuchas, chaquetas y pantalones de 15, 31, 50 y 100 calorías por centímetro cuadrado ( $\text{cal}/\text{cm}^2$ ), dejando de lado el diseño anterior en forma de parca o sobretodo. Oberon va mas allá poniendo un factor de seguridad, reportando menor protección de la que sus telas proporcionaban, haciendo lugar a errores en los análisis de riesgo por parte de los usuarios.

En este proyecto se creó un método de pruebas para protección facial que permitió descubrir que los peligros no eran solo la radiación UV, sino que la mayor parte de la radiación era infrarroja (IR). Esto hace que se cambie del protector facial con protección UV a protectores faciales fabricados de poli carbonato con cobertura en oro 24k. Esta tecnología fue desarrollada por la Familia Hirschmann para NASA y permite filtrar la radiación IR, UV y permite el paso de la luz visible. Llegado 1999 se cambio una vez más la protección facial, esta vez a propia nato con la resina Arca, NFPA Jornal Latinoamericano Nota Especializada un producto exclusivo de Oberon Company y el inicio de protectores faciales con niveles de protección similar al de las telas de los trajes. Se introduce un nuevo componente al EPP del electricista, las mantas de supresión de arcos periféricos. Con esto los trabajadores pueden crear barreras de contención en equipos periféricos, dándoles protección extra de relámpagos de arcos en equipos cercanos al lugar de trabajo de ellos.





## **VI. ESTUDIO DE ARCO ELECTRICO (ARC FLASH).**

### **ALCANCE DEL ESTUDIO.**

La evaluación de arco eléctrico (Arc Flash) de la S.E. ayuda a determinar las distancias límites de seguridad requeridas y riesgos por arco eléctrico, evitando lesiones o muerte al personal de operación y mantenimiento eléctrico.

Con ésta información se especifica el equipo de protección personal requerido así como las de etiquetas de advertencia para el trabajo seguro en éstos equipos, que deberán colocarse en las puertas de los cubículos de los tableros.

El programa (Power Tools de SKM) calcula la energía incidente de acuerdo con las normas NFPA-70E, OSHA (Occupational Safety and Health Administration) e IEEE 1584.

El cálculo del arco eléctrico se realiza tomando como base el programa de arco eléctrico (arc flash) el cual interactúa con: 1) los niveles de falla eléctrica del estudio de corto circuito y 2) los ajustes propuestos en los dispositivos de protección previamente desarrollados en el estudio de coordinación de protecciones. Y como resultado el programa determina las distancias para reducir los riesgos de quemaduras como sigue:

- Distancia de arco eléctrico.
- Distancia segura de trabajo.
- Distancia restringida de trabajo.
- Distancia prohibida de trabajo.
- Clase de ropa necesaria (equipo de protección personal).

Se suministrara las etiquetas requeridas por el estudio de Arco Eléctrico para ser impresas e instaladas por el cliente, las cuales contendrán la siguiente leyenda: Riesgo de arco eléctrico, peligro de choque eléctrico, distancia de seguridad de trabajo: límite de acercamiento, límite de protección por arqueo, acercamiento restringido, acercamiento prohibido, clase de camisa y pantalón, clase de lentes de protección personal requerido para cada tablero en cumplimiento con NFPA 70-2004 (NEC) sección 110.16.

Para el cálculo se consideraron las bases de datos de los estudios de corto-circuito y de coordinación de protecciones. Así mismo se hace referencia al Diagrama Unifilar Esquemático.

En el presente estudio se hace referencia a los dispositivos de protección y buses del diagrama unifilar esquemático.

### **INTRODUCCIÓN.**

El personal eléctrico normalmente trabaja cerca o con equipo eléctrico energizado. Se han desarrollado procedimientos y normas de seguridad para prevenir peligros debidos a condiciones inseguras de trabajo como son no contar con equipo de protección adecuado, falta de precaución durante maniobras, realizar acciones inadvertidas, etc.

Para evitar riesgos se requiere que se tomen tantas medidas de seguridad como sea posible, esto inicia con el diseño de las instalaciones y del sistema eléctrico, continúa con la especificación de

componentes y equipo eléctrico para su instalación, arranque y operación, así como su mantenimiento.

Muchos circuitos eléctricos no representan directamente un peligro serio de descarga o quemaduras, sin embargo, muchos de estos circuitos se encuentran cerca de otros que sí representan un potencial peligro mortal. Aún una descarga pequeña puede causar que un operador reaccione involuntariamente y deje caer herramientas, o él mismo entrar en contacto con algún circuito con niveles de energía peligrosos.

Existen estándares que orientan acerca de las distancias seguras, y del equipo de protección personal requerido para minimizar la posibilidad de descargas eléctricas en equipos expuestos en diferentes niveles de voltaje, los principales son:

- NFPA-70E (Electrical Safety Requirements for Employee Workplaces)
- OSHA (Occupational Safety and Health Administration)
- IEEE 1584-2002 (Guide for Performing Arc Flash Hazard Calculations)
- NFPA 70-2004 (NEC) sección 110.16

Los peligros más comunes durante maniobras que causan daños e inclusive la muerte mientras se trabaja con o cerca de equipo eléctrico energizado son:

- Descargas eléctricas.
- Quemaduras debidas al arco eléctrico por contacto o por radiación de calor. Del arco pueden derivar explosiones debido a materiales vaporizados por el intenso calor.

### **CHOQUE ELECTRICO.**

La mayoría del personal está consciente que durante las maniobras existe el riesgo de algún choque eléctrico e inclusive de electrocución. Los daños causados dependen de varios factores:

- Características del circuito (corriente, resistencia, frecuencia y voltaje).
- Resistencia de contacto e interna del cuerpo.
- Ruta de la corriente a través del cuerpo, es determinado por el punto de contacto y la química del cuerpo.
- Duración del contacto.
- Condiciones ambientales que afectan la resistencia de contacto del cuerpo.

