

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“SEGURIDAD ELECTRICA Y PELIGRO DE LA DESCARGA DE
ARCO”

INFORME DE MATERIA DE GRADUACIÓN

Previa la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD

ESPECIALIZACIÓN POTENCIA

Presentado por:

Klever Vicente Cevallos Alcívar

Miguel Ángel Herdoiza Dávalos

Guayaquil – Ecuador

2010

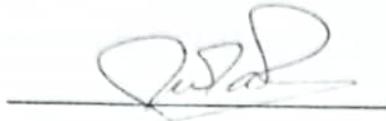
AGRADECIMIENTO

Gracias a nuestros Padres por su incansable apoyo, a nuestros familiares, nuestros compañeros de trabajo. A todas las personas que de uno u otro modo brindaron su soporte para la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a
nuestros padres.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Juan Gallo', written over a horizontal line.

Ing. Juan Gallo

Profesor de la Materia de Graduación

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Jorge Flores', written over a horizontal line.

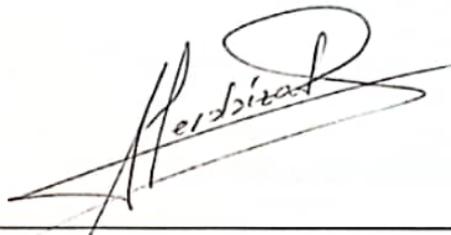
Ing. Jorge Flores

Profesor Delegado del Decano

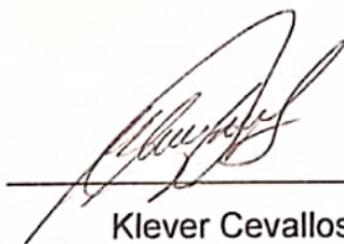
DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de este informe, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Miguel Herdoiza Dávalos



Klever Cevallos Alcívar

RESUMEN

El capítulo I, está constituido por el Marco Teórico, el concepto en sí de Arco Eléctrico, su naturaleza, causas que lo forman y sus características. También mencionaremos la formulación que se tiene gracias a la IEE-1584 y a la NFPA 70E, la cual nos permite calcular las distancias de seguridad que tiene que haber entre un equipo energizado y una persona que esté cerca del mismo. Y finalmente se tiene el modelo escogido (nota técnica NTP 330) para la realización de la evaluación del riesgo dentro de un Centro de Control de Motores de una Central de Generación.

En el Capítulo II, veremos la Legislación y las Normas existentes contra riesgos en las Instalaciones de Energía Eléctrica para El Arco Eléctrico dentro del País y de las principales Organismos de Regulación a nivel Internacional.

En el Capítulo III, se realizará los cálculos de la distancia de Seguridad aplicando la formulación existente dada por la IEEE-1584 y la NFPA 70E.

En el Capítulo IV, se realizará la Evaluación del Riesgo de la Descarga de Arco Eléctrico tomando como base la nota técnica NTP 330. Se ha realizado un análisis de las diferentes actividades que se realizan en el Centro de Control de Motores para obtener los cuestionarios, los cuales nos servirán como instrumentos de medida y se ha elaborado una tabla del nivel de riesgo, la cual nos servirá para esta nota técnica llevarla a ser un método para nuestro estudio.

En el Capítulo V, tendremos las medidas de Prevención y Control que se sugieren dentro de las instalaciones Eléctricas del Centro de Control de Motores de la Planta de Generación. Aplicadas estas medidas, se aplicará nuevamente el método, para obtener nuevos resultados, donde se deben apreciar reducciones a los niveles de riesgos en las actividades.

INDICE GENERAL

	Pag.
AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIA	III
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN	IV
DECLARACIÓN EXPRESA	V
RESUMEN	VI
INDICE GENERAL	VIII
INDICE DE FIGURAS	XIV
INDICE DE TABLAS	XVI
ABREVIATURAS	XVIII
INTRODUCCIÓN	XIX
 CAPITULO I	
1. MARCO TEORICO.....	1
1.1 El Arco eléctrico.....	1
1.1.1 Causas evolutivas.....	2
1.1.2 Causa mecánicas.....	3
1.1.3 Por Sobre-tensiones.....	5

1.2 Naturaleza del arco eléctrico	6
1.3 Fronteras de aproximación y protección a la descarga de arco eléctrico.....	8
1.3.1 Frontera de protección a la descarga de arco.....	10
1.3.2 Frontera de aproximación limitada.....	10
1.3.3 Frontera de aproximación restringida.....	10
1.3.4 Frontera de aproximación prohibida.....	11
1.4 Riesgos del arco eléctrico.....	11
1.4.1 Probabilidad de sobrevivir.....	14
1.5 Cálculos de los parámetros del arco eléctrico.....	15
1.5.1 Cálculos de acuerdo con el Estándar de la IEEE 1584-2002	15
1.5.1.1 Corriente de arco.....	16
1.5.1.2 Energía incidente normalizada.....	17
1.5.1.3 Energía incidente.....	18
1.5.1.4 Frontera de protección a la descarga de arco.....	19
1.5.2 Cálculo de acuerdo a la norma NFPA 70E Anexo B	20
1.5.3 Tablas de la NFPA 70E	22
1.5.4 Presión generada por la explosión de una descarga de arco	23
1.6 Evaluación de los riesgos y peligros.....	24
1.6.1 El Riesgo.....	24

1.6.2 Probabilidad.....	25
1.6.3 Consecuencias.....	26
1.7 Metodología.....	27
1.7.1 Procedimiento a seguir.....	28
1.7.2 Nivel de deficiencia.....	29
1.7.3 Nivel de exposición.....	32
1.7.4 Nivel de probabilidad.....	33
1.7.5 Nivel de consecuencias.....	34
1.7.6 Nivel de riesgo y nivel de intervención.....	35

CAPITULO II

2. LEGISLACION Y NORMAS.....	36
2.1 Reglamento del ministerio del trabajo 2393.....	36
2.2 CPE INEM 019 (Código Eléctrico Nacional).....	37
2.3 Código eléctrico nacional de EEUU (NEC 2008) NFPA70.....	38
2.4 Asociación de protección contra incendios (NFPA 70E).....	39
2.5 Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos IEEE.....	40
2.6 Asociación para la salud y seguridad ocupacional OSHA.....	40
2.7 Sociedad Americana para pruebas y materiales (ASTM).....	42

