

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE POSGRADO

DIPLOMADO EN GEOTERMIA PARA AMÉRICA LATINA
EDICIÓN 2018



TEMA: Trabajos eléctricamente seguros en plantas geotérmicas para tensiones de 480, 4,160 y 13,800 V considerando todo el personal expuesto.

PRESENTAN:

Castillo Hernández Elmer Ernesto.

Rivas Cruz Elmer Enrique.

ASESOR: Claudia Patricia Polanco Peña

CIUDAD UNIVERSITARIA, 03 de diciembre de 2018.

Resumen.

Objetivos: Analizar y evaluar los riesgos eléctricos derivados de la actividad laboral en las centrales geotérmicas, además de clasificar el nivel de riesgo a partir de las consecuencias y los controles necesarios para su eliminación o reducción.

Metodología: Estudio de norma nacionales, internacionales, análisis de descriptores de puestos de trabajo expuestos a riesgos eléctricos de los cuales se extrajeron actividades cotidianas y rutinarias.

Se estudió el método propuesto de William Fine y el propuesto por la NFPA-70E 2015 (Español).

Se efectuaron visitas de campo con el propósito de entrevistar al personal expuesto a riesgo eléctrico para contrastar las actividades descritas en los descriptores de puesto y comparar si estas corresponden con las actividades realizadas en la planta, de esta entrevista se extrajeron las actividades relacionadas a los riesgos eléctricos.

Las visitas a las plantas también brindaron información de herramientas, equipos de medición, EEP personal que se utiliza en la central.

La información recopilada sirvió de insumo para llevar a cabo la evaluación de riesgos y posteriormente establecer controles administrativos, como el equipo de protección personal y herramientas adecuadas a las actividades desarrolladas.

Principales resultados de la investigación.

Se proponen controles administrativos como:

- Procedimiento de bloqueo y etiquetado.
- Permiso de trabajo energizado.
- Se establece una lista de chequeo como insumo para realizar una buena planificación de las tareas.
- Se establecen límites de aproximación.
- Se sugiere equipo de medición adecuado para la comprobación de tensión.

Bibliografía:

- Ley general de prevención de riesgos laborales en lugares de trabajo.
- Reglamento general de prevención de riesgos en los lugares de trabajo.
- Seguridad eléctrica en los lugares de trabajo NFPA-70E 2015.
- IEC60749 Efectos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano.

Contenido	
Introducción.....	4
Planteamiento del problema.....	5
Justificación del estudio.....	6
Objetivos.....	7
Marco teórico.....	8
1.1 Normativa nacional.....	8
1.2 Efectos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano.....	9
1.3 Riesgos eléctricos.....	13
1.4 Procedimiento de evaluación de riesgos.....	15
1.5 Límites de aproximación.....	16
1.6 Clasificación de personal.....	19
1.7 Herramientas y equipo de protección personal.....	21
1.8 Procedimientos de trabajo eléctricamente seguros.....	25
1.9 Permiso para trabajo eléctrico energizado.....	27
Metodología.....	29
2.1 Metodología de investigación.....	29
2.2 Metodología de análisis de frontera de arco.....	29
2.3 Metodología de análisis de riesgo eléctrico norma NFPA.....	29
Análisis de datos.....	33
3.1 Calculo de fronteras de arco para 480, 4160 y 13800V.....	33
3.2 Presentación de resultados del análisis de riesgo.....	34
3.3 Análisis comparativo de permisos de trabajo.....	36
3.4 Análisis de procedimientos de bloqueo y etiquetado.....	38
Presentación de resultados.....	41
4.1 Permiso para trabajo eléctrico energizado.....	41
4.2 Procedimiento de bloqueo y etiqueta.....	42
4.3 Verificación para la planificación.....	45
4.4 Equipo de protección personal para trabajos eléctricos.....	46
4.5 Herramientas probadoras de tensión apropiadas.....	47
Conclusiones y recomendaciones.....	49
Agradecimientos.....	50
Referencias bibliográficas.....	51
Anexos.....	52

Introducción.

El trabajo de investigación que se presenta a continuación se desarrolla en dos centrales eléctricas con el propósito de evaluar, identificar y controlar los riesgos eléctricos potenciales a los que el personal está expuesto en sus lugares de trabajo, las normas utilizadas para respaldar el trabajo utilizadas son la ley general de prevención de riesgos laborales en los lugares de trabajo, el reglamento general de prevención de riesgos en los lugares de trabajo y la NFPA 70-E (2015) y otras normas internacionales necesarias para cumplir los requerimientos establecidos en la normativa nacional.

Los primeros capítulos presentan una base teórica con el propósito que el lector comprenda los efectos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano, posteriormente se presentan los peligros eléctricos, choque eléctrico y arco eléctrico, ráfaga de arco, el conocimiento de los peligros es de suma importancia ya que posteriormente se desarrolla el procedimiento de evaluación de riesgos,

Del análisis de riesgo se establecen zonas o límites de aproximación limitada, restringida y de arco además se establecen límites de ingreso según las competencias personales de cada empleado, lo que lleva a la siguiente sección en el que se define el requerimiento para establecer el personal calificado.

finalizada la base teórica se comparan procedimientos actuales en la empresa con procedimientos establecidos por la norma NFPA 70-E, de este análisis y el análisis de evaluación de riesgo se proponen controles para reducir el riesgo eléctricos y se sugieren algunas herramientas y equipo de protección personal adecuado para las tareas a desarrollar.

Planteamiento del problema.

La electricidad es el motor de la vida moderna y es uno de los principales indicadores de desarrollo, con la electricidad se mueve las industrias y por lo tanto la economía del país con ella se generan bienes y servicios de suma importancia el desarrollo territorial; la electricidad también puede ser una fuente de destrucción, ya que en diversas ocasiones ha sido causante de muertes y daños a la infraestructura de ciertos lugares, ejemplo de esto es lo sucedido el 6 de julio del 2017 en el mercado La Tiendona donde la explosión de un transformador genero un incendio en el cual no se reportaron lesionados pero si se reportaron pérdidas materiales y económicas, así mismo en el hospital rosales el 13 de septiembre del 2012 donde explotaron 3 transformadores que provocaron un pequeño incendio, donde no se reportaron víctimas; la electricidad también puede cobrar vidas como fue el caso del joven Brayan Lopez, el cual instalaba fibra óptica en uno de los edificios de la colonia la mascota, este hecho ocurrió el 22 de febrero de 2017, por último se tiene registro del accidente eléctrico producido por un cortocircuito en el centro comercial las cascadas en la ciudad de Merliot Antiguo Cuscatlán, La Libertad ocurrido el 3 de enero del 2015 donde se perdieron miles de dólares en bienes.

Los riesgos eléctricos están presentes en todos los ámbitos de la vida, trabajos, casas, en las calles, etc. en las empresas generadoras de electricidad los riesgos eléctricos están presentes de manera más palpable, ya que se manipulan distintos valores de tensión desde 120, hasta 115000V y muchas veces debido al grado de exposición se puede desarrollar extra confianza en los trabajadores, debido a esto es importante que todo el personal conozca los peligros a los que están expuestos y estén capacitados para reducir las daños ocasionados por estos.

Justificación del estudio.

La prevención de riesgos laborales en la planta es uno de los pilares fundamentales para garantizar la operación continua de las unidades generadoras, las cuales aportan el 25% de la energía de El Salvador contribuyendo al desarrollo económico del país a través de energía limpia y renovable. Mantener altos estándares y procedimientos de seguridad garantiza la reducción de accidentes debido a que el personal conoce los equipos su operación, su mantenimiento, saben identificar y evaluar los riesgos de las actividades a desarrollar inherentes al equipo a intervenir.

Desde el punto vista económico un accidente eléctrico en el sistema de potencia podría ocasionar pérdidas millonarias, daños a equipos principales ocasionando indisponibilidad de las unidades generadoras por meses en caso de dañarse un sistema crítico como transformadores de potencia, generadores o por consecuencia de incendios causados por la corriente eléctrica fuera de control.

Un accidente eléctrico es capaz de provocar desde un leve cosquilleo hasta la muerte, pasando por contracciones musculares, dificultades o paro respiratorio, caídas, quemaduras, fibrilación ventricular, pérdidas de la vista, pérdidas de miembros corporales y paro cardíaco entre otros.

El rubro laboral al pertenece la empresa es la producción de energía eléctrica, por lo cual existen muchas personas expuestas de manera directa o indirecta al riesgo eléctrico, tanto personal de mantenimiento como personal operativo y administrativo, por lo que es necesario implementar contrólales para minimizar o eliminar los riesgos eléctricos presentes en la planta.

Objetivos

Objetivo general

Analizar y evaluar los riesgos eléctricos derivados de la actividad laboral en las centrales geotérmicas, además de clasificar el nivel de riesgo a partir de las consecuencias y proponer controles necesarios para su eliminación o reducción.

Objetivos específicos

- Comprender los efectos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano.
- Identificar y evaluar los riesgos eléctricos en centrales eléctricas.
- Establecer límites de aproximación; fronteras de arco eléctrico, Fronteras limitadas y fronteras restringidas.
- Elaborar permisos de trabajo energizado cuando las actividades a realizar lo requieran.
- Elaborar procedimientos de trabajos eléctricamente seguros.
- Presentar EPP para los riesgos eléctricos identificados.

Marco teórico.

1.1 Normativa nacional.

Es importante definir algunos conceptos establecidos por las normas nacionales, así como comprender las exigencias definidas para los empleados y los empleadores; en este apartado se resumen las de mayor importancia referente a la temática específica del presente trabajo tomando como base los artículos presentados en la ley general de prevención de riesgos laborales, el código de trabajo y el decreto 89 “reglamento general de prevención de riesgos en los lugares de trabajo”.

Un accidente de trabajo según el código de trabajo art. 317 está definido como: *“Toda lesión orgánica, perturbación funcional o muerte, que el trabajador sufra a causa, con ocasión, o por motivo del trabajo. Dicha lesión, perturbación o muerte ha de ser producida por la acción repentina y violenta de una causa exterior o del esfuerzo realizado”*

Para reducir los accidentes de trabajo las leyes nacionales exigen tanto al empleador como al empleado obligaciones de cumplimiento entre las cuales podemos destacar:

Obligaciones del empleador:

Entrenamiento de manera teórica y práctica, en forma inductora y permanente a los trabajadores y trabajadoras sobre sus competencias, técnicas y riesgos específicos de su puesto de trabajo, así como sobre los riesgos ocupacionales generales de la empresa, que le puedan afectar. (Decreto 254-Art. 8-5)

Establecimiento del programa de exámenes médicos y atención de primeros auxilios en el lugar de trabajo. (Decreto 254-Art. 8-6)

Es obligación del empleador proveer a cada trabajador su equipo de protección personal, ropa de trabajo, herramientas especiales y medios técnicos de protección colectiva necesarios conforme a la labor que realice y a las condiciones físicas y fisiológicas de quien las utilice, así como, velar por el buen uso y mantenimiento de éste; el cumplimiento de esta disposición en ningún caso implicará carga financiera al trabajador o trabajadora. (Decreto 254, Art. 38)

Cuando se utilice maquinaria o equipo de trabajo que implique un riesgo para sus operarios, deberá capacitarse previamente al trabajador o trabajadora. Además, será obligación del empleador proveer el equipo de protección personal adecuado para la maquinaria o equipo de que se trate y deberán crearse procedimientos de trabajo que ayuden a prevenir riesgos. (Decreto 254, Art 39)

Para cumplir los aspectos relacionados con el equipo de protección personal, el empleador estará obligado a lo siguiente (Decreto 89, Art. 90.)