### **ARCO ELECTRICO**

El arco eléctrico es causado por la pérdida de la distancia de aislamiento entre equipos energizados y puede definirse al arco eléctrico como un corto circuito a través del aire (debido a la ionización del aire). Durante un arco eléctrico una gran cantidad de energía concentrada es liberada en muy poco tiempo hacia el exterior del equipo eléctrico, creando ondas de presión (explosión) que pueden dañar el oído de una persona, sus ojos, provocar quemaduras así como derretir e inclusive vaporizar el metal. Además de que estas ondas de presión pueden arrojar restos de equipo dañado, herramientas u otros objetos a través del aire, el calor emitido puede causar graves daños a los operadores por la exposición directa o a través de su ropa de trabajo que puede ser encendida.

Dos puntos importantes que deben tomarse en cuenta en la prevención del arco eléctrico:

- No es necesario estar en contacto con el circuito para sufrir graves heridas e inclusive hasta la muerte y
- Es un concepto erróneo el que la magnitud del arco depende únicamente del voltaje, cuando en realidad depende más de la corriente de corto circuito en ese punto del circuito y del tiempo que le toma al fusible o interruptor liberar la falla.

NFPA 70E adoptó formulas para definir distancias seguras de trabajo para prevenir potenciales arcos eléctricos. Estas fórmulas son usadas para determinar el equipo de protección que un trabajador necesita usar cuando opera con, o cerca de, equipo energizado.

La fórmula para determinar la distancia “curable” entre el personal y el equipo energizado es la siguiente:

$$Dc = [2.65 \times MVA \times t]^{1/2}$$

Donde:

Dc = distancia para una quemadura “curable” [ft]

MVA = potencia de corto circuito trifásico en el punto de falla [MVA]

t = tiempo de exposición al arco [s]

El único modo de prevenir arcos eléctricos y trabajar sin riesgo es hacerlo con equipo desenergizado. Ya que esto no siempre es posible, se deben proteger las partes del cuerpo que se encuentran cerca de los límites calculados, usando el equipo apropiado de protección personal (EPP).

NFPA 70E define los tipos de equipos de protección personal por categoría, como debe ser elaborado, probado, y que tipo de herramientas son recomendadas trabajar con o cerca de equipo energizado. También define que tan cerca (límite de protección contra arco eléctrico) el personal puede estar del equipo sin el equipo de protección adecuado.

Categoría	Nivel de energía (cal/cm2)	Nivel de energía (J/cm2)	Ejemplos típicos de EPP
0	< 2	< 8.4	Algodón no tratado, lana, rayón.
1	5	21	Camisa y pantalón FR.
2	8	34	Ropa interior de algodón más camisa y pantalón FR.
3	25	105	Ropa interior de algodón más camisa y pantalón FR más overol FR.
4	40	168	Ropa interior de algodón más camisa y pantalón FR más vestido de arco multi-capas (3 o más).

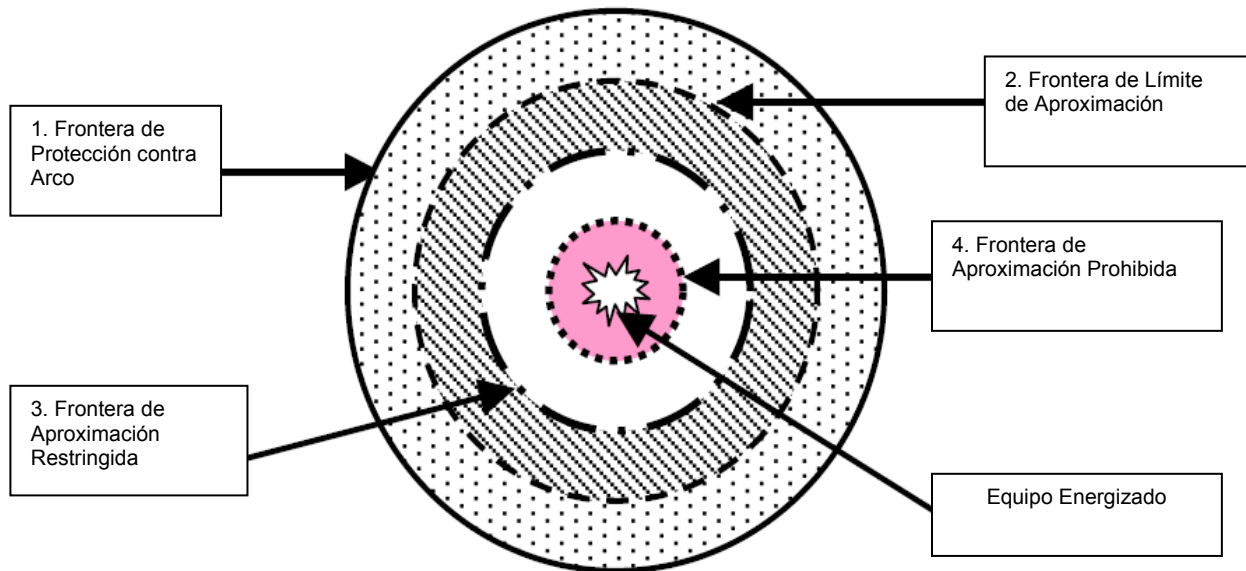
**Características de la ropa de protección, tabla 130.7(C)(11) NFPA 70E.**

En la tabla se muestran la ropa recomendada para trabajar en equipo energizado en función de la energía incidente, ésta se especifica conforme el NFPA-70E y debe cumplir con los requerimientos que en éste estándar se establecen.

La ropa clase 0 es la de algodón convencional que se utiliza para los uniformes industriales. Sin embargo, la ropa con especificación FR (retardante al fuego) se debe apegar y debe estar certificada conforme al estándar NFPA-70E.

El uniforme y equipo requerido para realizar trabajos en equipos eléctricos energizados en cualquier nivel de tensión también considera lo siguiente:

- Calzado dieléctrico.
- Las herramientas utilizadas deben ser aisladas lo más posible, tal es el caso de pinzas, desarmadores, llaves, manuales, etc.
- Lentes de protección ó en su caso caretas dependiendo de la energía incidente del equipo que se este interviniendo.
- Equipo de protección personal según se recomienda en el análisis de arco eléctrico.
- Protección auditiva. (aún cuando no se encuentre en un área ruidosa)
- Guantes.