CAPITULO III

3. CALCULOS DE LOS PARAMETROS DEL ARCO ELECTRICO PARA UN CENTRO DE CONTROL DE MOTORES.....	45
3.1 Diagrama eléctrico del sistema.....	46
3.2 Detalle de los equipos que están instalados en el sistema.....	47
3.3 Cálculos de los parámetros del arco eléctrico.....	49
3.3.1 Corriente de arco.....	50
3.3.2 Energía incidente normalizada.....	51
3.3.3 Energía incidente.....	52
3.3.4 Frontera de protección a la descarga de arco.....	53
3.3.5 Resultados para el sistema.....	54

CAPITULO IV

4. EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS Y PELIGROS.....	55
4.1 Aplicación de un centro de control de motores de un planta térmica.....	56
4.1.1 Riesgo a analizar.....	56
4.1.2 Tipos de tareas para las que realizamos la evaluación de riesgo.....	57
4.1.3 Resultados.....	62

CAPITULO V

5. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y CONTROL.....	66
5.1 Evitar los accidentes por descarga de arco eléctrico.....	67
5.1.1 Mantenimiento preventivo.....	67
5.1.2 Trabajos que se realizan con equipos energizados.....	71
5.2 Etiquetado de los paneles de distribución.....	72
5.3 Colocación de aislamiento y bloqueo.....	76
5.4 Reducción de la energía incidente en los trabajadores.....	78
5.4.1 Reducción de la intensidad de la falla.....	78
5.4.1.1 Cambiar la configuración del sistema para reducir la corriente de falla.....	78
5.4.1.2 Fusibles e interruptores limitadores de corriente.....	79
5.4.2 Reducir el tiempo de duración del arco.....	80
5.4.2.1 Reducción del tiempo de respuesta de los interruptores a un margen de seguridad.....	80
5.4.2.2 Protección diferencial.....	81
5.4.2.3 Mejoramiento de los dispositivos de disparo instantáneo.....	81
5.4.2.4 Sensor de disparo óptico.....	84

5.4.2.5 Estudio de coordinación de protecciones.....	84
5.4.3 Operación y manipulación de equipos remotamente.....	85
5.5 Equipos de protección personal.....	86
5.6 Implementación de medidas de control en el centro de control de motores.....	89
CONCLUSIONES	94
RECOMENDACIONES	96
BIBLIOGRAFIA	98
ANEXOS	99

INDICE DE FIGURAS

	Pag.
1.1 Sistema arrancador para un motor.....	2
1.2 Personal trabajando en barras principales.....	4
1.3 Trabajador que es afectado por una descarga de arco.....	6
1.4 Prueba de arco – efectos producidos.....	7
1.5 Fronteras de aproximación y protección a la descarga.....	8
1.6 Diagrama ilustrativo de las fronteras de aproximación.....	9
1.7 Representación grafica del riesgo.....	25
3.1 Diagrama eléctrico del sistema para el análisis.....	46
5.1 Etiqueta de advertencia que se debe colocar en el punto de análisis de arco eléctrico P1.....	73
5.2 Etiqueta de advertencia que se debe colocar en el punto de análisis de arco eléctrico P2.....	74
5.3 Etiqueta de advertencia que se debe colocar en el punto de análisis de arco eléctrico P3.....	75
5.4 Formato de aislación y bloqueo implementado en los procesos de seguridad industrial.....	77
5.5 Centro de carga.....	79

5.6	Diagrama del circuito del interruptor principal.....	83
5.7	EPP Para la descarga de arco eléctrico de acuerdo con la NFPA70E	88

INDICE DE TABLAS

I	Niveles de ruido y tiempo de exposición.....	13
II	Probabilidad de sobrevivir en las personas de acuerdo a su edad.....	14
III	Condiciones para las que se aplica en estándar IEEE 1584-2002.....	15
IV	Factor de distancia (x).....	18
V	Fronteras de acercamiento a partes energizadas.....	22
VI	Determinación del nivel de deficiencia.....	29
VII	Cuestionario de chequeo.....	31
VIII	Determinación del nivel de exposición.....	32
IX	Determinación del nivel de probabilidad.....	33
X	Significado de los diferentes niveles de probabilidad.....	34
XI	Determinación del nivel de consecuencias.....	34
XII	Determinación del nivel de riesgo.....	35
XIII	Significado del nivel de intervención.....	35
XIV	Equipos instalados en el sistema.....	47
XV	Corriente de falla en el punto de estudio.....	48

XXVI	Hoja de cálculo para la corriente de arco.....	50
XXVII	Hoja de cálculo para la energía incidente normalizada.....	51
XXVIII	Hoja de cálculo para la energía incidente	52
XIX	Hoja de cálculo para la frontera de protección.....	53
XX	Hoja de resultados.....	54
XXI	Tarea 1. Operación del MCC.....	62
XXII	Tarea 2. Mantenimiento del MCC.....	63
XXIII	Tarea 3. Toma de datos de operación del sistema.....	64
XXIV	Resultados de la valoración de riesgos para la aplicación propuesta.....	65
XXV	Tarea 1. Operación del MCC, una vez que se aplican las respectivas correcciones.....	90
XXVI	Tarea 2. Mantenimiento del MCC, una vez que se aplican las respectivas correcciones.....	91
XXVII	Resultados de la valoración de riesgo para la aplicación propuesta (MCC), una vez que se realizan las correcciones a los sistemas.....	92

ABREVIATURAS

MCC	:	Centro de control de Motores
BT	:	Baja tensión
KV	:	Kilovoltios
V	:	Voltios
NFPA	:	Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (EEUU)
IEEE	:	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
KA	:	Kiloamperios
NEC	:	Código Eléctrico Nacional
OSHA	:	Asociación para la Seguridad y Salud Ocupacional
ASTM	:	Sociedad Americana para pruebas y Materiales
AC	:	Corriente Alterna
DC	:	Corriente Directa

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se lo ha desarrollado con la finalidad de analizar la Seguridad Eléctrica y Peligros del Arco Eléctrico existentes en un Centro de Control de Motores en una Planta de Generación.

El objetivo es dar una correcta orientación a la operación y mantenimiento de los equipos, considerando todos los procedimientos, desechando los malos hábitos y tomando en cuenta las Leyes y Normas existentes, con lo cual se mejora la Seguridad Eléctrica Industrial de la Planta.

El método empleado para la realización de este trabajo es primero un análisis teórico del arco eléctrico, luego una revisión de las leyes y normas existentes que regulan el trabajo en instalaciones eléctricas. Procedemos a realizar el cálculo de las distancias de seguridad, con estos resultados evaluamos los riesgos existentes en el Centro de Control de Motores identificando las deficiencias existentes en las actividades de Toma de Datos, Operación y

Mantenimiento de los Equipos y obtenemos los niveles de riesgo que existen en cada actividad que se realiza en el Centro de Control de Motores.