1. Analizar y evaluar los riesgos existentes que no puedan evitarse o limitarse suficientemente por otros medios.
2. Determinar los puestos de trabajo en los que deba recurrirse a la protección personal, de acuerdo al análisis de riesgos para cada uno de estos puestos, el riesgo o riesgos frente a los que debe ofrecerse protección, las partes del cuerpo a proteger y el tipo de equipo o equipos de protección individual que deberán utilizarse.
3. Proporcionar gratuitamente a los trabajadores los equipos de protección personal que deban utilizar, reponiéndolos cuando resulte necesario.

Obligaciones del empleado:

Todo trabajador y trabajadora estará obligado a cumplir con los reglamentos, normas y recomendaciones técnicas dictadas, así como con las instrucciones del empleador adoptadas en el marco de la normativa aplicable, en lo que se refiere al uso y conservación del equipo de protección personal que le sea suministrado, a las operaciones y procesos de trabajo y al uso y mantenimiento de maquinaria. (Decreto 254, Art 38)

1. Velar por su propia seguridad cumpliendo las normas de prevención adoptadas por la empresa.
2. Utilizar la maquinaria y equipo de acuerdo a las instrucciones proporcionadas por el empleador.
3. Portar siempre el equipo de protección personal que le ha sido proporcionado, mantenerlo en buenas condiciones y utilizarlo de acuerdo a las instrucciones.
4. Informar de inmediato a su superior jerárquico o a las personas designadas para tal efecto, de cualquier riesgo potencial para su seguridad y la de sus compañeros de trabajo.
5. Se prohibirá el uso de elementos que puedan originar un riesgo adicional de accidente en las zonas de producción como: Corbatas, bufandas, tirantes, pulseras, cadenas, collares, anillos y otros objetos que originen riesgo alguno. (Decreto 89, Art.96-5)

De la sección se puede concluir que la normativa nacional considera el riesgo eléctrico de manera general, no proporciona los equipos de protección personal adecuados ni proporciona procedimientos de evaluación de riesgos, por lo cual se reforzara utilizando la norma NFPA 70E con el objetivo de abordar la problemática de una forma más específica.

1.2 Efectos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano.

Dado que se requiere hacer un análisis de riesgos eléctricos en las plantas, es importante comenzar por explicar cuáles son los efectos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano y que factores están involucrados en el posible daño ocasionado; se tomara como referencia la norma IEC 60479 Effects of Current Passing Through the Body. (Efectos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano).

Conceptos básicos sobre electricidad:

Resistencia: Es la medida del grado de dificultad que ofrece un cuerpo para que la corriente eléctrica circule por él, unidad de medida es ohm (Ω).

Tensión: También llamada diferencia de potencial o voltaje, está relacionada con la capacidad de trabajo que puede realizar una carga eléctrica, unidad de medida Voltio (V).

Corriente: Es el flujo de electrones que recorre el cuerpo humano o un conductor, se debe al movimiento de las cargas en el interior del mismo, unidad de medida amperio (A).

Choque eléctrico: Efecto fisiológico resultante de la circulación de la corriente eléctrica a través del cuerpo humano. Si se produce la muerte del accidentado se habla de electrocución. El choque eléctrico se manifiesta cuando el cuerpo humano toca parte de circuitos eléctricos energizados y se puede dar de manera directa o indirectamente.

La cantidad de corriente eléctrica que circula por el cuerpo humano está dada por la ley de ohm descrita por $I = \frac{V}{R}$ donde V representa el valor de la tensión al que se está expuesto, R representa el valor de la resistencia del cuerpo e I representa el valor de la corriente que lo atraviesa, como regla general a mayor corriente circulante por el cuerpo humano existe mayor riesgo de daño.

Factores que influyen en la resistencia del cuerpo humano.

Por lo expuesto anteriormente se puede establecer que a menor resistencia del cuerpo humano mayor es el riesgo a sufrir daño grave por una descarga eléctrica, por lo cual es importante definir los factores que influyen en la resistencia del cuerpo, entre los más importantes podemos destacar el recorrido de la corriente a través del cuerpo, la tensión de contacto, la presión de contacto ejercida, la temperatura, características fisiológicas del individuo, humedad en las partes de contacto, etc.

La *tabla 1* presenta valores típicos de resistencia del cuerpo humano para una trayectoria mano-mano en piel seca en una superficie de contacto de 50-100 cm^2 para diferentes valores de voltaje de contacto, ya que el valor de la resistencia no es constante en una población afectada se realiza un análisis para 3 categorías, el primer valor de resistencia es el límite de resistencia que no es superado por el 5% de la población, el cual tiende a ser un valor bajo en comparación a los otros valores, por lo tanto representa mayor circulación de corriente por el cuerpo; el segundo valor es el límite no superado por el 50% de la población y el tercer valor es el límite no superado por el 95% de la población, este análisis indica que altos valores de corriente tienen mayor probabilidad de circulación si se escogiera un individuo al azar en cierta población definida.

Tabla 1 Valores de resistencia del cuerpo humano en función de la tensión de contacto IEC 60479 (año 1984).

Resistencia del cuerpo humano en función de la tensión de contacto			
Corriente alterna 50 - 60 Hz	Trayectoria mano - mano, piel seca , superficie de contacto 50 - 100cm ²		
	Impedancia total del cuerpo humano (Ω) que no es superada por el:		
Tensión de contacto (V)	5% de las personas	50% de las personas	95% de las personas
25	1750	3250	6100
50	1450	2625	4375
75	1250	2200	3500
100	1200	1875	3200
127	1125	1625	2875
230	1000	1350	2125
700	750	1100	1550
1000	700	1050	1500
> 1000	600	750	850

Efectos de la corriente eléctrica.

A partir del valor de corriente eléctrica circulando en diferentes partes del cuerpo este podría sufrir los siguientes efectos adversos:

1. **Tetanización o contracción muscular.** Consiste en la anulación de la capacidad de reacción muscular que impide la separación voluntaria del punto de contacto (los músculos de las manos y los brazos se contraen sin poder relajarse). Normalmente este efecto se produce cuando se superan los 10mA.
2. **Asfixia:** Se produce cuando la corriente eléctrica atraviesa el tórax, el choque eléctrico tetaniza el diafragma torácico y como consecuencia de ello los pulmones no tienen capacidad para aceptar aire ni para expulsarlo. Este efecto se produce a partir de 25-30 mA.
3. **Quemaduras:** Internas o externas por el paso de la intensidad de corriente a través del cuerpo por efecto joule o por la proximidad al arco eléctrico. Se producen zonas de necrosis (tejidos muertos), y las quemaduras pueden llegar a alcanzar órganos vecinos profundos, músculos, nervios e incluso a los huesos. La considerable energía disipada por efecto Joule, puede provocar la coagulación irreversible de las células de los músculos estriados e incluso la carbonización de las mismas.

4. **Fibrilación ventricular:** Se produce cuando la corriente pasa por el corazón y su efecto en el organismo se traduce en un paro circulatorio por rotura del ritmo cardíaco. El corazón, al funcionar incoordinadamente, no puede bombear sangre a los diferentes tejidos del cuerpo humano. Ello es particularmente grave en los tejidos del cerebro donde es imprescindible una oxigenación continua de los mismos por la sangre. Se presenta con intensidades del orden de 100 mA y es reversible si el tiempo de contacto es inferior a 0.1 segundo. La fibrilación se produce cuando el choque eléctrico tiene una duración superior a 0.15 segundos.
5. **Lesiones permanentes:** Producidas por destrucción de la parte afectada del sistema nervioso (parálisis, contracturas permanentes, etc.) o extremidades del cuerpo.

La *Figura 1* muestra un gráfico de corriente circulante por el cuerpo contra tiempo de duración de la circulación, para el estudio se consideró personas de 50 kg o más para una circulación de corriente por las extremidades (mano-mano o mano-pies), dicho grafico esta seccionado en diferentes zonas a partir de los efectos ocasionados por la corriente para ciertos niveles de exposición, las zonas consideradas en el grafico son las siguientes:

Zona 1: Habitualmente ninguna reacción.

Zona 2: Habitualmente ningún efecto fisiológico peligroso.

Zona 3: Habitualmente ningún daño orgánico. Probabilidad de contracciones musculares y de dificultades de respiración. Probabilidad de perturbaciones reversibles en la formación y propagación de impulsos en el corazón, incluyendo paradas cardíacas transitorias sin fibrilación ventricular, todo ello aumentando con el valor de la corriente y el tiempo.

Zona 4: Además de los efectos de la zona 3, existe probabilidad de fibrilación ventricular por encima de la curva c1, esta probabilidad puede aumentar hasta alrededor de un 5% entre las curvas c1 y c2, hasta alrededor de un 50% entre las curvas c2 y c3 y por encima del 50% más allá de la curva c3. También pueden ocurrir efectos fisiopatológicos (aumentando con la corriente y con el tiempo) tales como parada cardíaca, parada respiratoria y quemaduras graves.

Umbral de percepción: a partir de 0.5 mA la corriente circulante puede ser percibida por el individuo expuesto.

Umbral de no soltar: Esta curva indica el límite donde existe cierta probabilidad de contracciones musculares involuntarias que dificulten la liberación de la persona que sufre la descarga, esto puede ocasionar aumentos en la exposición provocando un mayor daño resultante.

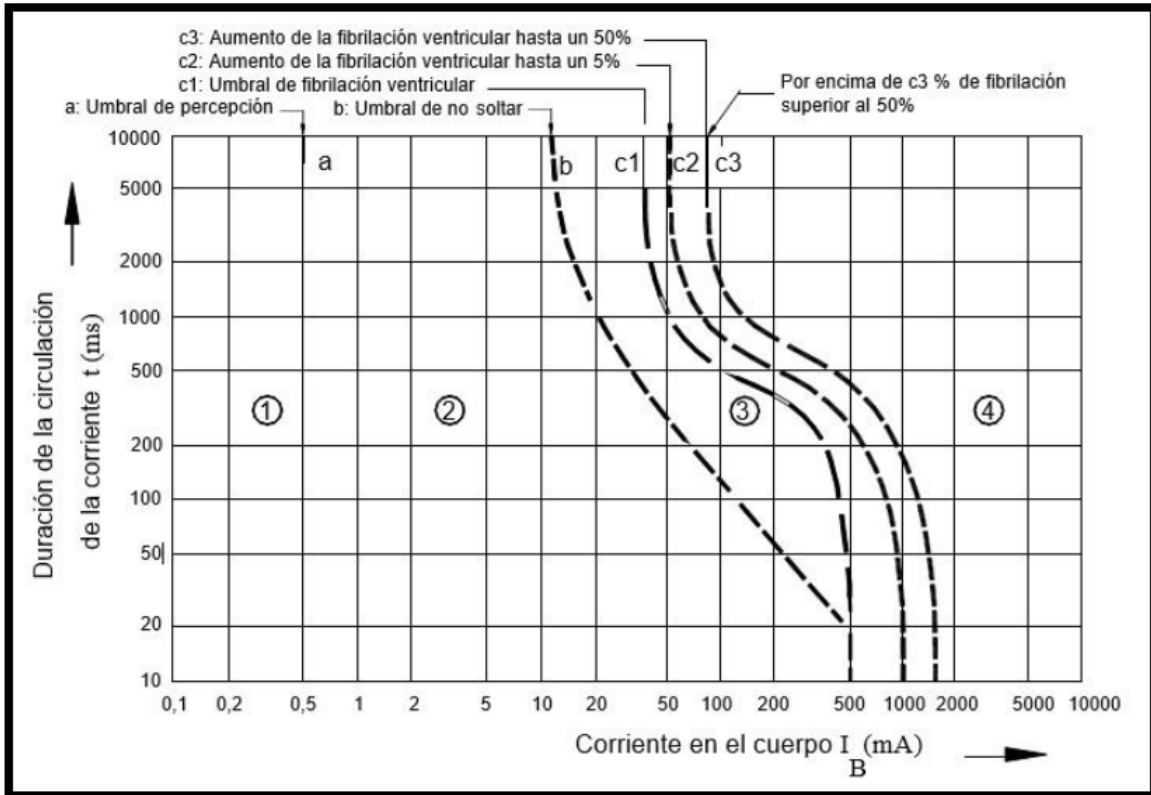


Figura 1 Efectos de la corriente alterna CA con 50/60 Hz en personas adultas (Tabla II de IEC 479-1 de 1984).