**Límites de Protección.**

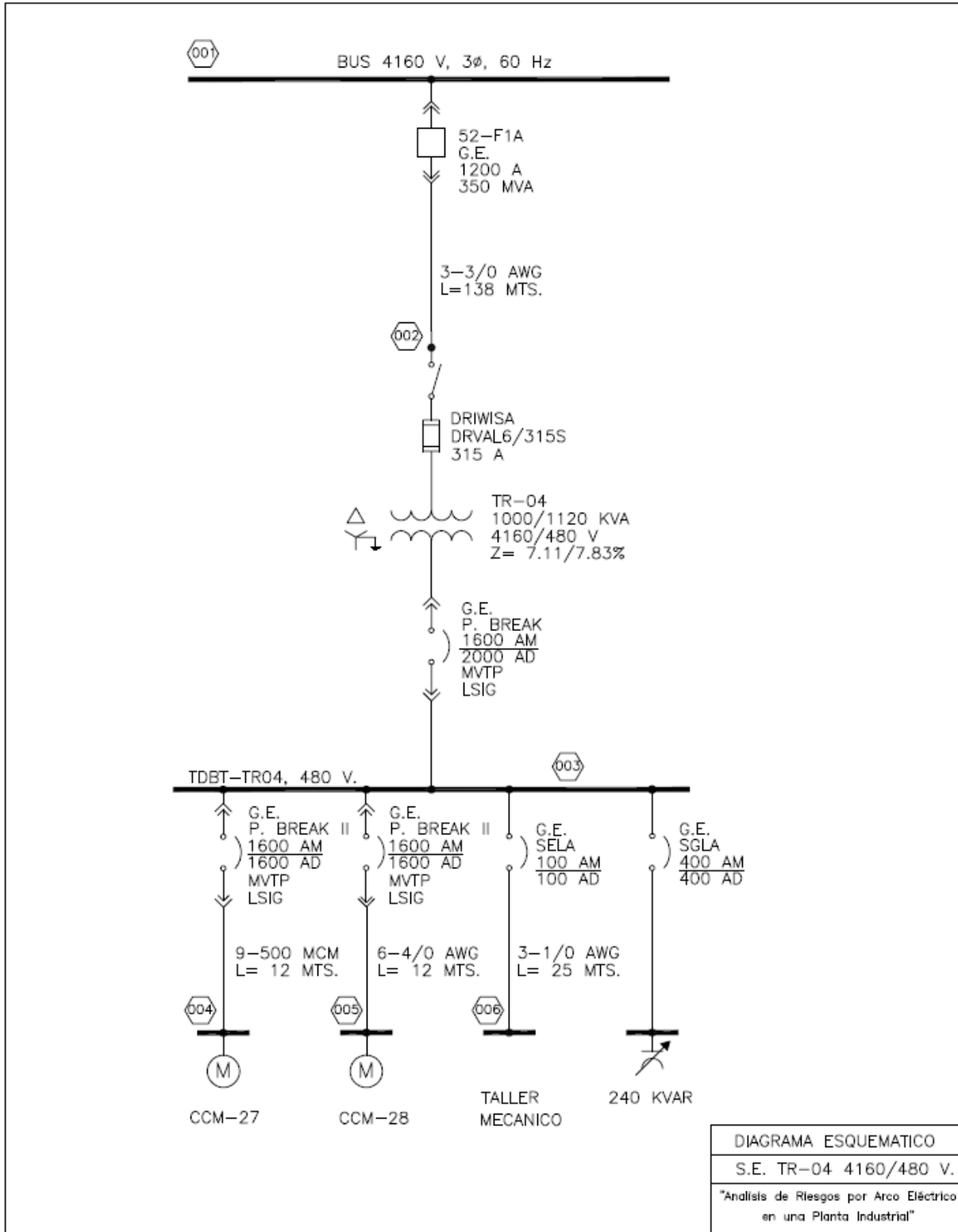
La figura muestra un punto de la instalación, energizado y expuesto (sin aislamiento), que puede ser un cable, borne o barras en un motor, CCM ó tablero y muestra los límites seguros. Se representó en regiones esféricas ya que se debe guardar la misma distancia en todas las direcciones y obviamente ésta representa un espacio tridimensional.

De la figura se tienen las siguientes definiciones:

Frontera de límite de aproximación.	<u>Área limitada o confinada.</u> Es el límite el cual no debe ser rebasado por personal no calificado.
Frontera de aproximación restringida	<u>Límite restringido de acercamiento.</u> Es el límite que puede pasar únicamente personal calificado utilizando su equipo de protección
Frontera de protección contra arco	<u>Límite de protección por arqueo.</u> Distancia en la cual la energía incidente es igual a 1.2 cal/cm <sup>2</sup> para la interrupción de la falla menor a 0.1 seg.
Energía Incidente	<u>Energía incidente.</u> La energía que se libera por el arqueo debido al entrar en contacto con una parte energizada.
Corriente de falla franca	<u>Falla franca</u> Corriente de Corto-circuito entre diferentes conductores en el que la impedancia en el punto de falla es prácticamente cero.
Corriente de falla de arqueo	<u>Falla por arqueo.</u> Es el flujo de corriente a través del aire este tiene una impedancia mayor que un metal. El arqueo produce o emana calor que puede llegar a 35000°C
Personal calificado	Es la persona que ha recibido el entrenamiento en el equipo y tiene la capacidad de distinguir los riesgos potenciales en las diferentes partes del equipo.
Riesgo de destello	<u>Riesgo de explosión o destello</u> por corto-circuito.

## DIAGRAMA UNIFILAR ESQUEMATICO

Para el cálculo de la energía incidente y los límites de protección, se utilizaron las corrientes de corto-circuito y ajustes de protección como se muestra en las siguientes páginas.



## BASE DE DATOS

### TRANSFORMER INPUT DATA

TRANSFORMER NAME	PRIMARY RECORD NO NAME	VOLTS L-L	* SECONDARY RECORD NO NAME	VOLTS L-L	FULL-LOAD KVA	NOMINAL KVA
TR-04	BUS-002	D 4160.00	BUS-003	YG 480.00	1000.00	1000.00
	Pos. Seq. Z%:	1.23 + J	7.00	1.23 + j	7.00 PU	
	Zero Seq. Z%:	1.23 + J	7.00	1.23 + j	7.00 PU	
	Taps Pri. 0.000 %	Sec. 0.000 %	Phase Shift (Pri. Leading Sec.): 30.00 Deg.			