Nuestro interés de realizar este estudio de la Seguridad Eléctrica y Peligros del Arco Eléctrico fue conocer más acerca de este fenómeno físico y de esta forma poder aplicarlo a la Operación y Mantenimiento de un Centro de control de motores, para poder evaluar las actividades que se realizan diariamente, identificar los problemas existentes y corregirlos para asegurar así un trabajo seguro, de esta forma cumpliremos el sabio adagio que dice una familia de un trabajador eléctrico (que llegues a casa tal como sales a tu trabajo).

CAPITULO I

1. MARCO TEORICO

1.1 El Arco Eléctrico

Un arco eléctrico es una transmisión de corriente eléctrica a través del aire entre un conductor vivo expuesto a otro o a tierra. Produce temperaturas extremadamente altas, intenso calor radiante, explosiones sonoras y ondas de presión, destellos de luz intensa. Dependiendo de la intensidad del arco eléctrico, este puede ser catastrófico.

Las causas por la que se produce una falla de arco eléctrico en una instalación pueden ser:

- Evolutivas
- Mecánicas
- Por sobre tensiones

1.1.1 Causas Evolutivas

Las causas evolutivas son consecuencia de un debilitamiento de la resistencia de aislamiento entre fases o entre fases y tierra, este debilitamiento puede ser por la formación de depósitos, impurezas, polvo, corrosión, etc.



Figura 1.1: Sistema arrancador para un motor

Fuente: Panel de control MCC central térmica

Se observa este tipo de fenómeno en instalaciones que tiene procesos de producción por periodos largos, ya que debido a esto no se aplican los procesos de mantenimientos respectivos.

La degradación progresiva del aislamiento puede igualmente deberse a un calentamiento en terminales, cables, por ejemplo, por una mala conexión o por un aflojamiento progresivo de un borne. La elevación de la temperatura en un punto próximo a uno defectuoso puede inducir a la descomposición de los aislantes cercanos, y como consecuencia producirse una descarga de arco.

1.1.2 Causas Mecánicas

Las causas mecánicas se deben a la intervención de un elemento ajeno a la propia estructura de la instalación, este es el caso de intervenciones inadecuadas del personal de mantenimiento, no siempre se respetan estrictamente las normas que fijan precauciones a tomar en caso de actuaciones en partes bajo tensión.



Figura 1.2: Personal trabajando en barras principales

Fuente: Internet: prevenciongr1.wordpress.com

Se observa por ejemplo, que para no perturbar el funcionamiento general de una instalación, un electricista que tiene que realizar una verificación, abre los paneles posteriores de un MCC, y sobre el juego de barras se pone a trabajar, pensando que tendrá suficiente cuidado, si una herramienta se resbala y escapa de las manos, está cae sobre las barras, y se produce una descarga de arco con consecuencia de quemaduras serias para el trabajador imprudente.

1.1.3 Por Sobre-tensiones

Cuando el espacio de aire entre conductores de diferentes fases es muy estrecho (debido a la mala calidad del diseño o al daño de los conductores), el arco puede ocurrir durante una sobretensión temporal.

Algunas sobretensiones de valores elevados, pueden producir descargas en paneles bien diseñados e instalados. En la red de BT pueden encontrarse valores de hasta 8 o 10KV. Por ejemplo cuando se energizan o des-energizan los transformadores. La instalación de limitadores de sobretensión en los bornes de BT, es el mejor medio de protegerse contra este tipo de incidentes.

1.2 Naturaleza del Arco Eléctrico



Figura 1.3 Trabajador que es afectado por una descarga de arco.

Fuente: Internet: bluestoneconstruct.com

El arco eléctrico produce algunas de las mayores temperaturas conocidas que ocurren en la tierra, alrededor de 35,000 grados Fahrenheit, ósea aproximadamente unas cuatro veces la temperatura superficial del sol. El intenso calor del arco causa la expansión súbita del aire. Esto resulta en una explosión con muy alta presión. Todos los materiales conocidos son evaporizados a esta temperatura. Cuando los

materiales son evaporizados, estos se expanden en volumen (Cobre - 67,000 veces; Agua – 1670 veces). La explosión puede propagar el metal derretido en el aire a altas velocidades y con gran fuerza por lo que si tenemos una persona en el contorno sufriría serios daños o la muerte.

En el grafico siguiente se puede apreciar la naturaleza del arco eléctrico.

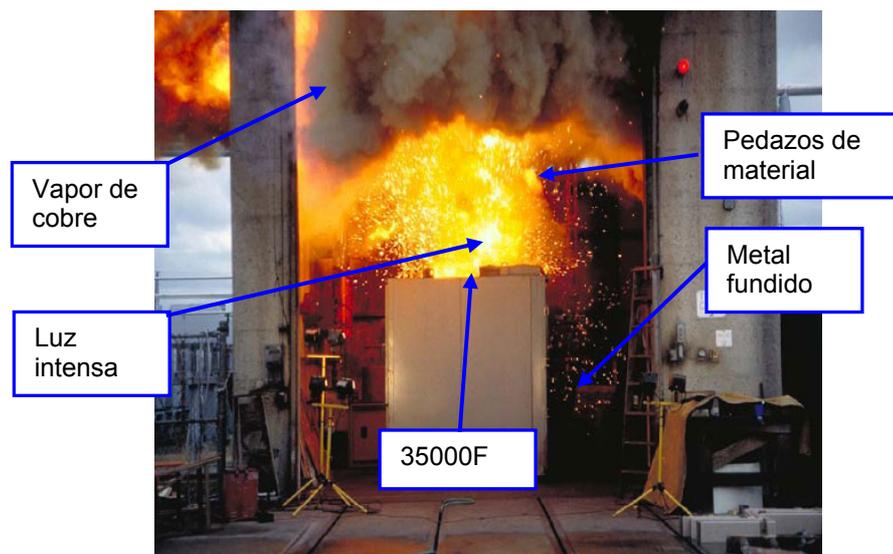


Figura 1.4 Prueba de arco - efectos producidos.

Fuente: Internet: www.electrophysics.com

1.3 Fronteras de aproximación y protección a la descarga de arco eléctrico.

Las fronteras de aproximación y protección a la descarga de arco, han sido analizadas y creadas para eliminar los riesgos que se generan por realizar trabajos cerca de equipos energizados, las mismas son calculadas de acuerdo a los diferentes parámetros eléctricos y condiciones de trabajo requeridas.