Conclusiones de la sección.

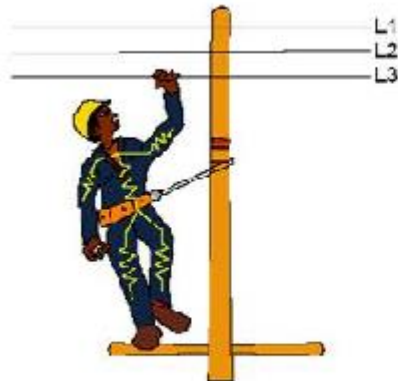
- No se requieren grandes cantidades de corriente para provocar daños graves en el cuerpo humano.
- Cada persona presenta diferentes valores de resistencia al paso de corriente por su cuerpo (debido a características fisiológicas del individuo) por lo cual el mismo valor de tensión puede provocar diferentes efectos fisiológicos a diferentes personas ya que la corriente es inversamente proporcional a la resistencia.
- Debido a las condiciones expuestas y con el fin de proteger a la mayor cantidad de personas del riesgo eléctrico la normativa NFPA 70E art. 130.2 establece que el nivel de tensión seguro debe ser inferior a 50V para trabajos en equipos energizados expuestos.

1.3 Riesgos eléctricos.

La ley general de prevención de riesgos en los lugares de trabajo exige Identificar, controlar y dar seguimiento permanente a los riesgos ocupacionales presentes que puedan ocasionar daños a la salud de los trabajadores. Los peligros asociados a la actividad eléctrica se pueden dividir en tres grupos según normativa NFPA 70E edición 2015 español.

1. Choque eléctrico.
2. Relámpago de arco.
3. Ráfaga de arco.

Peligro de choque eléctrico: Condición asociada con la posible circulación de electricidad por el cuerpo humano causada por el contacto o aproximación a conductores o partes del circuito eléctrico energizado. El choque eléctrico se presenta de manera directa o indirecta, se presenta de manera directa cuando se toca cables conductores de electricidad y de manera indirecta cuando la carcasa de los equipos está energizada debido a pérdidas en el aislamiento de conductores internos, en la *Figura 2* se muestra un ejemplo de las condiciones anteriormente expuestas.



Choque eléctrico directo.



Choque eléctrico indirecto.

Figura 2 esquema de choque eléctrico directo y choque eléctrico indirecto.

Las consecuencias del choque eléctrico varían dependiendo del voltaje de contacto, las condiciones físicas de la persona, entre otros factores, en la sección 1.2 se hace una descripción detallada de efectos de choque eléctrico.

Peligro de relámpago de arco: Cuando la corriente eléctrica pasa a través de aire entre conductores no puestos a tierra y conductores puestos a tierra, la temperatura puede llegar a 35,000°F. estas altas temperaturas puede quemar la ropa y la piel de la persona.

Puede existir un riesgo de relámpago de arco cuando partes de circuitos o conductores eléctricos energizados están expuestos o cuando están en el interior de equipos en condición de resguardado o encerrados, siempre que una persona esté interactuando con el equipo de manera tal que podría provocar un arco eléctrico. Bajo condiciones operativas normales, no es probable que los equipos encerrados energizados, que hayan sido apropiadamente instalados y mantenidos, planteen un riesgo de relámpago de arco.

La severidad de las posibles heridas incluye ceguera temporal o permanente además de quemaduras de primero, segundo y tercer grado.

Peligro de Ráfaga de arco: Las elevadas temperaturas del arco causan la expansión explosiva tanto del aire circundante como del metal en la trayectoria del arco. Por ejemplo, el cobre se expande 67,000 veces cuando cambia de sólido a vapor. El peligro de esta expansión incluye:

Altas presiones, sonido y proyectiles. Las altas presiones pueden fácilmente exceder de cientos o aún miles de lb/pies² de presión, lanzando a los trabajadores de las escaleras, rompiendo tímpanos y destruyendo pulmones. Los sonidos asociados con esas presiones pueden exceder 160 dB. Finalmente, materiales y metal derretido son lanzados por el arco a velocidades que exceden de 1120 km/hr (700 mph), suficientemente veloz para que los proyectiles (esquirlas) penetren completamente el cuerpo humano.

Riesgo eléctrico: Asociado a la probabilidad de que un trabajador sufra daños frente a una situación peligrosa, la magnitud del riesgo se determina a partir de la evaluación de riesgo laboral.

1.4 Procedimiento de evaluación de riesgos.

El empleador deberá realizar una evaluación de los riesgos para proteger la seguridad y la salud de los trabajadores que estén o puedan estar expuestos a agentes físicos considerados como nocivos a fin de determinar las medidas que habrán de adoptarse. (Decreto 89, Art. 129)

La evaluación de riesgos es un proceso analítico que consta de una cantidad de pasos discretos, previstos para garantizar que los riesgos sean apropiadamente identificados y analizados con respecto a su severidad y a la posibilidad de que ocurran. (NFPA-70E)

La evaluación de riesgo incluye una revisión integral de los riesgos, las probables tareas asociadas y las medidas de protección que se requieren para mantener un nivel de riesgo tolerable, la metodología para la evaluación de riesgo consta de lo siguiente:

1. Identificación y análisis de los peligros eléctricos.
2. Identificación de las tareas que se van a llevar a cabo.
3. Documentación de los peligros asociados con cada una de las tareas (Planos, análisis previos, inspecciones, historial de mantenimiento)
4. Estimación del riesgo para cada par peligro/tarea.
5. Determinación de las medidas de protección apropiadas necesarias para reducir suficientemente el nivel de riesgo.

Para cumplimiento al artículo anterior, actualmente la empresa utiliza el método de William Fine para identificar y evaluar los riesgos, este método es adecuado para evaluar riesgos generales; en este trabajo la evaluación de riesgo se lleva a cabo mediante el procedimiento propuestos por la NFPA70-E ya que está diseñado específicamente para el análisis de riesgo eléctrico.

1.5 Límites de aproximación.

Se deberá mantener una distancia mínima de seguridad para evitar que ocurran daños personales y materiales por contacto de líneas eléctricas energizadas con personas, equipos, instalaciones o superficies, las cuales se presentan en la tabla 3 estas tablas son proporcionadas por el Decreto 89, Art. 58.

La normativa NFPA 70-E en art. 130.4 por su parte propone límites de protección para garantizar la seguridad del personal expuesto a riesgos eléctrico como se muestran en la figura 3:

- Frontera de relámpago de arco.
- Frontera de aproximación limitada
- Frontera de aproximación restringida.

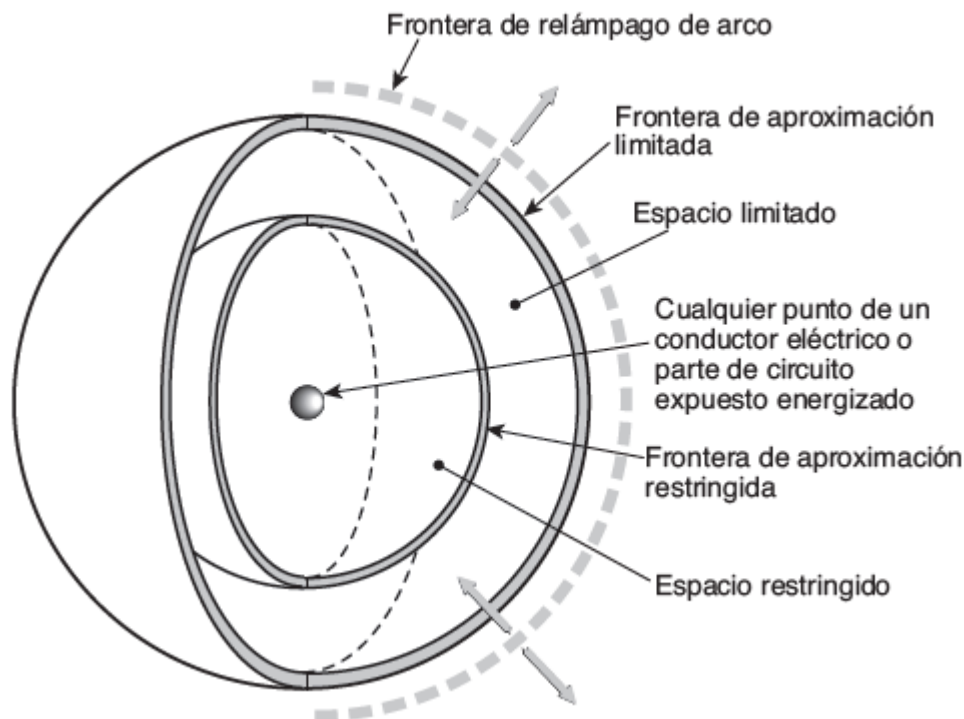


Figura 3 límites de aproximación.

Frontera de relámpago de arco (Boundary, Arc Flash): Cuando existe un peligro de relámpago de arco, el límite de aproximación a una distancia desde la fuente potencial de arco, dentro de la cual una persona puede recibir una quemadura de segundo grado si ocurriera un relámpago de arco eléctrico.

La energía incidente es la cantidad de energía térmica expuesta sobre una superficie a una cierta distancia de la fuente generada durante un evento de arco eléctrico. La energía incidente generalmente es expresada en calorías sobre centímetro cuadrado (cal/cm²).

Es posible sufrir una quemadura de segundo grado por exposición de la piel no protegida a un relámpago de arco eléctrico por encima del nivel de energía incidente de 5 J/cm² (1.2 cal/cm²).

El personal debe usar ropa de protección y otros equipos complementarios cuando se ingrese a la frontera de relámpago de arco.

Frontera de aproximación limitada (Boundary, Limited Approach): Un límite de aproximación a una distancia desde un conductor expuesto o parte del circuito energizado dentro de la cual aumenta el peligro de choque eléctrico.

Frontera de aproximación restringida (Boundary, Restricted Approach): Un límite de aproximación a una distancia desde un conductor expuesto o parte del circuito energizado dentro de la cual aumenta la probabilidad de choque eléctrico, debido al arco eléctrico ocasionado por movimientos involuntarios, para personal que trabaja cerca del conductor eléctrico o parte de circuito energizado.

Para el cálculo de las fronteras de aproximación limitada y restringida la normativa NFPA utiliza la *Tabla 2*

Tabla 2 fronteras de aproximación a conductores eléctricos o partes de circuitos energizados para protección de descargas eléctricas para sistemas de corriente alterna normativa NFPA.

rango de tensión nominal del sistema fase a fase	frontera de aproximación limitada		frontera de aproximación restringida, incluye el agregado de movimientos involuntarios
	conductor móvil expuesto	parte de circuito fijo expuesto	
<50 V	no especificado	no especificado	no especificado
50 V-300 V	3.0 m (10 pies 0 plg)	1.0 m (3 pies 6 plg)	evitar contacto
301 V-750 V	3.0 m (10 pies 0 plg)	1.0 m (3 pies 6 plg)	0.3 m (1 pies 0 plg)
751 V-15 Kv	3.0 m (10 pies 0 plg)	1.5 m (5 pies 0 plg)	0.7 m (2 pies 2 plg)

Tabla 3 Distancias mínimas a partes energizadas descubiertas Decreto 89 art. 58.