### FEEDER INPUT DATA

CABLE NAME	FEEDER FROM NAME	FEEDER TO NAME	QTY /PH	VOLTS L-L	LENGTH	FEEDER SIZE	FEEDER TYPE
C_52-F1A	BUS-001	BUS-002	1	4160	138.0 METER	3/0	Copper
	Duct Material: Non-Magnetic		Insulation Type:		EPR	Insulation Class: MV	
	+/- Impedance:	0.2513 + J	0.1135	Ohms/1000 m	0.2004 + J	0.0905	PU
	Z0 Impedance:	0.3993 + J	0.2887	Ohms/1000 m	0.3184 + J	0.2302	PU
C_CCM-27	BUS-003	BUS-004	3	480	12.0 METER	500	Copper
	Duct Material: Non-Magnetic		Insulation Type:		PVC	Insulation Class: THWN	
	+/- Impedance:	0.0906 + J	0.1020	Ohms/1000 m	0.1573 + J	0.1771	PU
	Z0 Impedance:	0.1437 + J	0.2733	Ohms/1000 m	0.2495 + J	0.4745	PU
C_CCM-28	BUS-003	BUS-005	2	480	12.0 METER	4/0	Copper
	Duct Material: Non-Magnetic		Insulation Type:		PVC	Insulation Class: THWN	
	+/- Impedance:	0.2077 + J	0.1089	Ohms/1000 m	0.5409 + J	0.2836	PU
	Z0 Impedance:	0.3301 + J	0.2769	Ohms/1000 m	0.8596 + J	0.7211	PU
C_T MEC	BUS-003	BUS-006	1	480	25.0 METER	1/0	Copper
	Duct Material: Non-Magnetic		Insulation Type:		PVC	Insulation Class: THWN	
	+/- Impedance:	0.4167 + J	0.1181	Ohms/1000 m	4.52 + J	1.28	PU
	Z0 Impedance:	0.6624 + J	0.3005	Ohms/1000 m	7.19 + J	3.26	PU

### MOTOR CONTRIBUTION DATA

BUS NAME	CONTRIBUTION NAME	VOLTAGE L-L	BASE kVA	X"d	X/R	Motor Number
BUS-004	CCM-27	480	181.34	0.159	6.09	1.00
	Pos Sequence Impedance (100 MVA Base)			14.40 + j	87.68 PU	
BUS-005	CCM-28	480	650.00	0.159	8.00	1.00
	Pos Sequence Impedance (100 MVA Base)			3.06 + j	24.46 PU	



## CORRIDAS DE CORTO CIRCUITO

### T H R E E   P H A S E   F A U L T   R E P O R T

PRE FAULT VOLTAGE: 1.0000  
MODEL TRANSFORMER TAPS: NO

```

=====
BUS-001      FAULT:   55.882 KA AT  -85.14 DEG ( 402.65 MVA) X/R:   15.07
              VOLTAGE:  4160.  EQUIV. IMPEDANCE=  0.0036 + J  0.0428 OHMS
              C_52-F1A      BUS-002              0.519 KA      ANG:  -260.71

BUS-002      FAULT:   34.658 KA AT  -57.30 DEG ( 249.72 MVA) X/R:    1.63
              VOLTAGE:  4160.  EQUIV. IMPEDANCE=  0.0374 + J  0.0583 OHMS
              TR-04         BUS-003              0.521 KA      ANG:   98.90
              C_52-F1A      BUS-001              34.181 KA     ANG:  -56.94

BUS-003      FAULT:   22.225 KA AT  -79.58 DEG (  18.48 MVA) X/R:    5.53
              VOLTAGE:   480.  EQUIV. IMPEDANCE=  0.0023 + J  0.0123 OHMS
              LOW VOLTAGE POWER CIRCUIT BREAKER  22.225 KA
              MOLDED CASE CIRCUIT BREAKER > 20KA 22.808 KA
              C_CCM-28      BUS-005              4.810 KA      ANG:   98.27
              C_CCM-27      BUS-004              1.351 KA      ANG:   99.41
              TR-04         BUS-002              16.069 KA     ANG: -258.85

BUS-004      FAULT:   21.514 KA AT  -78.48 DEG (  17.89 MVA) X/R:    4.99
              VOLTAGE:   480.  EQUIV. IMPEDANCE=  0.0026 + J  0.0126 OHMS
              LOW VOLTAGE POWER CIRCUIT BREAKER  21.514 KA
              MOLDED CASE CIRCUIT BREAKER > 20KA 21.603 KA
              CONTRIBUTIONS: CCM-27              1.354 KA      ANG:  -80.68
              C_CCM-27      BUS-003              20.161 KA     ANG:  -78.34

BUS-005      FAULT:   21.317 KA AT  -76.98 DEG (  17.72 MVA) X/R:    4.75
              VOLTAGE:   480.  EQUIV. IMPEDANCE=  0.0029 + J  0.0127 OHMS
              LOW VOLTAGE POWER CIRCUIT BREAKER  21.317 KA
              MOLDED CASE CIRCUIT BREAKER > 20KA 21.317 KA
              CONTRIBUTIONS: CCM-28              4.879 KA      ANG:  -82.87
              C_CCM-28      BUS-003              16.472 KA     ANG:  -75.24

BUS-006      FAULT:   13.995 KA AT  -50.21 DEG (  11.64 MVA) X/R:    1.20
              VOLTAGE:   480.  EQUIV. IMPEDANCE=  0.0127 + J  0.0152 OHMS
              LOW VOLTAGE POWER CIRCUIT BREAKER  13.995 KA
              MOLDED CASE CIRCUIT BREAKER < 20KA 13.995 KA
              MOLDED CASE CIRCUIT BREAKER > 20KA 13.995 KA
              C_T MEC        BUS-003              13.995 KA     ANG:  -50.21
    
```