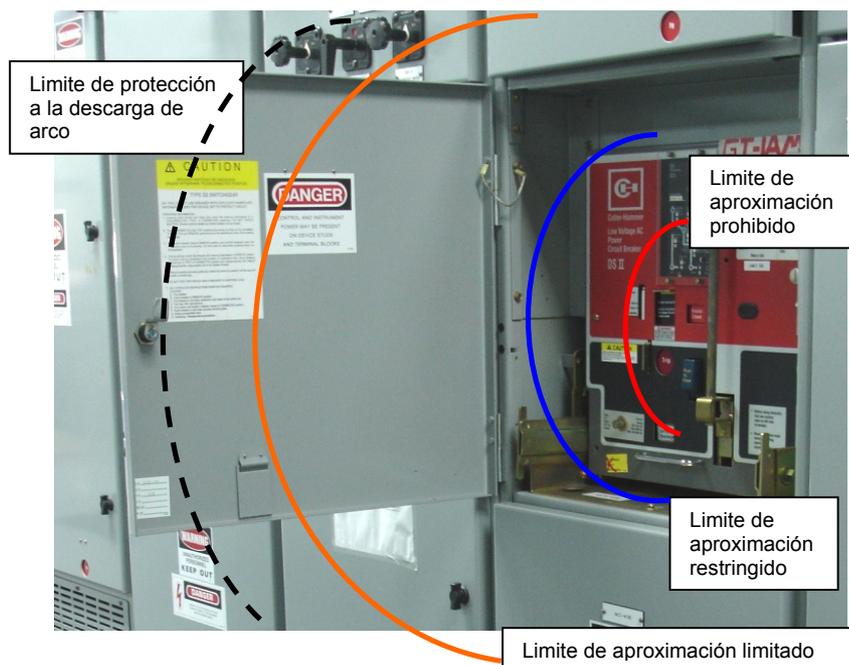


Figura 1.5. Fronteras de aproximación y protección a la descarga

Fuente: Barras principales MCC 480V Central térmica

La frontera de protección contra la descarga de arco, es variable ya que como se mencionó anteriormente depende de la condiciones del trabajo que se va a realizar, para ello de acuerdo a los resultados de los cálculos el trabajador deber utilizar el equipo de protección personal adecuado, así como también deben existir señales de aviso para advertir de los peligros inherentes cuando se realizan trabajos en instalaciones eléctricas.

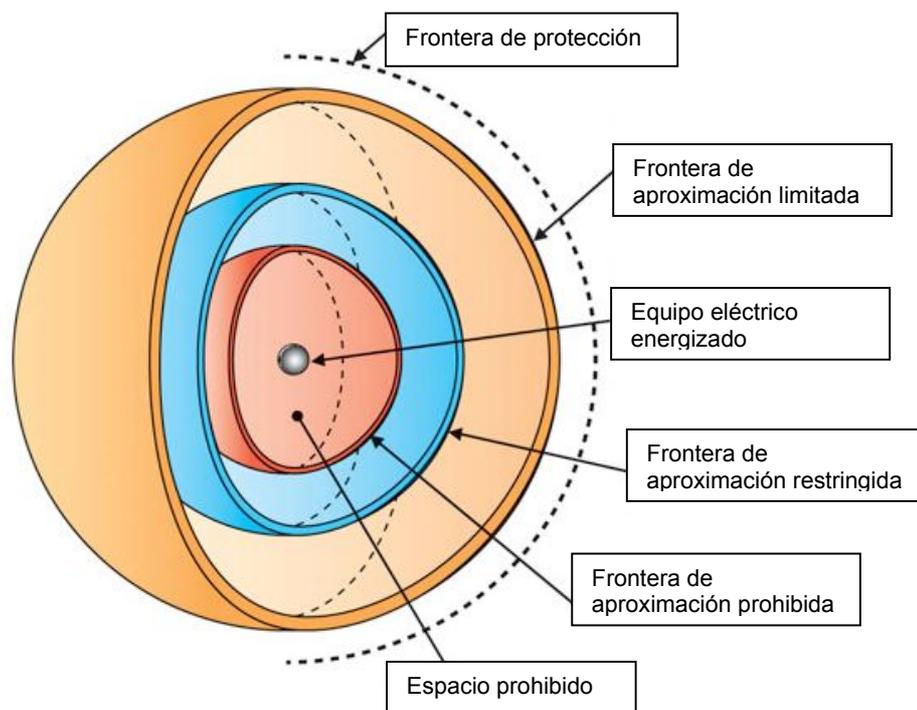


Figura 1.6: Diagrama ilustrativo de las fronteras de aproximación.

Fuente: NFPA 70E edición 2004, Figura C.1.2.4

1.3.1 Frontera de protección a la descarga de arco.

Se considera el límite de acercamiento para el cual una persona podría estar expuesta a recibir una descarga de arco, la misma que le causaría una quemadura de segundo grado, que es considerada como curable.

1.3.2 Frontera de aproximación limitada

Se define como el límite de acercamiento a equipos o líneas energizadas, al que no se debería exponer personal no calificado sin la compañía de personal calificado.

1.3.3 Frontera de aproximación restringida

Se considera como el límite de acercamiento a partes energizadas, para la cual el riesgo de recibir una descarga se incrementa por un contacto involuntario, ya sea por un mal movimiento, se considera también el riesgo de recibir un choque eléctrico.

1.3.4 Frontera de aproximación prohibida

Se define como la distancia de acercamiento donde el trabajo que se esta realizando se considera como que si se estuviera haciendo contacto con las partes energizadas.

1.4 Riesgos del Arco Eléctrico

El arco eléctrico es un peligro inminente que tienen los trabajadores que están relacionados con la parte eléctrica, esto tiene muchos riesgos, los mismos que pueden ser reducidos si se aplican procesos adecuados y el uso de normas para todas estas actividades.

Los riesgos a que se genere un arco eléctrico están relacionados con el diseño y sus factores que son: calidad de los aislantes, distancias mínimas de aislamiento, apriete adecuado de las conexiones, rigidez de las barras entre los soportes, dimensión de la barras para soportar eventuales sobre-intensidades, accesibilidad de animales a las partes con tensión.

También tenemos factores como entrada intempestiva de agua o de vapor en un panel, vibraciones excesivas provocadas por la proximidad de ciertas máquinas.

Los riesgos a la descarga de arco tiene un valor significativo cuando interviene personal en partes o equipos energizados, si el personal que lo realiza no está calificado, no tiene la buena predisposición para seguir los procedimientos, y no tiene el uso de las buenas prácticas de seguridad industrial.

Quemaduras fatales pueden ocurrir cuando hay una víctima de una descarga de arco eléctrico. Quemaduras serias pueden resultar a una distancia de 10 pies. Se han realizado pruebas que demuestran que las temperaturas alcanzan valores superiores a los 437F cerca del cuello y las manos de una persona que se encuentre cerca de una determinada zona de influencia del arco eléctrico.