Máxima tensión de diseño (KV)	Distancia vertical mínima (m)	Distancia horizontal mínima (m)	Distancia directa (m)	Distancia mínima de resguardo a partes energizadas. (m)
0.151 a 0.6	2.67	1.02	2.85	0.05
5.2	2.7	1.02	2.89	0.087
15	2.7	1.07	2.9	0.101

La normativa nacional no especifica si los conductores expuestos son móviles o fijos por los que las distancias que se tomaran para los futuros análisis son los que proporciona la norma NFPA70-E

Cálculo de frontera de relámpago de arco.

para el cálculo de frontera de arco se utilizará el método de Ralph Lee. Los pasos para calcular la frontera de relámpago se describen a continuación. En caso de no tener los datos se puede usar el método simplificado establecido por la norma NFPA70-E.

Método Ralph Lee para cálculo de fronteras de relámpago de arco.

Calculo de corriente de falla simétrica trifásica en un transformador:

Ecuación 1
$$I_{SC} = \frac{MVA_{base} * 10^6}{1.732 * V} * \frac{100}{\%Z}$$

Calculo de MVA de falla solida en el punto involucrado:

Ecuación 2
$$MVA_{bf} = 1.732 * V * I_{SC} * 10^6$$

Calculo de potencia máxima en un arco trifásico:

Ecuación 3
$$P = MVA_{bf} * 0.707^2$$

Calculo de distancia de frontera de relámpago de arco:

Ecuación 4
$$D_c = \sqrt{2.65 * MVA_{bf} * t}$$

Ecuación 5
$$D_c = \sqrt{53 * MVA * t}$$

Donde:

D_c : Distancia en pies de la persona a la fuente de arco para una quemadura curable (la temperatura de la piel se mantiene a menos de 80°C).

t : Tiempo de exposición al arco en segundos.

I_{SC} : Corriente de falla en los terminales del transformador en Amperios.

V : Tensión nominal del transformador en Voltios.

MVA : Potencia nominal del transformador, para valores nominales menores a 0.75MVA el valor nominal debe ser multiplicado por 1.25.

MVA_{bf} : MVA de falla sólida.

P : Potencia máxima en un arco trifásico en MW.

1.6 Clasificación de personal.

Persona calificada según NFPA-70E.

Se define como la persona que ha demostrado habilidades y conocimientos relacionados con la construcción y el funcionamiento de las instalaciones y los equipos eléctricos y que ha recibido capacitación en seguridad para identificar y evitar los peligros implicados.

Una persona puede ser considerada calificada con respecto a ciertos equipos y métodos, pero aun así no estar calificada para otros, una persona calificada debe ser capaz de realizar las siguientes actividades:

1. Reconocer y evitar los peligros eléctricos que se puedan presentar con respecto a ese equipo o método de trabajo (choque eléctrico, relámpago de arco, ráfaga de arco)
2. Conocer procedimientos (bloqueo etiqueta, permisos de trabajo, prácticas de trabajo seguras, etc)
3. Reconocer entre materiales aislantes y de blindajes y herramientas aislantes y equipos de prueba.

Una persona calificada tiene permitido trabajar en la frontera de aproximación limitada, por lo tanto debe haber recibido entrenamiento adicional en lo siguiente:

1. Entrenamiento de liberación a las víctimas del contacto con conductores eléctricos expuestos o partes de circuitos energizados.
2. Capacitación en primeros auxilios.
3. Destrezas y técnicas para distinguir entre conductores o partes de circuitos eléctricos energizados expuesto.
4. Destrezas y técnicas necesarias para determinar la tensión nominal de conductores y partes de circuitos energizados expuesta.

5. Las fronteras de aproximación y las tensiones a las que se está expuesto.
6. El proceso de toma de decisiones necesario para desarrollar las siguientes actividades:
 - a) Efectuar planificación de seguridad de la tarea, como se establece en la sección 4.3 de este documento.
 - b) Identificar los peligros eléctricos. Sección 1.3 de este documento.
 - c) Evaluar los riesgos asociados. Sección 2.2 de este documento.
 - d) Seleccionar los métodos de control de riesgos apropiados (Eliminación, sustitución, advertencias, controles administrativos y EPP).
7. Los empleados deben ser entrenados para seleccionar el instrumento o equipo de prueba específico y deben demostrar cómo usarlo para verificar la ausencia de tensión incluyendo la interpretación de la información suministrada por el dispositivo. El entrenamiento debe incluir información que permita al empleado comprender las limitaciones de cada equipo de prueba específico que pueda ser utilizado.

El empleador debe determinar, mediante una supervisión regular o mediante inspecciones llevadas a cabo con una frecuencia mínima anual, que cada empleado cumple con las prácticas de trabajo relacionadas con la seguridad.

Se debe reentrenar en prácticas de trabajo relacionadas con la seguridad y cambios aplicables de las normas en intervalos que no excedan los 3 años.

un empleado debe recibir reentrenamiento adicional:

1. Si en la supervisión anual se determina que no está cumpliendo con las prácticas de seguridad relacionadas al trabajo.
2. Si existe nuevos equipos, cambio de tecnología o cambios en los procedimientos.
3. Si existen prácticas de trabajo relacionadas a la seguridad que no son normalmente utilizadas.

Se debe documentar los entrenamientos y el empleador debe garantizar que cada empleado haya recibido el entrenamiento requerido, esta documentación se debe hacer cuando el empleado demuestra sus destrezas en las prácticas de trabajo pertinentes y deben ser mantenidas durante la duración del empleo del empleado.

La documentación debe incluir el contenido del entrenamiento, el nombre de cada uno de los empleados, y las fechas del entrenamiento,

Se sugiere que el contenido del entrenamiento puede incluir uno o más de los siguientes elementos: programa de estudios, currículo del curso, esquema, tabla de contenidos u objetivos del entrenamiento.

Se sugiere llevar el control mediante en el sistema de gestión de activos como máximo.

Personas no calificadas.

Las personas que no reúnen las competencias antes mencionadas estas personas están seguras cuando mantienen una distancia de los conductores y partes de circuitos energizados expuestos, incluyendo el objeto conductor más largo que se esté manipulando, de tal manera que ellos no puedan tener contacto o entrar en la distancia de aislamiento de aire especificada para los conductores o partes de circuitos eléctricos energizados. Esta distancia segura de aproximación es la frontera limitada.

las personas no calificadas no deben cruzar la frontera de relámpago de arco a menos que estén vestidos con ropa de protección personal apropiada y se encuentren bajo la estricta supervisión de una persona calificada.

Las personas no calificadas podrán cruzar la frontera de aproximación limitada únicamente cuando se encuentran continuamente escoltadas por una persona calificada. Bajo ninguna circunstancia una persona no calificada debería cruzar la frontera de aproximación restringida, ya que se requieren conocimientos o equipos especiales de protección contra choque. Es importante que una persona no calificada reciba entrenamiento para poder identificar señales de peligros y acceso restringidos a los que está expuesto.

1.7 Herramientas y equipo de protección personal.

Los equipos de protección personal son elementos de uso individual destinados a dar protección al trabajador frente a eventuales riesgos que puedan afectar su integridad durante el desarrollo de sus labores. Es importante destacar que antes de decidir el uso de elementos de protección personal debieran agotarse las posibilidades de controlar el problema en su fuente de origen, debido a que ésta constituye la solución más efectiva.

Se entenderá por equipo de protección personal (EPP), cualquier equipo destinado a ser llevado o sujetado por el trabajador para que le proteja de uno o varios riesgos que puedan amenazar su seguridad o salud, así como cualquier complemento o accesorio destinado a tal fin (Decreto 89, Art. 89)

Utilización y mantenimiento del equipo de protección personal.

Para garantizar la efectividad y tiempo de vida útil del equipo de protección personal, se deberá cumplir con lo dispuesto a continuación (Decreto 89, Art. 92):

1. La utilización, almacenamiento, mantenimiento, limpieza y la desinfección cuando proceda, de los equipos de protección personal, deberá efectuarse de acuerdo con las instrucciones del fabricante.
2. Deberán señalizarse las zonas en las que se requiera el uso de equipo de protección personal específico.
3. El equipo de protección personal deberá ser utilizado por todas las personas que ocupen los lugares en los que se requiera, aunque no laboren en el mismo, incluyendo personal externo y visitas.

Equipo de protección personal ante los riesgos eléctricos.

La ropa de trabajo, según la característica de la labor, deberá cumplir lo siguiente:

Se prohibirá el uso de elementos que puedan originar un riesgo adicional de accidente en las zonas de producción como: Corbatas, bufandas, tirantes, pulseras, cadenas, collares, anillos y otros objetos que originen riesgo alguno. (Decreto 89, Art. 96 (5))

Las trabajadoras y trabajadores que realicen tareas con equipos eléctricos, deben ser provistos de equipos de protección personal para las tareas a realizar: (Decreto 89, Art. 93)

1. Guantes dieléctricos de acuerdo al tipo de voltaje con que se trabaja
2. Botas dieléctricas de acuerdo al tipo de voltaje con que se trabaja
3. Casco de Protección para la cabeza de las clases necesarias
4. Arnés, cinturones y faja de seguridad
5. Gafas contra impactos, flamas o proyección de partículas
6. Ropa de trabajo
7. Chalecos fluorescentes
8. Capote

El equipo deberá ser inspeccionado periódicamente y conservado en buenas condiciones.

Cascos.

Para dar cumplimiento a los riesgos eléctricos los cascos deben cumplir las normas siguientes. Norma Americana (ANSI/ISEA Z89.1-2009: American National Standard for Industrial Head Protection):

La cual establece tres divisiones para la clase eléctrica:

1. Clase G (General): Cascos fabricados para reducir el riesgo de contacto con conductores eléctricos de baja tensión. Las muestras de ensayo son probadas a 2200 voltios (fase tierra). Este voltaje no es una indicación de la Tensión a la que el casco protege al usuario.
2. Clase E (Eléctrico): Cascos fabricados para reducir el riesgo de contacto con conductores eléctricos de alto voltaje. Las muestras de ensayo son probadas a 20000 voltios (fase tierra). Este voltaje no es una Indicación de la tensión a la que el casco protege al usuario.
3. Clase C (Conductor): Cascos que no ofrecen protección contra descargas eléctricas.

Calzado dieléctrico.

Los zapatos dieléctricos están diseñados para aislar el cuerpo y evitar que la corriente circule por el cuerpo en caso de que ocurra un contacto accidental con conductores eléctricos, el calzado dieléctrico puede resistir voltajes de hasta 35 kV en la suela y 20 kV en la bota completa.

Al momento de adquirir calzado dieléctrico es necesario verificar si cumplen con los requerimientos de seguridad necesarios para el trabajo. Es necesario verificar que las botas estén certificadas por normas internacionales tales como: ASTM estándar F2412-11 y F2413-11 (American Society of Testing Material), ANSI -Z41 (American National Standards Institute), NTC5529 (Norma Técnica Colombiana), ISO 20345 S4 entre otras.