**U N B A L A N C E D   F A U L T   R E P O R T**

PRE FAULT VOLTAGE: 1.0000  
MODEL TRANSFORMER TAPS: NO

LOCATION VOLTAGE	FAULT DUTIES	KA (RMS)	X/R	EQUIVALENT (PU) FAULT IMPEDANCE	ASYM. KA AT * MAX. RMS	0.5 CYCLES AVG. RMS *
BUS-001	3 PHASE:	55.882	15.	Z1= 0.2484	85.082	71.317
	SLG DUTY:	0.814	0.	Z2= 0.2484	*****	
4160. VOLTS	LN/LN	48.395		Z0= 51.1202		
	LN/LN/GND	48.598	(	0.407 GND RETURN KA)		
BUS-002	3 PHASE:	34.658	2.	Z1= 0.4004	35.382	35.021
	SLG DUTY:	0.802	0.	Z2= 0.4004	*****	
4160. VOLTS	LN/LN	30.014		Z0= 51.4420		
	LN/LN/GND	30.182	(	0.404 GND RETURN KA)		
BUS-003	3 PHASE:	22.225	6.	Z1= 5.4119	28.481	25.456
	SLG DUTY:	20.121	6.	Z2= 5.4119	25.857	
480. VOLTS	LN/LN	19.248		Z0= 7.1100		
	LN/LN/GND	21.278	(	18.381 GND RETURN KA)		
BUS-004	3 PHASE:	21.514	5.	Z1= 5.5910	26.940	24.307
	SLG DUTY:	19.190	5.	Z2= 5.5910	24.063	
480. VOLTS	LN/LN	18.631		Z0= 7.6222		
	LN/LN/GND	20.510	(	17.319 GND RETURN KA)		
BUS-005	3 PHASE:	21.317	5.	Z1= 5.6424	26.389	23.924
	SLG DUTY:	18.713	4.	Z2= 5.6424	22.583	
480. VOLTS	LN/LN	18.461		Z0= 8.0012		
	LN/LN/GND	20.461	(	16.673 GND RETURN KA)		
BUS-006	3 PHASE:	13.995	1.	Z1= 8.5946	14.071	14.033
	SLG DUTY:	11.846	1.	Z2= 8.5946	11.912	
480. VOLTS	LN/LN	12.120		Z0= 13.2721		
	LN/LN/GND	13.135	(	10.269 GND RETURN KA)		

**F A U L T   S T U D Y   S U M M A R Y**

PRE FAULT VOLTAGE: 1.0000

MODEL TRANSFORMER TAPS: NO

BUS RECORD NO NAME	VOLTAGE	A V A I L A B L E		F A U L T	D U T I E S	(KA)
	L-L	3 PHASE	X/R	LINE/GRND	X/R	
BUS-001	4160.	55.882	15.07	0.814	0.00	
BUS-002	4160.	34.658	1.63	0.802	0.00	
BUS-003	480.	22.225	5.53	20.121	5.60	
BUS-004	480.	21.514	4.99	19.190	5.02	
BUS-005	480.	21.317	4.75	18.713	4.25	
BUS-006	480.	13.995	1.20	11.846	1.21	

## TABLAS DE AJUSTES DE PROTECCIONES

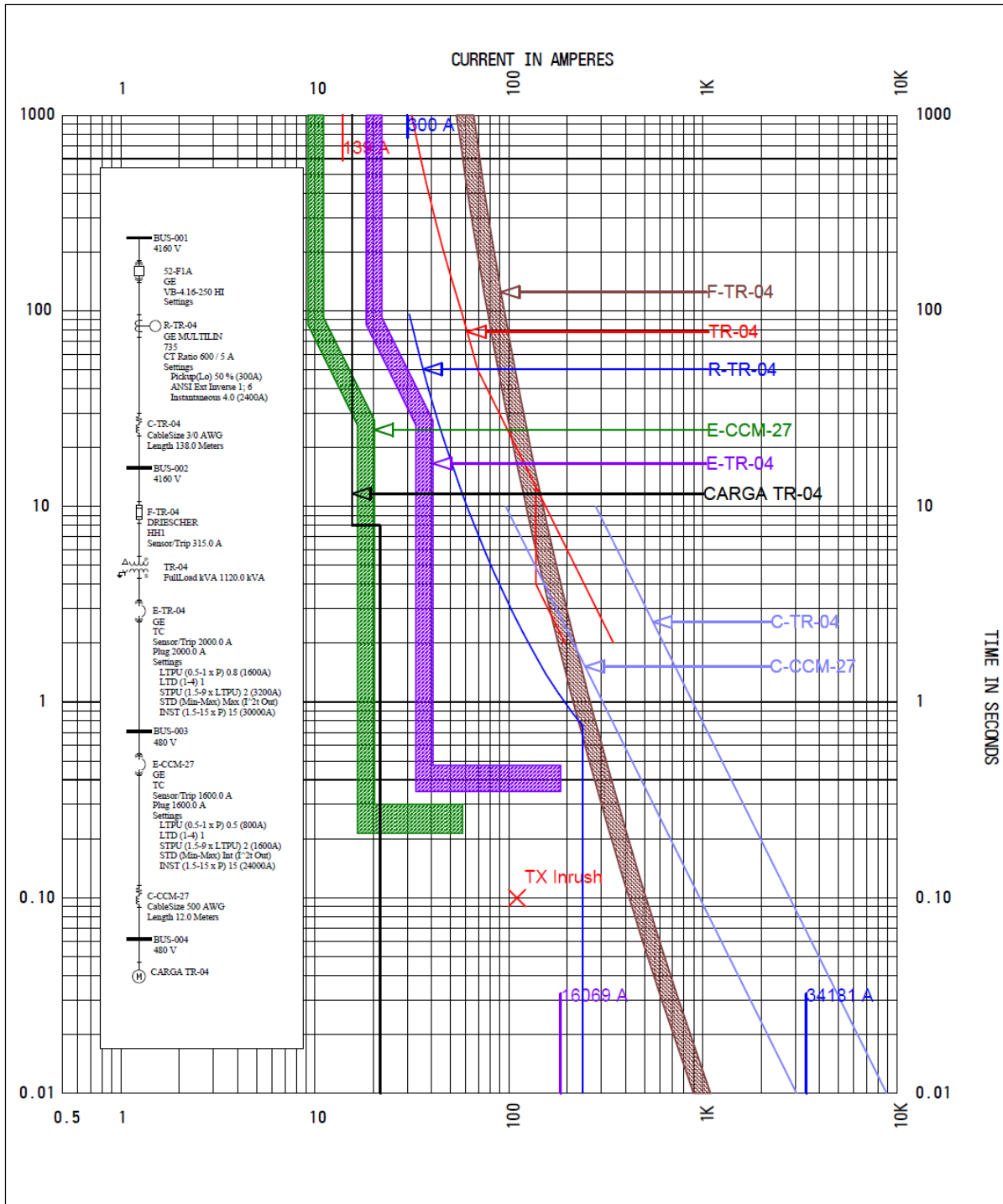
### AJUSTE DE INTERRUPTORES ELECTROMAGNETICOS EN TABLEROS DE DISTRIBUCIÓN A 480 V.