La descarga de arco produce el desprendimiento de material derretido, el mismo que es disparado a altas velocidades, estos pueden atravesar las partes del cuerpo fácilmente.

Las personas están en riesgo de perder la audición debido al nivel de ruido que se genera en la descarga de arco, el sonido puede alcanzar niveles superiores a los 140 dB a una distancia de 2 pies del arco.

	Duración por día	Nivel dBA		Duración por día	Nivel dBA
Horas	24	80	Segundos	28.12	115
	16	82		14.06	118
	8	85		7.03	121
	4	88		3.52	124
	2	91		1.76	127
	1	94		0.88	130
Minutos	30	97		0.44	133
	15	100		0.22	136
	7.5	103		0.11	139
	3.75	106			
	1.88	109			
	0.94	112			

Tabla I. Niveles de ruido y tiempos de exposición

Fuente: Libro de la AGCIH 2007

Por el calor que se genera la ropa se puede incendiar a algunos pies de distancia. Los lugares del cuerpo que están cubiertos por la ropa pueden ser afectados con daños más serios que las que no están cubiertas.

Las ondas de presión que se generan pueden expulsar a una persona a una distancia considerable, esta presión puede alcanzar valores superiores a las 2000 lbs/pies².

1.4.1 Probabilidad de sobrevivir

La siguiente tabla muestra la probabilidad de sobrevivir de una persona de acuerdo a su edad y porcentaje de quemaduras en el cuerpo.

Probabilidad de sobrevivir %	Rango de Edad			
	20-29.9	30-39.9	40-49.9	50-59.9
10				75%
20				
30			75%	
40				
50		75%		
60	75%			50%
70			50%	
80				
85		50%		
90	50%		25%	25%
100	25%	25%		

Tabla II. Probabilidad de sobrevivir en las personas de acuerdo a su edad.

Fuente: Internet: Easypower.com

1.5 Cálculos de los parámetros del arco eléctrico.

1.5.1 Cálculos de acuerdo con el Estándar de la IEEE 1584-2002.

Los siguientes procedimientos son recomendados por el estándar IEEE 1584-2002 en la evaluación del peligro a la descarga de arco eléctrico. Las ecuaciones empíricas fueron desarrolladas por un grupo de trabajo de IEEE en el estudio del arco eléctrico. Estas ecuaciones están basadas en resultados de pruebas y son aplicables de acuerdo a las siguientes condiciones.

Parámetro	Rango Aplicable
Voltaje del sistema (KV)	0.208 a 15 KV
Frecuencia (Hz)	50 a 60 Hz
Corriente de falla (KA)	0.7 a 106KA
Distancia entre fases (mm)	13 a 152 mm
Tipo de encapsulado	Abierto, caja, MCC, Panel, subestación, cables
Tipo de conexión a tierra	No conectado a tierra, conectado a tierra, resistencia a tierra alta
Fases	Falla trifásica

Tabla III: Condiciones para las que se aplica el estándar IEEE-1584-2002

Fuente: Internet: Easypower.com

1.5.1.1 Corriente de arco

Para sistemas de bajo voltaje (<1KV), la corriente de arco está dada por la ecuación (1.1).

$$I_a = 10^{\{K+0.662\log(I_{bf})+0.0966V+0.000526G+0.5588V*\log(I_{bf})-0.00304G*\log(I_{bf})\}}$$

(1.1)

Donde:

Log es el logaritmo de base 10

I_a = Corriente de arco (KA)

K= -0.153; configuración abierta

-0.097; configuración cerrada

I_{bf} = Corriente de falla (simétrica RMS) (KA)

V= Voltaje del sistema (KV)

G= Distancia entre conductores (mm)

Para sistemas de voltaje medio (>1KV), la corriente de arco está dada por la ecuación (1.2).

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

(1.2)

1.5.1.2 Energía incidente normalizada

La energía incidente normalizada, basado en una duración del arco de 0.2 segundos y 610 mm de distancia en frente del arco, está dada por la ecuación (1.3).

$$En = 10^{\{K1+K2+1.081*\log(Ia)+0.0011G\}} \quad (1.3)$$

Donde:

En= Energía incidente normalizada para el tiempo y la distancia (J/cm²)

K1= -0.792; configuración abierta
-0.555; configuración cerrada

K2= 0; sistemas sin conexión a tierra o con resistencia a tierra alta.

-0.113; sistemas aterrizados

G= Distancia entre conductores (mm)

1.5.1.3 Energía incidente

La energía normalizada es utilizada para obtener la energía incidente para una superficie normal, a una distancia del arco dada y un tiempo de duración de arco de acuerdo a la ecuación (1.4)

$$E = 4.184 * Cf * En \left(\frac{t}{0.2} \right) \left(\frac{610}{D} \right)^x \quad (1.4)$$

Donde:

E= Energía incidente (J/cm²)

Cf= Factor = 1.0; voltaje > 1KV

1.5; voltaje < 1KV

t= Tiempo de duración del arco (segundos)

D= Distancia de trabajo frente al arco (mm)

x= Factor de distancia (Tabla 1.4)

Tipo de panel	0.208 a 1KV	>1KV
Abierto	2	2
Subestación	1.473	0.973
MCC y paneles	1.641	
Cable	2	2

Tabla IV. Factor de distancia (x)

Fuente: Internet: Easypower.com

1.5.1.4 Frontera de protección a la descarga de arco

El límite de protección a la descarga de arco es la distancia para la cual una persona sin equipo de protección personal (EPP), puede sufrir una quemadura de segundo grado que es curable.

$$D_B = 610 * \left[4.184 C_f E_n \left(\frac{t}{0.2} \right) \left(\frac{1}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}} \quad (1.5)$$

Donde

DB= Distancia desde el punto de arco hasta la frontera de protección (mm)

Cf= Factor= 1.0; voltaje >1KV
1.5; voltaje <1KV

En= Energía incidente normalizada

EB= Energía incidente en el límite de protección (J/cm²)

t= Tiempo de duración del arco

x= Factor de distancia como se muestra en la tabla (1.4).