La normativa NFPA70E- establece que el calzado contra peligros eléctricos que cumpla lo establecido en ASTM F2413, (Estándar de especificación de requerimientos de desempeño para calzado de protección con puntera) puede constituir una fuente secundaria de protección contra choques eléctricos bajo condiciones secas. *la Figura 4* muestra un ejemplo de viñetas de certificación para calzado dieléctrico.

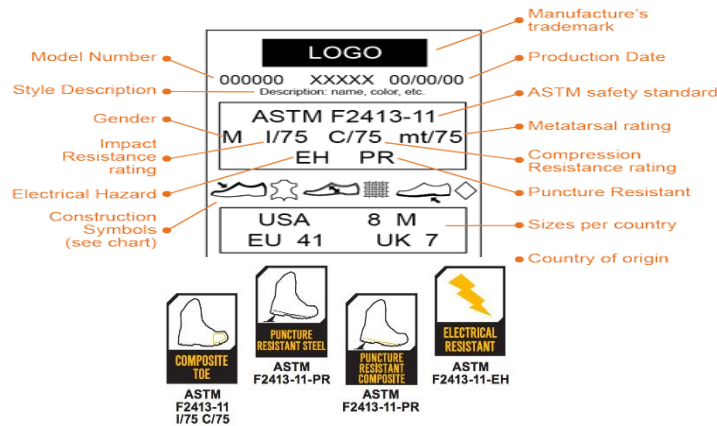


Figura 4. Ejemplo de normativas según la protección requerida.

Guantes para aislantes para trabajos en equipos energizados expuestos.

Los guantes aislantes se clasifican por su nivel de tensión bajo la norma ASTM D120. Como se muestran en la tabla 4 y en la tabla 5 se muestran los protectores de cuero resistentes al arco bajo la norma ASTM F696.

Tabla 4. Estándar de especificación para guantes de goma aislantes ASTM D120.

Clase	Tensión de trabajo (V)	Tensión de Prueba (V)
0	500V	2500 V
0	1000V	5000 V
1	7500 V	10000 V
2	17000 V	20000 V
3	26500 V	30000 V
4	36000 V	40000 V

Tabla 5. Estándar de especificación para protectores de cuero para mitones y guantes de goma aislantes ASTM F696

Estándar ASTM F696	
Clase	Energía incidente de protección
1	4 cal /cm ²
2	8 cal /cm ²
3	25 cal /cm ²
4	40 cal /cm ²

Equipo de medición.

Es importante comprender las limitaciones de cada instrumento de medida ya que estos son construidos según norma IEC 61010 para proteger de transitorios debido a arranques de motores, descargas atmosféricas en las líneas etc.

Un transitorio puede generar un arco eléctrico de alta corriente, produciendo una ruptura de plasma o explosión, esta tiene lugar cuando el aire circundante se ioniza y se hace conductivo. El resultado es una detonación que puede ser de alto riesgo para el personal expuesto.

Un número más alto de CAT se refiere a un entorno eléctrico de mayor energía disponible y transitoria de más energía.

CAT I: Equipos electrónicos protegidos.

CAT II: Cargas conectadas a tomacorrientes monofásicos.

CAT III: Distribución trifásica incluyendo iluminación comercial monofásica.

CAT IV: Sistemas de media tensión.

Es necesario además que el equipo de medición seleccionado tenga el símbolo y número de registro de un laboratorio independiente de comprobación tal como UL, CSA, TÜV, DVE, SA u otra entidad reconocida de aprobación. Ese símbolo puede solamente ser utilizado si el producto completó satisfactoriamente su comprobación según la norma de la entidad de control, la que está basada en normas nacionales/internacionales. La UL 3111, por ejemplo, está basada en la IEC 61010.

Por la naturaleza de la planta donde se tienen niveles de tensión de baja y media tensión es necesario considerar adquirir equipo de medición CAT IV como medida de protección ante transitorios de alta energía al realizar mediciones en sistemas de media tensión.

1.8 Procedimientos de trabajo eléctricamente seguros.

Es importante establecer procedimientos enfocados a garantizar la seguridad exigidos por las leyes nacionales como los que se presentan a continuación.

Cuando se empleen máquinas con elementos peligrosos accesibles que no puedan ser totalmente protegidos, deberán adoptarse procedimientos de trabajo seguros y utilizarse los medios de protección personal adecuados, para reducir los riesgos al mínimo posible. (Decreto 89, Art. 80)

La NFPA 70E en el art 120 propone establecer procedimiento eléctricamente seguro en las siguientes condiciones:

1. El empleado se encuentra dentro de la frontera de aproximación limitada.
2. El empleado interactúa con equipos en los que los conductores o partes del circuito no se encuentran expuestos, pero existe un aumento en la probabilidad de heridas provocadas por exposición a relámpago de arco.

Decreto 89, Artículo 312 establece el siguiente procedimiento seguro cuando se trabaja con conductores expuestos energizados.

1. Abrir con corte visible todas las fuentes de tensión, mediante interruptores accionadores que aseguren la imposibilidad de su cierre imprevisto.
2. Desinstalar o bloquear, si es posible, los aparatos de corte, siendo el bloqueo físico, eléctrico o mecánico.
4. Comprobar la ausencia de tensión en toda instalación, mediante aparatos y equipos adecuados.
5. Colocar las señales de seguridad precisas, delimitando las zonas de trabajo.

Parte de un procedimiento seguro, es etiquetar equipos eléctricos tales como, tableros de distribución, paneles de distribución, paneles de control industriales, envolventes de medidores, centros de control de motores con la tensión nominal del sistema, fronteras de aproximación, mínimo de resistencia al arco de la vestimenta que debe utilizar.

La NFPA 70-E propone un procedimiento detallado de trabajo eléctricamente seguro.

Principios del procedimiento de bloqueo y etiquetado.

Todas las partes de circuitos y conductores de circuitos eléctricos se deben considerar energizados hasta que la fuente de energía sea retirada, momento en el cual se debe considerar desenergizado.

Todas las personas que puedan estar directa o indirectamente expuestas a una fuente de energía eléctrica deben de participar en el proceso de bloqueo y etiqueta.

Se debe entrenar a todo al personal que puedan estar expuestos o afectados por el bloqueo y etiquetado, deben recibir entrenamiento para entender el procedimiento establecido para controlar la energía y sus responsabilidades en el procedimiento y ejecución.

El bloqueo y etiquetado se puede desarrollar mediante en bloqueo simple o mediante el bloqueo complejo.

Bloqueo simple

Es aquel en el que solo participa una persona calificada para desenergizar un conjunto de conductores o fuente de circuitos energizados.

Procedimiento de bloqueo/etiqueta complejo.

Se considera bloqueo complejo si existe una de las siguientes condiciones

1. Múltiples empleadores.
2. múltiples fuentes de energía
3. múltiples lugares.
4. Múltiples grupos de trabajo.
5. Múltiples medios de desconexión.
6. Trabajo o tarea con más de un turno.

Consideraciones del bloqueo y etiqueta.

1. Se debe delegar la responsabilidad principal a un empleado autorizado, para un grupo determinado de personas trabajando bajo la protección de un dispositivo de bloqueo o etiqueta grupal, esta persona debe proporcionar el mecanismo de candado grupal y asegura que el procedimiento de bloqueo se realice de forma segura.
2. Se debe llevar un registro de las personas que están expuestas y establecer EPP adecuado para la tarea a desempeñar.
3. Se debe ubicar una viñeta en la cual se establezca la prohibición de la manipulación.
4. Cada empleado autorizado debe fijar un dispositivo de bloqueo antes de comenzar el trabajo y retirarlo cuando termine su trabajo.

En la sección 4.2 se establecerá un procedimiento específico de bloqueo y etiquetado.

1.9 Permiso para trabajo eléctrico energizado.

La NFPA 70-E artículo 130.2 (B) establece las condiciones en las que es requerido un permiso de trabajo eléctrico energizado:

1. Cuando se realizan trabajos dentro de la frontera de aproximación restringida.
2. Cuando el empleado interactúa con el equipo mientras conductores o partes del circuito no se encuentran expuestas, pero existe un aumento de la probabilidad de ocurrir heridas.

El trabajo energizado será permitido Art 130.2 (A) NFPA 70-E.

1. Donde el empleador pueda demostrar que desenergizar introducirá peligros adicionales o incrementará los riesgos.
2. Donde la tarea a desarrollar es inevitable en estado desenergizado debido al diseño del equipo o por limitaciones operativas.
3. El voltaje es menor a 50V.

Excepciones al permiso de trabajo.

Un permiso de trabajo eléctrico energizado no será requerido si una persona calificada está provista y usa prácticas de trabajo seguro apropiadas y EPP en concordancia con el bajo cualquiera de las siguientes condiciones:

1. Prueba, detección de fallas, y medición de tensión.
2. Termografía e inspecciones visuales si no se cruza la frontera de aproximación restringida.
3. Acceso y egreso de un área con equipo eléctrico energizado si no se efectúa trabajo eléctrico y no se cruza la frontera de aproximación restringida.
4. Limpieza general y tareas no eléctricas misceláneas si no se cruza la frontera de aproximación restringida.
5. En caso de emergencias (actividad desarrollada por el personal calificado)

Los elementos del permiso de trabajos sugeridos por NFPA 70-E en Art 130.2 (B)(2) son:

1. Descripción de los circuitos y equipos en que se va a trabajar y su localización.
2. Justificación de por qué se debe realizar el trabajo en condición energizada.
3. La descripción de las prácticas de trabajo seguro que se emplearán.
4. Resultados de la evaluación de riesgo de choque.
 - a) Tensión a la que el personal estará expuesto.
 - b) Frontera de aproximación limitada.
 - c) Frontera de aproximación restringida.
 - d) Equipos de protección personal y otros equipos de protección necesarios para llevar a cabo de manera segura la tarea asignada.

5. Resultados de la evaluación de riesgo de relámpago de arco.
 - a) Energía incidente disponible a la distancia de trabajo o la categoría de EPP para relámpago de arco.
 - b) EPP necesario para proteger del peligro.
 - c) Frontera de relámpago de arco.
6. Medios empleados para restringir el acceso de personas no calificadas al área de trabajo.
7. Evidencia de la compleción de la descripción del trabajo, incluyendo una discusión sobre los peligros específicos del trabajo.
8. Firma(s) de aprobación del trabajo energizado (gerencia que autoriza o es responsable, oficial de seguridad, o propietario, etc.).

En la sección 4.1 se presenta el permiso de trabajo energizado sugerido.

Metodología.

2.1 Metodología de investigación.

Se realizará una investigación comparativa entre los procedimientos y criterios definidos en normativa y los procedimientos actualmente utilizados referente al área de riesgo eléctrico en las centrales eléctricas, donde se definirán fronteras de arco eléctrico, equipo de protección personal, herramientas de trabajo apropiadas y personal expuesto, para tensiones de 480, 4160 y 13800 V.

Como técnicas de recopilación de información se utilizarán:

1. La entrevista.
2. La observación sistemática.
3. Investigación bibliográfica.

Con el objetivo de identificar el riesgo eléctrico y en qué medida puede afectar al personal expuesto y establecer medidas de seguridad apropiadas a cada caso.

Para realizar el estudio se tomarán de base normativas nacionales como la ley general de prevención de en los lugares de trabajo y los reglamentos que la desarrollan y el código de trabajo, además de la normativa internacional NFPA 70-E 2015 en español.

2.2 Metodología de análisis de frontera de arco.

Para el cálculo de fronteras de arco se considera los valores de capacidad de transformador y tiempos de limpieza de falla mostrados en la Tabla 5.

Tabla 5 valores específicos de transformador y tiempos de protección para cálculo de fronteras de arco.