LOCALIZACION	DATOS DE PLACA	AJUSTES RECOMENDADOS
Interruptor Principal Secundario TR-04.	Marca: General Electric. Tipo: Power Break. Marco: 2000 AMP. Rango: 2000 AMP. U. de Disparo: Microversatrip Plus. Característica: LSIG.	Long Time Settings: $0.80 \times I_n$ (1600 A) Delay: 1 (2.4 seg) Short Time Settings: $2.0 \times L.T.$ (3200 A) Delay: 3 (0.35 seg) $I^2t$ out Instantaneous: $15 \times I_n$ (30000 A) Ground Fault: $0.6 \times C.T.$ (960 A) Delay: 3 (0.35 seg) $I^2t$ in
Interruptor Derivado CCM-27	Marca: General Electric. Tipo: Power Break. Marco: 1600 AMP. Rango: 1600 AMP. U. de Disparo: Microversatrip Plus. Característica: LSIG.	Long Time Settings: $0.50 \times I_n$ (800 A) Delay: 1 (2.4 seg) Short Time Settings: $2.0 \times L.T.$ (1600 A) Delay: 2 (0.21 seg) $I^2t$ out Instantaneous: $15 \times I_n$ (24000 A) Ground Fault: $0.35 \times C.T.$ (560 A) Delay: 2 (0.21 seg) $I^2t$ in
Interruptor Derivado CCM-28	Marca: General Electric. Tipo: Power Break. Marco: 1600 AMP. Rango: 1600 AMP. U. de Disparo: Microversatrip Plus. Característica: LSIG.	Long Time Settings: $0.50 \times I_n$ (800 A) Delay: 1 (2.4 seg) Short Time Settings: $2.0 \times L.T.$ (1600 A) Delay: 2 (0.21 seg) $I^2t$ out Instantaneous: $15 \times I_n$ (24000 A) Ground Fault: $0.35 \times C.T.$ (560 A) Delay: 2 (0.21 seg) $I^2t$ in

**AJUSTES DEL RELEVADOR DE PROTECCIÓN A 4160 V.  
TABLERO DE DISTRIBUCIÓN**

<b>TABLERO</b>	<b>MARCA RELEVADOR</b>	<b>ANSI</b>	<b>AJUSTES RECOMENDADOS</b>	<b>NOTAS</b>
<p align="center">Tablero de Distribución Alimentador a TR-04</p>	<p align="center">G.E. MULTILIN SR 735</p>	<p align="center">50/51 50N/51N</p>	<p>ANSI 50/51 Pick Up = 50% TC T = 6 Time Curve: EI (LO) I = 4 x TC</p> <p>ANSI 50N/51N Pick Up = 15% TC T = 0.4 seg Curve = DT Inst. = OFF</p>	<p align="center">T.C.'s = 600/5 AMP</p> <p align="center">TC's = 50/5 AMP</p>

# GRAFICA DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR AL TR-04.



ANÁLISIS DE RIESGOS POR ARCO ELÉCTRICO EN UNA PLANTA INDUSTRIAL

GRAFICA DE COORDINACIÓN.  
TR-04

Tensión de Referencia: 4160

Escala de Corriente: x 10

## RESULTADOS DEL ANALISIS DEL ARCO ELECTRICO (ARC FLASH)

El análisis es realizado con el software Arc-flash de SKM que determina la energía incidente en cal/cm<sup>2</sup>, de acuerdo con IEEE Std. 1584-2002, basándose en los resultados de corto-circuito y de los ajustes de las protecciones derivados del estudio de coordinación de protecciones.

Según la magnitud de corto-circuito para fallas por arqueo (Arcing Fault) se determina el tiempo de operación de la protección asociada.

En la tabla se muestran los resultados del análisis, sólo se presentan los buses especificados en el alcance de este estudio, la información que se presenta en la tabla enunciada es la siguiente:

Definiciones del reporte de arco eléctrico.

Columna en la tabla	Descripción
Identificación de BUS	Identificación del bus (ver diagrama unifilar general).
Identificación Protección	Identificación de la protección asociada al bus.
kV BUS	Nivel de tensión en el bus.
Falla franca (kA) BUS	Falla franca en bus (con impedancia igual a cero)
Falla franca en protección (kA)	Falla franca en el punto donde se encuentra el dispositivo de protección.
Falla de arqueo (kA)	Falla de arqueo.
Disparo/Retardo (Seg.)	Tiempo de operación de la protección para la falla de arqueo (se puede estimar manualmente de la gráfica de coordinación correspondiente)
Tiempo de apertura (Seg.)	Tiempo de operación del interruptor
Sistema Aterrizado	Como referencia aparece si el circuito cuenta con tierra.
Tipo de equipo	Puede ser Tablero, Panel o al aire.
Distancia mínima entre conductores	Como referencia para visualizar el aislamiento mínimo para partes energizadas.
Límite de acercamiento por destello	Básicamente para prevenir la exposición del personal y evitar quemaduras durante un destello durante una falla de arqueo.
Distancia de trabajo	Está en función del nivel de tensión y como referencia para evitar un choque o electrocución.
Energía incidente	La energía que se libera en un destello por unidad de área.
Equipo de protección personal requerido	Clasificación del equipo de protección de acuerdo con el NFPA 70E e IEEE-1584.

La misma información en forma extractada se encuentra en las etiquetas de advertencia.

Para conocer el equipo de protección personal requerido, magnitudes de falla franca y de arqueo, energía incidente, etc. debe buscarse el interruptor y/o protección del circuito que se va a intervenir:

1. Del diagrama unifilar identificar el bus inmediato a la protección o circuito de interés primera columna en la tabla verificar el nivel de tensión tercera columna.