1.5.2 Cálculos de acuerdo con la norma NFPA 70E Anexo B

Límite de protección a la descarga

El valor teórico del poder del arco eléctrico en MW es la mitad de la corriente de falla trifásica en MVA, esto ocurre cuando la corriente de arco es 70.7% de la corriente de falla. Basado en esto, los límites de protección se calculan de la siguiente forma:

$$D_B = \sqrt{2.65 * 1.732 * V * I_{bf} * t} \quad (1.6)$$

Donde:

DB= Límite de protección medido desde donde se genera el arco
(mm)

V= Voltaje nominal de línea a línea (KV)

I_{bf}= Corriente de falla (KA)

T= Tiempo de duración del arco (segundos)

Energía incidente

Configuración abierta, voltaje menor que 0.6KV y corriente de corto circuito entre 16 y 50KA.

$$E = 5271D^{-1.9593}t[0.0016* lbf^2 - 0.0076* lbf + 0.8938] \quad (1.7)$$

Configuración cerrada, voltaje menor que 0.6KV y corriente de corto circuito entre 16 y 50KA.

$$E = 1038.7D^{-1.4738}t[0.0093* lbf^2 - 0.3453* lbf + 5.9675] \quad (1.8)$$

Configuración abierta para un voltaje mayor que 0.6KV

$$E = 793D^{-2}Vlbf t \quad (1.9)$$

Donde:

E= Energía incidente (cal/cm²)

lbf= Corriente de falla (KA)

t= Tiempo de duración del arco.

D= Distancia de trabajo desde el arco (in)

1.5.3 Tablas de la NFPA 70E

Voltaje Nominal del sistema L-L	Frontera de acercamiento limitado		Frontera de acercamiento restringido	Frontera de acercamiento prohibido
	Conductor movable expuesto	Partes de circuitos expuestas		
<50	No especificado	No especificado	No especificado	No especificado
50 – 300V	10ft 0in	3ft 6in	Evitar contacto	Evitar contacto
301 – 750V	10ft 0in	3ft 6in	1ft 0in	0ft 1in
751 – 15KV	10ft 0in	5ft 0in	2ft 2in	0ft 7in
15.1 – 36KV	10ft 0in	6ft 0in	2ft 7in	0ft 10in
36.1 – 46KV	10ft 0in	8ft 0in	2ft 9in	1ft 5in
46.1 – 72.5KV	10ft 0in	8ft 0in	3ft 2in	2ft 1in
72.6 – 121KV	10ft 8in	8ft 0in	3ft 3in	2ft 8in
138 – 145KV	11ft 0in	10ft 0in	3ft 7in	3ft 1in
161 – 169KV	11ft 8in	11ft 8in	4ft 0in	3ft 6in
230 – 242KV	13ft 0in	13ft 0in	5ft 3in	4ft 9in
345 – 362KV	15ft 4in	15ft 4in	8ft 6in	8ft 0in
500 – 550KV	19ft 0in	19ft 0in	11ft 3in	10ft 9in
765 – 800KV	23ft 9in	23ft 9in	14ft 11in	14ft 5in

Tabla V. Fronteras de acercamiento a partes energizadas.

Fuente: NFPA 70E edición 2004. Tabla 130.2(C).

1.5.4 Presión generada por la explosión de una descarga de arco

Otro parámetro que se debe considerar en un arco eléctrico es la energía que se disipa producida por la explosión. Este peligro no está siendo considerado en la norma NFPA o en la IEEE 1584-2002, esta fuerza es significativa y puede expulsar a un trabajador del lugar donde se ha generado la descarga, con la posibilidad de causar heridas inclusive de mayor consideración que una quemadura. Si bien es cierto que ser expulsado reduce el peligro a un electricista de estar expuesto a la radiación del calor y al cobre derretido, esto puede causar heridas por caídas e impactos. Para realizar el cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

$$P = \frac{11.58 * I_{arc}}{D^{0.9}} \quad (1.10)$$

Donde:

P= Presión (Lb/ft²)

D= Distancia al lugar del arco (ft)

I_{arc}= Corriente de arco (KA)

1.6 Evaluación de los riesgos y peligros.

Para realizar la valoración de los riesgos eléctricos a la descarga de arco utilizaremos la nota técnica NTP 330: Sistema simplificado de evaluación de riesgos de accidente, pese a que solo es una guía metodológica a la que se le han de agregar instrumentos de medida, esto son los cuestionarios de chequeo con factores de riesgo de peso pre asignado, para convertirla en un método.

1.6.1 El riesgo

A fin de establecer prioridades para la eliminación y control de riesgos, es necesario disponer de metodologías para su evaluación. Aunque todos los riesgos pueden ser evaluados y reducidos si se emplean los suficientes recursos (personal, tiempo de dedicación, materias, etc.) estos serán siempre limitados. Por lo cual aquí utilizaremos la nota técnica NTP 330, que con pocos recursos podremos detectar muchas situaciones de riesgo y, en consecuencia eliminarlas.

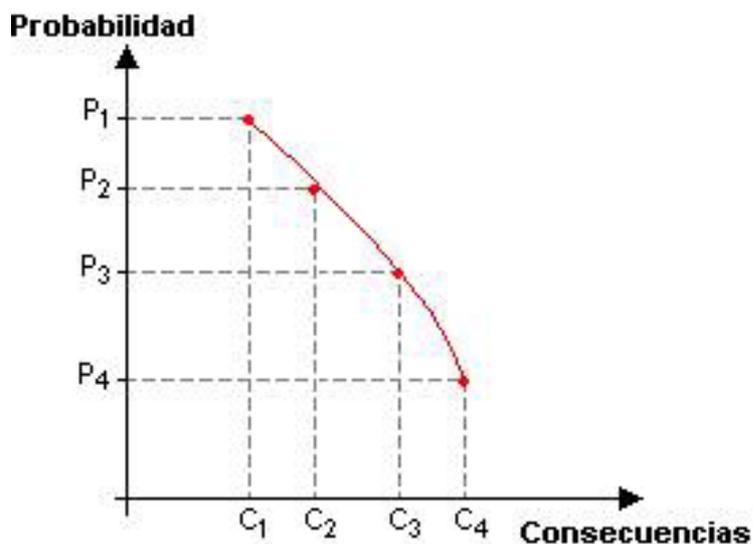


Figura 1.7: Representación grafica del riesgo

Fuente: Ministerio de trabajo y asuntos sociales ESPANA

Probabilidad y consecuencias son los dos factores cuyo producto determina el riesgo, que se define como: combinación de la frecuencia o probabilidad y de las consecuencias que pueden derivarse de la materialización del peligro.

1.6.2 Probabilidad

La probabilidad de un accidente puede ser determinada en términos precisos en función de las probabilidades del suceso

inicial que lo genera y de los siguientes sucesos desencadenantes. Tengamos en cuenta que cuando hablamos de accidentes laborales, en el concepto probabilidad está integrado el término exposición de las personas al riesgo. Así por ejemplo, la probabilidad de caída en un pasillo debido al agua derramada, dependerá de que se produzca un derrame y del tiempo de exposición de la persona a tal factor de riesgo. Por ello, es frecuente en métodos simplificados de evaluación ambos términos.