Transformador	Voltaje nominal [V]	Potencia nominal [MVA]	% impedancia del transformador	tiempo de limpieza de falla en segundos
AT1	480	1.667	5.81	0.1
UT1	4160	5	7.89	0.166666
MT1	13800	37.5	7.84	0.25

2.3 Metodología de análisis de riesgo eléctrico norma NFPA.

Para el análisis de riesgo se debe establecer los puestos de trabajo que están expuestos a riesgo eléctrico para los valores de tensión de 480, 4160 y 13800V en la planta, los puestos de trabajo analizados son:

1. Coordinador eléctrico.
2. Supervisor eléctrico.
3. Electricista.
4. Ayudante de electricista.
5. Coordinador de operaciones.
6. Supervisor de operaciones.
7. Operador.
8. Auxiliar de operaciones.

Para el análisis de riesgo se debe considerar que todo el personal expuesto está capacitado para llevar a cabo cada una de las tareas correspondientes que se requiera analizar.

Para obtener las tareas a analizar se debe utilizar los descriptores de puesto proporcionados por la administración de la empresa además de manuales de mantenimiento eléctrico, para obtener detalles de las tareas analizadas se debe entrevistar a personal de la planta con la suficiente experiencia en las tareas desarrolladas.

Las tareas a analizar se listan en la Tabla 6.

Tabla 6 Tareas utilizadas para el análisis de riesgo eléctrico.

N°	Descripción de la tarea a realizar.
Procedimiento de mantenimiento rutinario de motores de inducción (circuito energizado)	
1	Inspección visual de motor 480V a más de 1 m, conductores no expuestos
2	Inspección visual de motor 480V Tocando la carcasa del motor, conductores no expuestos
3	Medición de voltaje y corriente motor de inducción 480 V, Tocando terminales con puntas de multímetro, conductores expuestos
4	Inspección visual de motor 4160V, a más de 2 m, conductores no expuestos
5	Inspección visual de motor 4160V, a más de 1.5m. conductores no expuestos
6	Inspección visual de motor 4160V, tocando la carcasa del motor, conductores no expuestos
7	Extraer, instalar fusibles 4160V, trabajo a menos de 1 m, utilizando pértiga. conductores expuestos
8	Inspección termográfica a motor 480V camara flir P2620, distancia de trabajo 1m, conductores no expuestos.
9	Inspección termográfica a motor 4160V camara flir P2620, distancia de trabajo 1m, Conductores no expuestos
Procedimiento Inspección rutinaria de tableros de distribución de media tensión tablero no Energizado	
10	Limpieza de las partes visibles y accesibles del interruptor.
11	Cambio de lámparas de señalización dañadas
12	Limpieza del exterior del tablero.
Inspección rutinaria de transformadores auxiliares 13.8/4.16 KV, conductores no expuestos, no se manipulan equipos	
13	Revisar que no existan fugas de aceite en radiadores de calor y válvulas exteriores. a 1.5 m

14	Verificar lecturas de termómetros, a 1.5 m, Conductores no expuestos, no se manipulan equipos
15	Revisar nivel de aceite en la cuba por medio del manómetro de nivel, a 1.5 m
16	Revisar la silica gel, a 1.5 m, Conductores no expuestos, no se manipulan equipos
17	Prueba termográfica infrarroja, a 1.5 m.
Procedimiento de inspección rutinaria en los tableros de 480 V. Tablero no energizado	
18	Limpieza del tablero
19	Toma de lectura de corriente de interruptores y la corriente total del cubículo.
20	Cambio de lámparas de señalización.
Inspección rutinaria de las grúas de 8, 15 y 30 toneladas. 480V	
21	Accionar de forma manual y remota los movimientos de translación de la grúa. Distancias mayores a 1 m, circuito energizado, conductores no están expuestos.
22	Revisar armario de protección general y traslación. circuito no está energizado.
23	Revisar salida de tensión del auto transformador que controla el frenado. Circuito energizado, tocando terminales energizadas con puntas de prueba.
24	Revisar motores de 3,5,8,21 HP circuito no está energizado.

Para la evaluación de riesgo se deben tomar los criterios definidos por la normativa NFPA, esta considera como parámetros de evaluación los siguientes apartados:

Severidad de las posibles heridas o daños a la salud (Se): esta puede ser tomada tomando en cuenta la reversibilidad de las heridas y las consecuencias de cada lesión utilizando los valores de la Tabla 7.

Tabla 7 Clasificación de la severidad de las posibles heridas.

Severidad de las heridas o daños (Se)	Valor de (Se)
Irreversible - Traumatismos, muerte	8
Permanente- Daños óseos, ceguera, pérdida de la audición, quemaduras de tercer grado	6
Reversible, Impactos menores, daños en la audición, quemaduras de segundo grado.	3
Reversibles, laceraciones menores contusiones, quemaduras de primer grado	1

Frecuencia y duración de la exposición (Fr): Para determinar el nivel de exposición se debe considerar la necesidad de acceso a la zona de riesgo a partir de los valores mostrados en la Tabla 8.

Tabla 8 Valores promedio de frecuencia y duración de la exposición.

Frecuencia de exposición.	Valor de (Fr)
<= 1 día	5
> 1 día <= 1 cada 2 semanas	4
> 1 cada 2 semanas <= que 1 vez por año	3
> a una vez por año	2

Probabilidad de ocurrencia de evento peligroso (Pr): la probabilidad de eventos peligrosos puede estimarse tomando en cuenta los dispositivos de seguridad instalados como protecciones eléctricas y la predictibilidad del comportamiento de los circuitos, a partir de esto se definen valores de probabilidad de ocurrencia en la Tabla 9.

Tabla 9 Valores de probabilidad de ocurrencia de evento peligroso.

Probabilidad que ocurra un evento peligroso.	Vapor de (Pr)
Muy alta	5
Probable	4
Posible	3
Raro	2
Insignificante	1

Probabilidad de evitar o limitar heridas (Av): Este parámetro puede estimarse tomando en cuenta aspectos del diseño del sistema eléctrico y la posibilidad espacial de retirarse del lugar del peligro, los valores de probabilidad pueden calcularse utilizando los valores mostrados en la Tabla 10.

Tabla 10 Clasificación de la probabilidad de evitar los daños.

Probabilidad evitarlo	Valor (Av)
Imposible	5
Raro	3
Probable	1

Análisis de datos.

3.1 Calculo de fronteras de arco para 480, 4160 y 13800V.

Para el cálculo de frontera de arco se utiliza la Ecuación 5, además de los valores específicos de transformador de la *Tabla 5*; el resultado de las distancias de frontera de arco se muestra en la *Tabla 11* además de un ejemplo de las distancias de arco calculadas para la sala de potencia que se muestra en la *Figura 5*.

Tabla 11 Valores de distancias de frontera de arco.

Trafo.	Voltaje F-F [V]	MVA del trafo.	% Impedancia del trafo.	Corriente de corto circuito [kA]	Tiempo de limpieza de falla [s]	Distancia de frontera de relámpago de arco [ft]	Distancia de frontera de relámpago de arco [m]
AT1	480	1.667	5.81	34.511	0.1	2.97	0.91
UT1	4160	5	7.89	8.795	0.166666	6.64	2.03
MT1	13800	37.5	7.84	20.011	0.25	22.29	6.79

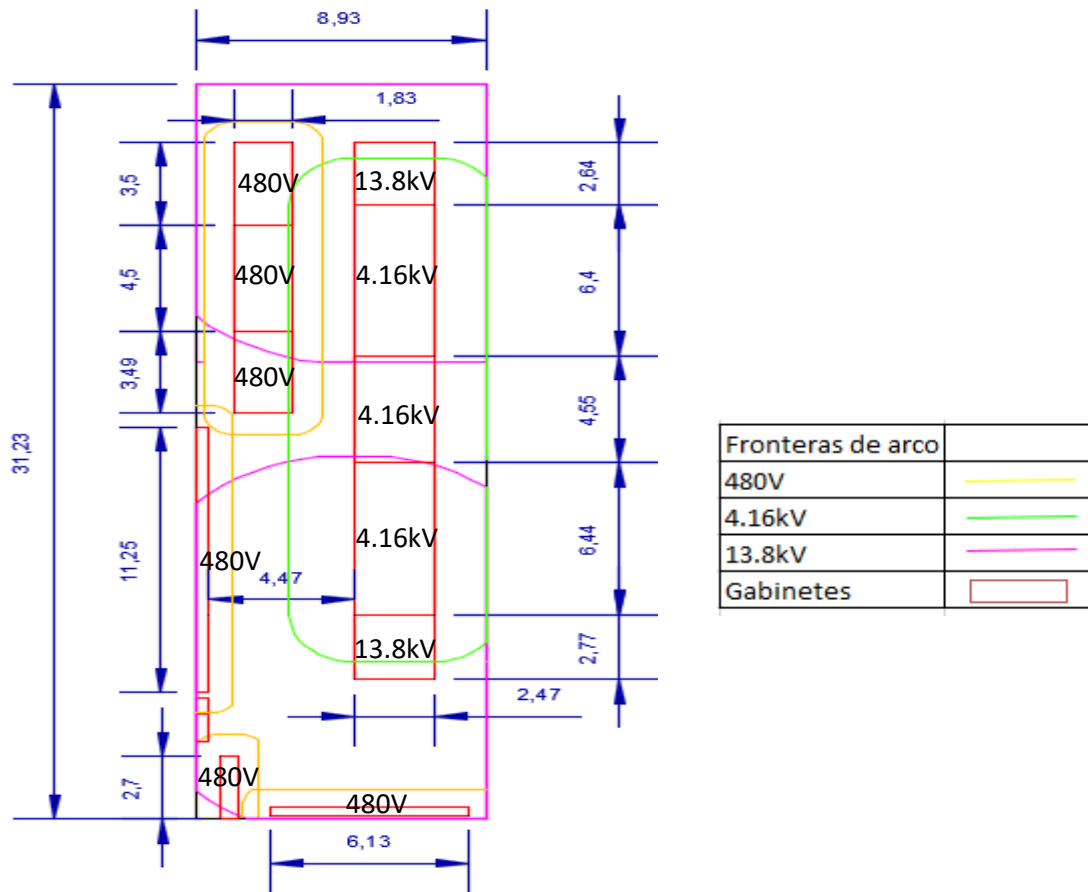


Figura 5. Fronteras de arco en sala de potencia para 480 V, 4160 V y 13800V.

3.2 Presentación de resultados del análisis de riesgo.

La evaluación de riesgo de las actividades de la Tabla 6 se realizó utilizando la Ecuación 6; se presentan los resultados de la evaluación de riesgo en la Tabla 13 utilizando los criterios de la matriz de la Tabla 12.

Ecuación 6

$$Riesgo = Se * Fr * Pr * Av$$

Tabla 12. Matriz de análisis de riesgo.

Grave	riesgo > 150
Medio	50 < riesgo < 150
Leve	riesgo < 50

Tabla 13. Análisis de riesgo procedimientos de mantenimiento eléctrico.