2. Una vez localizado el BUS buscar en la segunda columna empleando el identificador de la protección.

**Notas:**

Se empleó la siguiente nomenclatura, PD (protective device) y en seguida una breve identificación del nombre del alimentador o equipo que protege. (Ejemplo: PD\_CCM-27)

Por facilidad viene en orden ascendente por el número de BUS.

**Ejemplo:**

Buscar el EPP requerido para efectuar trabajos en vivo en el CCM-27, TR-04.

Se tiene que este CCM se localiza en el bus 004, en el plano Diagrama Unifilar Esquemático.

El bus inmediato es el 003 y se tiene una protección GE Power Break II, con unidad de disparo MicroVersatrip Plus (LSIG).

En la tabla se busca el bus 004.

Teniéndose los siguientes resultados:

Falla franca: 21.51 kA

Falla franca en protección: 20.16 kA

Falla de Arco o de impedancia en la protección: 11.82 kA

Disparo/Retardo de tiempo: 0.3 seg.

Distancia mínima entre conductores/barras: 25 mm

Límite de acercamiento (para estar expuestos al destello y sufrir quemaduras “curables”): 1704 mm.

Distancia de trabajo: 457 mm.

Energía incidente: 10.238 cal/cm<sup>2</sup> (multiplicar por 4.2 para obtener en J/cm<sup>2</sup>)

Equipo de Protección Personal (EPP) requerido: Clase 3 que consiste en Ropa interior de algodón más camisa y pantalón FR más overol FR., zapatos dieléctricos, guantes, protección auditiva y lentes de protección.



## RESULTADOS DEL ESTUDIO DE ARCO ELECTRICO

Identificación BUS	Identificación Protección	kV BUS	Falla Franca BUS (kA)	Falla Franca Protecc (kA)	Falla Arco Protecc (kA)	Disparo/ Retardo Tiempo (seg.)	Tiempo Apertura Interruptor (seg.)	Sistema Aterrizado	Tipo Equipo	Distancia mínima entre conductores (mm)	Limite Acercam. Destello (mm)	Distancia Trabajo (mm)	Energía Incidente (cal/cm2)	Equipo de Protección Personal requerido (Clase de ropa FR)
BUS-002	PD-735, 52-F1A	4.16	34.66	34.18	32.48	0.016	0.0083	Yes	SWG	104	4059	914	5.000	Clase 2
BUS-003	PD_PPAL TR-04	0.48	22.23	16.07	9.38	0.48	0.000	Yes	PNL	25	2256	457	16.429	Clase 3
BUS-004	PD_CCM-27	0.48	21.51	20.16	11.82	0.3	0.000	Yes	PNL	25	1704	457	10.238	Clase 3
BUS-005	PD_CCM-28	0.48	21.32	16.47	9.67	0.3	0.000	Yes	PNL	25	1686	457	10.238	Clase 3
BUS-006	PD_T MEC	0.48	13.99	13.99	8.74	0.025	0.000	Yes	PNL	25	335	457	0.714	Clase 0

Clase 0: Ropa 100% Algodón sin tratamiento

Clase 1: Camisa y pantalón RF (Retardante al fuego)

Clase 2: Ropa interior de algodón + Camisa y Pantalón RF

Clase 3: Ropa interior de algodón + Camisa y pantalón RF + Capa RF

Clase 4: Ropa interior de algodón + Camisa y pantalón RF + Chamarra RF

- Out of IEEE 1584 Range

- Arcing Current Low Tolerances Used

IEEE 1584-2002 Protective Device Load Side Report (include Ind. Motors all time), mis-coordination checked

## ETIQUETAS DE ARCO ELECTRICO

Alimentador a TR-04 a 4160 V.

	 <b>PELIGRO</b>	
	<b>Riesgo de Arco y Choque Eléctrico</b> <b>Se requiere equipo de protección</b>	
	<b>4160 V</b>	Riesgo de choque eléctrico sin tapa
	<b>5.000</b>	Cal/cm <sup>2</sup> Riesgo de choque a 91.4 cm
	<b>405.9 cm.</b>	<b>Límite de protección por arqueo</b>
	<b>152.4 cm</b>	<b>Límite Acercamiento</b>
	<b>66.0 cm</b>	<b>Acercamiento restringido</b>
<b>17.8 cm</b>	<b>Acercamiento prohibido</b>	
<b>Clase 2</b>	<b>Ropa interior de algodón + Camisa y pantalón FR</b>	
<b>1</b>	<b>Clase de guantes de protección</b>	
<b>Tablero 4160 V, Alimentador a TR-04</b>		

Interruptor Principal Secundario a 480 V.

	 <b>PELIGRO</b>	
	<b>Riesgo de Arco y Choque Eléctrico</b> <b>Se requiere equipo de protección</b>	
	<b>480 V</b>	Riesgo de choque eléctrico sin tapa
	<b>16.429</b>	Cal/cm <sup>2</sup> Riesgo de choque a 45.7 cm
	<b>225.6 cm</b>	<b>Límite de protección por arqueo</b>
	<b>106.7 cm</b>	<b>Límite Acercamiento</b>
	<b>30.5 cm</b>	<b>Acercamiento restringido</b>
<b>2.5 cm</b>	<b>Acercamiento prohibido</b>	
<b>Clase 3</b>	<b>Ropa interior de algodón + Camisa y pantalón FR + Capa FR</b>	
<b>00</b>	<b>Clase de guantes de protección</b>	
<b>Tablero 480 V, Principal TR-04</b>		

Alimentador a CCM-27 a 480 V.

		<b>PELIGRO</b>	
	<b>Riesgo de Arco y Choque Eléctrico Se requiere equipo de protección</b>		
	480 V	Riesgo de choque eléctrico sin tapa	
	10.238	Cal/cm <sup>2</sup> Riesgo de choque a 45.7 cm	
	170.4 cm.	Límite de protección por arqueo	
	106.7 cm	Límite Acercamiento	
	30.5 cm	Acercamiento restringido	
2.5 cm	Acercamiento prohibido		
Clase 3	Ropa interior de algodón + Camisa y pantalón FR + Capa FR		
00	Clase de guantes de protección		
<b>Tablero 480 V, Principal CCM-27</b>			

Alimentador a CCM-28 a 480 V.