1.6.3 Consecuencias

La materialización de un riesgo puede generar consecuencias diferentes (C_i), cada una de ellas con su correspondiente probabilidad (P_i). Así por ejemplo, ante una caída al mismo nivel al circular por un pasillo resbaladizo, las consecuencias normalmente esperables son leves (magulladuras, contusiones, etc.), pero, con una probabilidad menor, también podrían ser graves o incluso mortales.

El daño esperable (promedio) de un accidente vendría así determinado por la expresión:

$$\text{Daño esperado} = \sum_i P_i C_i \quad (1.11)$$

1.7 Metodología

La metodología que presentamos permite cuantificar la magnitud de los riesgos existentes y, en consecuencia, jerarquizar racionalmente su prioridad de corrección. Para ello se parte de la detección de las deficiencias existentes en los lugares de trabajo para, a continuación, estimar la probabilidad de que ocurra un accidente y, teniendo en cuenta la magnitud esperada de las consecuencias, evaluar el riesgo asociado a cada una de dichas deficiencias.

El nivel de riesgo (NR) será por su parte función del nivel de probabilidad (NP) y del nivel de consecuencia (NC) y puede expresarse como:

$$NR = NP \times NC \quad (1.12)$$

1.7.1 Procedimiento a seguir

1. Consideración del riesgo a analizar.
2. Elaboración del cuestionario de chequeo sobre los factores de riesgo que posibiliten su materialización.
3. Asignación del nivel de importancia a cada uno de los factores de riesgo.
4. Complementación del cuestionario de chequeo en el lugar de trabajo y estimación de la exposición y consecuencias normalmente esperables.
5. Estimación del nivel de deficiencia del cuestionario aplicado (Tabla VI).
6. Estimación del nivel de probabilidad a partir del nivel de deficiencia y del nivel de exposición (Tablas VIII y IX).
7. Contraste del nivel de probabilidad a partir de datos históricos disponibles.
8. Estimación del nivel de riesgo a partir del nivel de probabilidad y del nivel de consecuencias (Tabla XII).

9. Establecimiento de los niveles de intervención (Tabla XIII) considerando los resultados obtenidos y su justificación socio-económica.
10. Contraste de los resultados obtenidos con los estimados a partir de fuentes de información precisas y de la experiencia.

1.7.2 Nivel de deficiencia

Nivel de deficiencia	ND	Significado
Muy deficiente (MD)	10	Se han detectado factores de riesgo significativos que determinan como muy posible la generación de fallos. El conjunto de medidas preventivas existentes respecto al riesgo resulta ineficaz
Deficiente (D)	6	Se ha detectado algún factor de riesgo significativo que precisa ser corregido. La eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes se ve reducida de forma apreciable.
Mejorable (M)	2	Se han detectado factores de riesgo de menor importancia. La eficacia del conjunto del conjunto de medidas existentes respecto al riesgo no se ve reducida de forma apreciable
Aceptable (A)	-	No se ha detectado anomalía destacable alguna. El riesgo está controlado. No se valora.

Tabla VI. Determinación del nivel de deficiencia

Fuente: Ministerio de trabajo y asuntos sociales ESPANA

CRITERIOS DE VALORACIÓN

Se valorará como MUY DEFICIENTE cuando se responda NO a las cuestiones 5, 5.1, 5.2, 5.4.

Se valorará la situación como DEFICIENTE cuando no siendo muy deficiente se ha respondido negativamente a la cuestión 1, 1.1, 1.2, 1.3, 4, 4.1, 4.2.

Se valorará como MEJORABLE cuando siendo no muy deficiente y deficiente se haya respondido no a las cuestiones 2, 2.1, 2.2.

Se valorará como ACEPTABLE en los demás casos.

A continuación se muestra la tabla de cuestionario que hemos realizado de acuerdo a nuestra aplicación – Tabla VII.

Pregunta	SI	NO
1.- Las herramientas están ajustadas al trabajo a realizar		
1.1.- Las herramientas tienen el nivel de aislamiento adecuado		
1.2.- Los equipos de pruebas y medición son idóneos para la tarea a realizar.		
1.3.- Las herramientas de trabajo tienen la respectiva certificación		
2.- Los equipos tienen el respectivo etiquetado y señalización		
2.1 Están indicados los parámetros eléctricos de operación		
2.2 Se encuentran marcados los límites de frontera de protección a la descarga de arco y el nivel de equipo de protección personal que se requiere		
4.- Existe el equipo de protección personal requerido para la tarea		
4.1.- El equipo esta en buenas condiciones de funcionamiento		
4.2.- Se realiza el correcto mantenimiento y almacenamiento del EPP		
5.- Se observan hábitos correctos de trabajo		
5.1 Los trabajadores aplican los respectivos procedimiento de bloqueo y aislamiento		
5.2 Los trabajadores están adiestrados para trabajar con tensión.		
5.3 Los trabajadores tienen certificación de estar calificados para el trabajo en el área eléctrica		
5.4 Los trabajadores reciben un entrenamiento continuo		

Tabla VII: Cuestionario de chequeo

Fuente: Realizada en el presente trabajo

1.7.3 Nivel de exposición

El nivel de exposición está determinado por la frecuencia con que una persona llega al lugar en el que podría existir un incidente.

Nivel de exposición	NE	Significado
Continuada (EC)	4	Continuamente. Varias veces en su jornada
Frecuente (EF)	3	Varias veces en su jornada laboral, aunque sea con tiempos cortos.
Ocasional (EO)	2	Alguna vez en su jornada laboral y con periodo corto de tiempo
Esporádica (EE)	1	Irregularmente

Tabla VIII. Determinación del nivel de exposición

Fuente: Ministerio de trabajo y asuntos sociales ESPANA

1.7.4 Nivel de probabilidad

La probabilidad de ocurrencia de un evento está determinada por la multiplicación del nivel de deficiencia y el nivel de exposición.

		Nivel de exposición (NE)			
		4	3	2	1
Nivel de deficiencia (ND)	10	MA-40	MA-30	A-20	A-10
	6	MA-24	A-18	A-12	M-6
	2	M-8	M-6	B-4	B-2

Tabla IX. Determinación del nivel de probabilidad

Fuente: Ministerio de trabajo y asuntos sociales ESPANA

Con los resultados de la Tabla IX, se utiliza la Tabla X, para tener o dar un significado al valor de probabilidad obtenido.