N°	Descripcion de la tarea a realizar.	Se	Fr	Pr	Av	Evaluacion y Clasificacion del riesgo
Procedimiento de mantenimiento rutinario de motores de inducción (circuito energizado)						
1	Inspección visual de motor 480V a mas de 1 m, conductores no expuestos	1	4	2	1	8
2	Inspección visual de motor 480 V,Tocando la carcasa del motor, conductores no expuestos	1	4	2	3	24
3	Medición de voltaje y corriente motor de inducción 480 V, Tocando terminales con puntas de multímetro, conductores expuestos	8	3	4	3	288
4	Inspección visual de motor 4160V, a mas de 2 m, conductores no expuestos	1	3	2	1	6
5	Inspección visual de motor 4160V, a mas de 1.5m. conductores no expuestos	3	3	2	1	18
6	Inspección visual de motor 4160V, tocando la carcasa del motor, conductores no expuestos	6	3	2	3	108
7	Extraer, instalar fusibles 4160V, trabajo a menos de 1 m, utilizando pertiga. conductores expuestos	8	3	5	3	360
8	Inspección termografica a motor 480V camara flir P2620, distancia de trabajo 1m, conductores no expuestos.	1	3	2	1	6
9	Inspección termografica a motor 4160V camara flir P2620,distancia de trabajo 1m, Conductores no expuestos	3	3	2	1	18
Procedimiento Inspección rutinaria de tableros de distribución de media tensión tablero no Energizado						
10	Limpieza de las partes visibles y accesibles del interruptor.	1	2	3	3	18
11	Cambio de lamparas de señalización dañadas	1	2	3	1	6
12	Limpieza del exterior del tablero.	1	2	3	1	6

	Inspección rutinaria de transformadores auxiliares 13.8/4.16 KV, conductores no expuestos, no se manipulan equipos					
13	Revisar que no existan fugas de aceite en radiadores de calor y valvulas exteriores. a 1.5 m	6	3	1	3	54
14	Verificar lecturas de termómetros, a 1.5 m, Conductores no expuestos, no se manipulan equipos	6	3	1	3	54
15	Revisar nivel de aceite en la cuba por medio del manometro de nivel, a 1.5 m	6	3	1	3	54
16	Revisar la silica gel, a 1.5 m, Conductores no expuestos, no se manipulan equipos	6	3	1	3	54
17	Prueba termográfica infrarroja, a 1.5 m	6	3	1	3	54
	Procedimiento de inspección rutinaria en los tableros de 480 V. Tablero no energizado					
18	Limpieza del tablero	1	3	2	1	6
19	Toma de lectura de corriente de interruptores y la corriente total del cubiculo.	1	3	2	1	6
20	Cambio de lamparas de señalización.	1	3	2	1	6
	Inspección rutinaria de las gruas de 8,15 30 toneladas. 480V					
21	Accionar de forma manual y remota los movimientos de translación de la grua. Distancia mayores a 1 m, circuito energizado, conductores no estan expuestos.	1	3	2	1	6
22	Revisar armario de protección general y traslación. circuito no esta energizado.	1	3	2	1	6
23	Revisar salida de tensión del auto transformador que controla el frenado. Circuito energizado, tocando terminales energizadas con puntas de prueba.	6	3	3	3	162
24	Revisar motores de 3,5,8,21 HP circuito no esta energizado.	1	3	1	1	3

A partir del análisis de riesgo realizado se determinó que las actividades con riesgo catalogado como grave son los que son realizados sobre equipo energizado con conductores expuestos; de forma contrastante las actividades con riesgo catalogado como leve son las que son realizadas sobre equipo des-energizado.

Además se determinó que el nivel de tensión a los que se está expuesto y la distancia a la que se realiza el trabajo son factores determinantes en el riesgo presente, ya que una misma actividad para menores distancias de trabajo implica un mayor riesgo y una misma actividad realizada a mayor nivel de tensión da como resultado un valor de riesgo mayor, se realizara una propuesta de EPP en la sección 4.4 a partir de los criterios obtenidos en la evaluación de riesgo.

3.3 Análisis comparativo de permisos de trabajo.

Se realizó una comparación de los permisos de trabajo actualmente utilizados entre 2 plantas de generación y los requerimientos indicados por la normativa NFPA 70-E referentes a permisos de trabajo sobre circuitos energizados, el cuadro comparativo de los permisos de trabajo se muestra en la *Tabla 14*.

Tabla 14 Análisis comparativo permisos de trabajo planta 1 y planta 2, y requerimientos de la normativa NFPA 70-E para permiso de trabajo energizado.

requerimiento.	Planta 1		Planta 2	
		Notas		Notas
El permiso de trabajo incluye la descripción del trabajo a realizar donde se consideran las características más significativas del circuito que se va a trabajar.	si		si	
El permiso de trabajo incluye prácticas de trabajo seguro referentes a la des-energización y prevención de reconexión del circuito a trabajar.	si	las prácticas de trabajo seguro se encuentran recopiladas en un certificado de electricidad anexo	si	cuenta con criterios básicos de condiciones de trabajo eléctricamente seguro
El permiso de trabajo cuenta con un análisis de trabajo seguro donde se pide especificar los pasos y procedimientos recomendados para realizar la tarea.	no		si	
El permiso de trabajo considera condiciones de trabajo para circuitos energizados.	no		no	
El permiso de trabajo incluye precauciones personales a tomar en cuenta como el EPP necesario para realizar la tarea.	si	el EPP considerado no se contemplan las categorías de equipo a utilizar y no se encuentra listado equipo especializado para operación de trabajo energizado	no	

		como vestuario resistente al arco		
El permiso de trabajo incluye precauciones de seguridad referentes al lugar donde se llevará a cabo la actividad, en esta sección se incluye los medios de restricción de acceso a personas no calificadas.	si		no	
El permiso de trabajo incluye los resultados de la evaluación de riesgo de choque y los resultados de la evaluación de riesgo de relámpago de arco	no		no	
El permiso de trabajo incluye una discusión sobre los peligros específicos del trabajo y las precauciones necesarias para tomar en cuenta	si		no	El permiso de trabajo exige completar los riesgos potenciales del trabajo y los procedimientos recomendados asociados a dichos riesgos, no obstante no se detallan los peligros específicos.
El permiso de trabajo incluye la firma del supervisor/coordinador de la actividad donde se certifica que se han considerado las implicaciones del trabajo y que las precauciones especificadas son adecuadas para el trabajo a ejecutar.	si		si	incluye además un sello de aprobación de la sala de control.

De forma general los permisos de trabajo actualmente implementados no consideran criterios específicos para trabajo sobre circuitos energizados, por lo cual se presentará una propuesta en la sección 4.1 del documento.

3.4 Análisis de procedimientos de bloqueo y etiquetado.

Se realizó un análisis del procedimiento de bloqueo y etiquetado actualmente utilizados a partir de los requerimientos indicados por la normativa NFPA 70-E, dicho análisis se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15. Análisis de procedimientos de bloqueo y etiquetado.

	Procedimiento sugerido basado NFPA70-E	Procedimiento actual PRA-636-020	Evaluación
1	Identificar número de personas expuestas directa o indirectamente.	Preparar para el apagado	El procedimiento actual no especifica en que consiste la preparación para el apagado, lo cual podría llevar a ignorar alguno de los criterios propuestos por la normativa NFPA 70-E
2	Proporcionar dispositivo de bloqueo grupal si requiere		
3	Determinar fuentes de energías		
4	Desenergizar. (desconectar)	Apagado de la máquina.	El procedimiento actual considera el criterio propuesto por la normativa NFPA 70-E
		Aislamiento de la maquina o equipo.	En el procedimiento sugerido no se toma en consideración ya que se tienen pasos alternativos que garantizan que las fuentes de energía sean bloqueadas.
5	Fijar dispositivos de bloqueo	Aplicar dispositivos de bloqueo y etiqueta	El procedimiento actual considera los criterios propuesto por la normativa NFPA 70-E, no obstante se considera separar dichos procedimientos con el objetivo de no confundir el cumplimiento de 1 de ellos por el cumplimientos de ambos.
6	Fijar dispositivo de etiqueta		
		Energía almacenada.	El procedimiento actual sugiere liberar energía almacenada antes de comprobar que el circuito este des-energizado, esto podría ocasionar un choque eléctrico si el equipo no fue des-energizado correctamente.

7	Probar el equipo de medición en un circuito energizado para comprobar el funcionamiento.	Comprobación del aislamiento	El procedimiento actual no considera de manera explícita la medición y comprobación de la des-energización del equipo, este mecanismo garantiza la correcta desconexión de los equipos
8	Verificar ausencia de tensión en el circuito des-energizado.		
9	Probar nuevamente el equipo de medición en un circuito energizado para comprobar el funcionamiento.		
10	Liberación de la energía almacenada		el procedimiento actual realiza la liberación de energía antes de la prueba y verificación de la desconexión.
11	Delimitar el área de trabajo	Inspección de maquinaria o equipo y señalización de área de trabajo.	El procedimiento actual considera el criterio propuesto por la normativa NFPA 70-E
12	Poner a tierra los conductores de fase, instalar dispositivos de conexión a tierra con capacidad adecuada para la corriente de corto circuito.		El procedimiento actual considera no considera de manera explícita la colocación de dispositivos de conexión a tierra
13	Realizar mantenimiento según el plan establecido.		
14	Ubicación de las copias de llaves.	Ubicación y de copias de llaves de bloqueo.	El procedimiento actual considera el criterio propuesto por la normativa NFPA 70-E
15	Transferencia de información entre operadores de turno		el procedimiento actual no considera cambios de turno para mantenimientos de larga duración
16	Retirar dispositivos de bloqueo	Retiro del bloqueo y etiquetado	El procedimiento actual considera el criterio propuesto por la normativa NFPA 70-E

17	Entrega el equipo a operaciones		El procedimiento actual no contempla la entrega del equipo al area de operaciones ni las pruebas posteriores al mantenimiento, esto no garantiza que la energizacion y las pruebas al equipo sean realizadas por el personal calificado para dicha tarea.
18	Energizar y pruebas en el equipo.		

Debido a que el procedimiento actual no considera de manera específica algunos pasos del procedimiento de bloqueo/etiquetado sugerido por la normativa NFPA 70-E se realizara una propuesta detallada en la sección 4.2.

4.2 Procedimiento de bloqueo y etiqueta.

Responsable bloqueo/etiqueta:	Revisado por:	Autorizado por:
Firma:	Firma:	Firma:
Fecha:	Fecha:	Fecha:

No.	Actividad	Responsable	Comentarios
1	Identificar número de personas expuestas directa o indirectamente.	Operador de turno.	Personal expuesto directamente: personas que trabajan con el equipo eléctrico que se desea desenergizar. Personal expuesto de forma indirecta: personas que trabajan en equipos no eléctricos relacionados con el equipo que se desea desconectar. Coordinar con otros departamentos de ser necesario.
2	Proporcionar dispositivo de bloqueo grupal si requiere	Operador de turno.	El dispositivo de bloqueo grupal será requerido siempre que se trabaje con múltiples fuentes, múltiples grupos de personas, exista la posibilidad de cambios de turnos.
3	Determinar fuentes de energías	Ejecutante de la tarea	Revisar planos y diagramas unifilares, para garantizar que la operación de bloqueo del circuito eléctrico no pueda ocasionar la reenergización indebida del circuito en el que se esté trabajando.
4	Desenergizar. (desconectar)	Operador de turno.	Utilizar EPP adecuado.
5	Fijar dispositivos de bloqueo	Ejecutante de la tarea	El dispositivo se debe instalar únicamente en medios de desconexión de circuitos para garantizar que no se pueda desbloquear, de no ser posible fijar un dispositivo de bloqueo adecuado se debe tomar otra medida de bloqueo adicional.