		<b>PELIGRO</b>	
	<b>Riesgo de Arco y Choque Eléctrico Se requiere equipo de protección</b>		
	480 V	Riesgo de choque eléctrico sin tapa	
	10.238	Cal/cm <sup>2</sup> Riesgo de choque a 45.7 cm	
	168.6 cm.	Límite de protección por arqueo	
	106.7 cm	Límite Acercamiento	
	30.5 cm	Acercamiento restringido	
2.5 cm	Acercamiento prohibido		
Clase 3	Ropa interior de algodón + Camisa y pantalón FR + Capa FR		
00	Clase de guantes de protección		
<b>Tablero 480 V, Principal CCM-28</b>			

Alimentador a Taller Mecánico a 480 V.

		<b>PELIGRO</b>
	<b>Riesgo de Arco y Choque Eléctrico Se requiere equipo de protección</b>	
	<b>480 V</b>	Riesgo de choque eléctrico sin tapa
	<b>0.714</b>	Cal/cm <sup>2</sup> Riesgo de choque a 45.7 cm
	<b>33.5 cm.</b>	<b>Límite de protección por arco</b>
	<b>106.7 cm</b>	Límite Acercamiento
	<b>30.5 cm</b>	Acercamiento restringido
<b>2.5 cm</b>	Acercamiento prohibido	
<b>Clase 0</b>	Ropa 100% algodón sin tratamiento	
<b>00</b>	Clase de guantes de protección	
<b>Tablero 480 V, Taller Mecánico</b>		

## **RECOMENDACIONES GENERALES.**

Se deben etiquetar todos los interruptores de potencia en media y baja tensión colocando la etiqueta en la puerta del cubículo o celda correspondiente, en un lugar visible advirtiendo del riesgo e indicando el equipo requerido en caso de intervenir en el o en parte del circuito que protege.

El riesgo es latente aún cuando se realizan maniobras de apertura-cierre, por lo que deberán realizarse siempre con la puerta cerrada y, de ser posible, siempre operarlo eléctricamente teniendo mayor precaución cuando éste circuito ha sido intervenido o si presentó algún disparo por falla.

Del análisis de arco eléctrico se tiene que para los diferentes tableros se requiere de protección personal clases 0, 1, 2 y 4 según se muestra en la columna de la derecha de la tabla (Equipo de Protección Personal Requerido).

Se recomienda utilizar como equipo básico la protección personal clase 2 que consiste en:

Ropa interior de algodón.

Pantalón y camisa (de manga larga) especial retardante al fuego (FR) mínimo 8 cal/cm<sup>2</sup>.

Calzado dieléctrico.

Lentes de protección.

Guantes.

Protección auditiva (aún en sitios no ruidosos).

De acuerdo a la corrida de Arco Eléctrico, para maniobras en vivo en los diferentes tableros de distribución, debe utilizarse equipo de protección personal como lo indica la tabla.

Se deben pegar etiquetas de advertencia contra riesgo de arco eléctrico. Se entregará etiquetas típicas en archivo electrónico, que el cliente puede imprimir en plástico adherible.

Se recomienda anexar en sus permisos de trabajos los EPP requeridos para el área de trabajo, así como emplear equipos adecuados y en buenas condiciones como son multímetros, extensiones eléctricas con protección, herramienta aislada (no encintada).

Cabe recordar que la planta debe contar con un programa permanente de seguridad eléctrica, seguir procedimientos y recomendaciones de estándares industriales como NFPA 70E, OSHA e IEEE.

## VII. CONCLUSIONES

Es necesario implementar un Programa de Seguridad Eléctrica que establezcan los lineamientos necesarios, donde se propicie la participación de muchos puestos de la empresa y especialmente del personal de las áreas de mayor exposición a los accidentes eléctricos (supervisores, técnicos y operadores). Así mismo, este programa requiere de recursos financieros y técnicos para ser invertidos en este esfuerzo. Los frutos de este proyecto serán vistos en el mediano plazo, cuando se vea incrementada la seguridad y confiabilidad operativa del proceso.

En el mediano plazo, se reducirán las acciones peligrosas de los trabajadores y exposición a riesgos de la instalación y por tanto, se evitarán los accidentes con electricidad cuando se modifique la cultura de trabajo por la conciencia basada en el conocimiento de los riesgos, el uso de equipo de protección personal especial y una actitud de vigilancia colectiva de un riesgo común como son el choque y el arco eléctrico.

Gran parte de las empresas que adoptan estos programas de seguridad eléctrica, lo hacen primero adaptando sus procedimientos e inclusive comprando EPP bajo ningún soporte técnico, solo por la “buena intención” de las personas que los compran o a sugerencia de vendedores. Pues bien, esto no asegura que los EPP cumplan los objetivos para los cuales fueron comprados y por el contrario, se produce un sentimiento de “falsa seguridad” entre los trabajadores que los utilizan, sin contar con las pérdidas para la empresa por la mala elección.

Para los casos de arco eléctrico, solo un buen estudio de todas las instalaciones permitirá tomar las acciones en base a un instrumento confiable.

Finalmente, al implementar un programa de seguridad eléctrica, la empresa estará cumpliendo con el marco legal respecto a Prevención de Riesgos Laborales y Equipo de Protección Personal.

## BIBLIOGRAFIA

- NOM-029-STPS-2005. Mantenimiento de las instalaciones eléctricas en los centros de trabajo - Condiciones de seguridad. Secretaría del Trabajo y Previsión Social. 2005
- NOM-017-STPS-2001. Equipo de protección personal - selección, uso y manejo en los centros de trabajo. Secretaría del Trabajo y Previsión Social. 2001.
- NFPA 70E – 2004. Standard for electrical safety requirements for employee workplaces, National Fire Protection Association. 2004
- IEEE Std. 1584 – 2002. IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculation. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 2002.
- IEEE Std. 141 – 1993. IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 1993.
- Practical Solution Guide to Arc Flash Hazards. Chet Davis, Conrad St, Pierre, David Castor, Robert Luo, Satish Shrestha. ESA 2003.
- Safety basics. Handbook for electrical safety. Bussman. 2a edición.
- Tutorial of Coordination of Overcurrent Protective Devices. P.J. Savole. General Electric.
- Arcos Eléctricos y la Historia del EPP. NFPA Journal Latinoamericano-Nota Especializada. Alejandro M. Llana.
- Seguridad Eléctrica. Purdue University North Central. Center for Occupational Safety & Health.