6	Fijar dispositivo de etiqueta	Ejecutante de la tarea	La etiqueta debe contener un enunciado que prohíba la operación o remoción no autorizada de los medios de desconexión o el retiro no autorizado del dispositivo, dicha etiqueta debe ser colocada junto al mecanismo de bloqueo de cada persona.
7	Probar el equipo de medición en un circuito energizado para comprobar el funcionamiento.	Ejecutante de la tarea	Utilizar EEP adecuado, Utilizar equipo de medición apropiado (ver sección 4.5)
8	Verificar ausencia de tensión en el circuito de trabajo	Ejecutante de la tarea	Es necesario garantizar que el circuito en el que se trabaja efectivamente se encuentra desenergizado.
9	Probar nuevamente el equipo de medición en un circuito energizado	Ejecutante de la tarea	se utiliza la redundancia de la medición para garantizar que el dispositivo no fue dañado durante la segunda prueba,
10	Liberación de la energía almacenada	Ejecutante de la tarea	Los equipos como capacitores, inductores, transformadores, almacenan energía la cual debe liberarse de forma segura.
11	Delimitar el área de trabajo	Ejecutante de la tarea	Utilizar barricadas, señales de advertencia etc.
12	Poner a tierra los conductores de fase, instalar dispositivos de conexión a tierra con capacidad adecuada para la corriente de corto circuito.	Ejecutante de la tarea	Garantiza la protección del personal ya que actuarían las protecciones eléctricas si por algún motivo se energiza el equipo.
13	Realizar mantenimiento según el plan establecido.	Ejecutante de la tarea	Seguir indicaciones y herramientas adecuadas

14	Ubicación de las copias de llaves.	Encargado de seguridad industrial.	Es importante que exista un respaldo de las llaves bajo custodia del encargado de seguridad para solventar eventualidades no planificadas y fuera de control.
15	Transferencia de información entre operadores de turno	Operador de turno.	Al realizarse el cambio de turno Se debe transferir responsabilidades por escrito, nombres de las personas y sus funciones.
16	Retirar dispositivos de bloqueo	Ejecutante de la tarea	Cuando la persona termine su actividad de mantenimiento o inspección debe retirar su dispositivo de bloqueo, si requiere hacer pruebas debe esperar a que todos los involucrados hayan terminado el trabajo en ese mismo equipo, Si el desbloqueo es realizado por una persona calificada diferente a quien previamente había bloqueado es obligación garantiza que la persona que instalo previamente sepa que su candado fue retirado antes de retirarlo.
17	Entrega el equipo a operaciones	Ejecutante de la tarea	El personal de mantenimiento entrega el equipo al área de operaciones quienes se encargan de planificar las pruebas cuando el proceso lo permita.
18	Energizar y pruebas en el equipo.	Operador de turno	Inspeccionar lugar de trabajo, garantizar que no se encuentre personal en cada uno de los puntos de trabajo descritas en paso uno. Si la zona se encuentra despejada proceder a energizar y a realizar las pruebas respectivas.

4.3 Verificación para la planificación.

Identificar

- Peligros
- Cantidad de personas requeridas para el trabajo
- Habilidades requeridas
- Cualquier fuente “inesperada” de voltaje (fuente secundaria)
- Voltaje implicados
- Cualquier condición inusual de trabajo

Preguntar

- ¿Puede el equipo estar desenergizado?
- ¿Hay posibilidades de retroalimentación en los circuitos donde se trabaja?

Verificar

- Planes de trabajo.
- Diagramas unifilares y planos de fabricante.
- Estado del tablero.
- Información de la planta y recursos del fabricante están actualizados.

Saber

- Cuál es el trabajo
- Quién más necesita saber ¡Comunicar!

Pensar

- Sobre los eventos inesperados... ¿Qué sucedería si?
- Candado — Etiqueta — Probar — Verificar
- Prueba de voltaje —PRIMERO
- Utilice las herramientas y equipos adecuados, incluyendo el EPP

Prepárese para una emergencia

- ¿Está la persona que acompaña entrenada en RCP?
- ¿Está el equipamiento para emergencias disponible? ¿Dónde?
- ¿Dónde está el teléfono más cercano?
- ¿Dónde está la alarma contra incendio?
- ¿Hay rescate en espacios confinados disponible?
- Fronteras de protección al choque eléctrico
- Energía incidente disponible
- Potencial a relámpago de arco (realizar un análisis del peligro de relámpago)
- Frontera de relámpago de arco
- ¿Se requiere una persona acompañando?
- Procedimientos de seguridad
- Los individuos están familiarizados con el sitio

- Quién está a cargo
- Instale y remueva equipo productivo de puesta a tierra temporal
- Instale barreras y barricadas
- ¿Cuál es el lugar exacto del trabajo?
- ¿Cómo se desenergiza el equipo en caso de una emergencia?
- ¿Se saben los números de teléfono de emergencia?
- ¿Dónde se encuentra extintor de incendios?
- ¿Hay comunicaciones radiales disponibles?


4.4 Equipo de protección personal para trabajos eléctricos.

	Peligro de choque eléctrico	peligro de relámpago de arco
nivel de tensión (V)	Frontera de aproximación limitada/restringida	Frontera de relámpago de arco
480 V	Guantes de goma aislante clase 00 mangas de hule aislante ASTM D1051 casco clase G gafas de seguridad calzado de seguridad estándar ASTM F2413	Vestimenta resistente al arco (chaqueta y pantalón u overol) para 8 cal/cm ² capucha de traje protección cat. 2 o protector facial y pasamontañas cat. 2 guante de goma aislante clase 00 protectores de cuero para guantes cat. 2 casco clase G gafas de seguridad calzado de seguridad estándar ASTM F2413 Tapones para los oídos
4160 V	Guantes de goma aislante clase 1 mangas de hule aislante ASTM D1051 casco clase E gafas de seguridad calzado de seguridad ASTM F2413	Vestimenta resistente al arco (chaqueta y pantalón o overol) para 40 cal/cm ² capucha de traje protección cat. 4 guante de goma aislante clase 1 protectores de cuero para guantes cat. 4 casco clase E gafas de seguridad calzado de seguridad estándar ASTM F2413 Tapones para los oídos

13800 V	Guantes de goma aislante clase 2 mangas de hule aislante ASTM D1051 casco clase E gafas de seguridad calzado de seguridad ASTM F2413	Vestimenta resistente al arco (chaqueta y pantalón u overol) para 40 cal/cm ² capucha de traje protección cat. 4 guante de goma aislante clase 2 protectores de cuero para guantes cat. 4 casco clase E gafas de seguridad calzado de seguridad estándar ASTM F2413 Tapones para los oídos
----------------	--	--

4.5 Herramientas probadoras de tensión apropiadas.

Actualmente se cuenta con el medidor de voltaje con las siguientes características.


Marca Chance; SUPER TESTER 1990-ST	
Características principales.	Imagen de referencia.
Mide voltaje 1KV a 800KV Señal sonoro y luminoso Se utiliza con pértica	

El equipo con el que se cuenta actualmente no es capaz de detectar tensiones inferiores a 1000 Voltios por lo que se sugiere adquirir los siguientes medidores:

Primera alternativa:

Marca Fluke; modelo LVD2	
Características principales.	Imagen de referencia.
Detecta entre 90 y 600 V CA Clasificado como CAT IV 600 V Detector a distancia.	

Segunda alternativa

Marca: AMPROBE; Modelo: TIC-300 PRO	
Características	Imagen de muestra
<ul style="list-style-type: none"> • Se ajusta para altas tensiones permitiendo la supervisión de las líneas de transmisión, equipos de distribución de energía y tendidos eléctricos. • Seleccionable para bajas tensiones, permitiendo el control de presencia de tensión en los tableros, interruptores, tomas de corriente y cableado. • Verifica presencia de tensión entre 30 V a 122 kV AC. • Detector de tensión sin contacto. • Proporciona alerta sonora y visual frente a la presencia de tensiones. • Tiene función auto-test que permite verificar su correcto funcionamiento. 	

Conclusiones y recomendaciones.

1. A partir de la investigación bibliográfica se determino que se necesitan pequeñas cantidades de corriente para causar daños significativos en una persona expuesta a peligros eléctricos y se estableció un rango de seguridad para tensiones menores a 50V con el objetivo de cubrir a la mayor cantidad de personas expuestas, ya que la resistencia del cuerpo humano varía en cada caso.
2. Del resultado obtenidos en la evaluación de riesgo se concluye que la magnitud del riesgo de arco a las que se expone el personal trabajando en circuitos energizados depende en gran medida de las distancias de aproximación a conductores expuestos, la potencia nominal del transformador y del tiempo de limpieza de la falla.
3. Se requiere permisos de trabajo energizado como el presentado en la sección 4.1 siempre que no sea posible desconectar el circuito, ya que esto garantiza realiza una correcta planificación y así reducir los riesgos.
4. Siempre que se requiera desconectar un circuito eléctrico es necesario implementar procedimientos de trabajo eléctrico seguro como el procedimiento de bloqueo y etiqueta presentado en la sección 4.2.
5. La frontera de arco eléctrico es de 0.9m para 480V, 2m para 4160V y 6.79m para 13800V, por lo cual se recomienda mantenerse alejado de conductores energizados expuestos a estos niveles de tensión considerando estas distancias.
6. Para el cálculo de las fronteras de arco eléctrico se utilizó el método simplificado de Ralph Lee, si se requiere realizar un estudio mas detallado se recomienda aplicar la norma IEE 1584.
7. Se determino que se requieren trajes de 40J/cm² cuando se requiera realizar trabajo dentro de la frontera de arco eléctrico en circuitos energizados a 4160V y 13800V, y trajes de 8J/cm² para 480V, además se especificó el EPP en la sección 4.4 para cada nivel de tensión antes mencionado para riesgo de choque eléctrico.
8. Se recomienda utilizar dispositivos de prueba adecuados para cada nivel de tensión, se especificó 2 propuestas de dispositivos en la sección 4.5, el Fluke LVD2 para valores menores a 600V para uso personal, y el AMPROBE TIC-300 PRO para uso colectivo debido a que el rango de tensión de 30VAC-122,000VAC, lo clasifican como un equipo de medición más sofisticado y más caro.
9. Se recomienda capacitar al personal calificado de acuerdo a los requerimientos de la sección 1.6 para que el trabajo realizado sea efectuado de la forma más segura posible.
10. Se recomienda capacitar al personal no calificado en el conocimiento de los límites de aproximación según el nivel de tensión al que se está expuesto.

Agradecimientos.

Nuestros sinceros agradecimientos a las personas que colaboraron con la realización de este trabajo de investigación, a los asesores y personal administrativo que hicieron posible la gestión para llevar a cabo las visitas técnicas, entrevistas y el acceso a los lugares de interés en la planta; además agradecer al personal de la planta que colaboro con la investigación compartiendo sus experiencias y conocimientos con nosotros, de manera muy atenta gracias, ya que el conocimiento es uno de los regalos mas importantes que se puede recibir en la vida.

Referencias bibliográficas.

- Ley general de prevención de riesgos laborales en lugares de trabajo. decreto 254, Asamblea legislativa de la república de El Salvador, 21 de enero 2010.
- Reglamento general de prevención de riesgos en los lugares de trabajo república de El Salvador, 15 de junio 2000.
- Seguridad eléctrica en los lugares de trabajo NFPA-70E 2015.
- IEC60749 Efectos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano.

Anexos.



Figura 6. dispositivos de bloqueo de interruptores de baja tensión actualmente utilizados en la planta.



Figura 7. EPP para arco eléctrico actualmente utilizado en la planta.



Figura 8. barras eléctricas de media tensión expuestas durante una operación de mantenimiento mayor.



Figura 9 maniobra de extracción de interruptores de media tensión durante mantenimiento mayor.



Figura 10 interruptor eléctrico de media tensión extraído durante pruebas de mantenimiento.



Figura 11 barricadas de protección durante operación de mantenimiento mayor.