Nivel de probabilidad	NP	Significado
Muy alta (MA)	Entre 40 y 24	Situación deficiente con exposición continua, o muy deficiente con exposición frecuente. Normalmente la materialización del riesgo ocurre con frecuencia.
Alta (A)	Entre 20 y 10	Situación deficiente con exposición frecuente u ocasional, o bien situación muy deficiente con exposición ocasional o esporádica. La materialización del riesgo es posible que suceda varias veces en el ciclo de vida laboral.
Media (M)	Entre 8 y 6	Situación deficiente con exposición esporádica, o bien situación mejorable con exposición continuada o frecuente. Es posible que suceda el daño alguna vez.
Baja (B)	Entre 4 y 2	Situación mejorable con exposición ocasional o esporádica. No es esperable que se materialice el riesgo, aunque puede ser concebible.

Tabla X. Significado de los diferentes niveles de probabilidad

Fuente: Ministerio de trabajo y asuntos sociales ESPAÑA

1.7.5 Nivel de consecuencias

Nivel de consecuencias	NC	Significado	
		Danos personales	Danos materiales
Mortal o Catastrófico (M)	100	1 o más	Destrucción total del sistema (difícil repararlo)
Muy Grave (MG)	60	Lesiones graves que pueden ser irreparables	Destrucción parcial del sistema (compleja y costosa la reparación)
Grave (G)	25	Lesiones con incapacidad laboral transitoria (I.L.T.)	Se requiere paro de proceso para efectuar la reparación
Leve (L)	10	Pequeñas lesiones que no requieren hospitalización	Reparable sin necesidad de paro del proceso

Tabla XI. Determinación del nivel de consecuencias

Fuente: Ministerio de trabajo y asuntos sociales ESPAÑA

1.7.6 Nivel de riesgo y nivel de intervención

		Nivel de probabilidad (NP)			
		40-24	20-10	8-6	4-2
Nivel de consecuencias (NC)	100	I 4000-2400	I 2000-1200	I 800-600	II 400-200
	60	I 2400-1440	I 1200-600	II 480-360	II 240 III 120
	25	I 1000-600	II 500-250	II 200-150	III 100-50
	10	II 400-240	II 200 III 100	III 80-60	II 40 IV 20

Tabla XII. Determinación del nivel de riesgo $NR=NP \times NC$

Fuente: Ministerio de trabajo y asuntos sociales ESPANA

Nivel de intervención	NR	Significado
I	4000-600	Situación crítica. Corrección urgente
II	500-150	Corregir y adoptar medidas de control
III	120-40	Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad
IV	20	No intervenir, salvo que en un análisis más preciso lo justifique.

Tabla XIII. Significado del nivel de intervención.

Fuente: Ministerio de trabajo y asuntos sociales ESPANA

CAPITULO II

2. LEGISLACION Y NORMAS

2.1 Reglamento del ministerio del trabajo 2393

Reglamento de Seguridad del Trabajo contra riesgos en instalaciones de energía eléctrica.

CAPITULO 2: Normas de seguridad para el personal que interviene en la operación y mantenimiento de instalaciones eléctricas.

2.1.1 Artículo 12.- Trabajos en instalaciones eléctricas sin tensión.

2.1.2 Artículo 13.- Intervención en instalaciones sin tensión bajo tierra, en ductos, canales y bandejas.

2.1.3 Artículo 14.- Intervención en instalaciones eléctrica energizadas.

El detalle de cada uno de los artículos se encuentra en la sección de anexos.

2.2 CPE INEM 019 (CODIGO ELÉCTRICO NACIONAL)

SECCIÓN 110: REQUISITOS PARA LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS.

2.2.1 110.16 Espacio alrededor de los equipos eléctricos (para 600V nominales o menos).- Alrededor de todos los equipos eléctricos se proveerá y mantendrá suficiente espacio de acceso y trabajo. Para así permitir la operación segura y mantenimiento.

2.2.2 110.18 Partes que pueden formar arcos eléctricos.- Las partes del equipo eléctrico que en su funcionamiento normal puedan formar arcos, chispas, llamas o puedan fundir metal se deben encerrar, separar y aislar de cualquier material combustible.

2.3 Código eléctrico nacional de estados unidos (NEC 2008) NFPA70

2.3.1 Artículo 110.16 Protección contra la descarga de arco.

Equipos eléctricos, como paneles de distribución, paneles de control industrial, compartimientos de medidores, y centros de control de motores que son de servicio continuo, y que requieran de inspección, ajustes, servicio o mantenimiento mientras están energizados tienen que estar marcados para alertar al personal calificado de los peligros potenciales de la presencia de un arco eléctrico. Las marcas tienen que estar muy visibles para las personas calificadas antes de realizar la inspección, ajustes y mantenimiento en los equipos.

2.4 Asociación de protección contra incendios (NFPA 70E)

Estándar para la seguridad eléctrica en el sitio de trabajo – edición 2004.

CAPITULO 1: Prácticas de trabajo seguro

2.4.1 Artículo 110.8; 130.3(A), (B). Análisis de los peligros a la descarga de arco.

2.4.2 Artículo 130.7(C). Requerimientos para el equipo de protección personal.

2.4.3 Artículo 110.8 (B) (2); 130.1(A). Permisos de trabajo.

CAPITULO 2: Requerimiento para realizar mantenimiento con seguridad

2.4.4 Artículo 205.2. Diagrama unificar del sistema eléctrico.

CAPITULO 4: Requerimientos de seguridad en una instalación

2.4.5 Artículo 400.6; 410.9 (B) (1), (2), (3); 410.9(C) (1) ,2. Estudio de coordinación de protecciones.

2.4.6 Artículo 400.11. Señalización para la protección a la descarga de arco.

El detalle de cada uno de los artículos se encuentra en la sección de anexos.

2.5 Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos (IEEE)

2.5.1. IEEE Estándar 1584-2002

Este estándar provee las ecuaciones necesarias y los métodos para calcular los límites de protección y la energía que se genera en la producción de un arco, a los cuales un trabajador puede estar expuesto cuando esta cerca de un equipo energizado.

2.6 Asociación para la seguridad y salud ocupacional (OSHA)

Subparte R: Industrias especiales. Generación de energía eléctrica, transmisión y distribución.

Trabajando cerca de partes energizadas.

2.6.1 OSHA 1910.269 (l) (6) (iii). El empleador debe asegurarse que cada empleado que puede estar expuesto a los peligros de llamas o a la descarga de arco, no este utilizando ropa, de tal forma que si se produce la exposición, está ayude a que la herida sea mayor en el empleado.

Subparte I: Equipo de protección personal.

Requerimientos generales.

2.6.2 OSHA 1910.132(d) (1). El empleador debe hacer una evaluación del lugar de trabajo para determinar si podrían o existen peligros que necesiten el uso de equipo de protección personal. Si es así debe hacer lo siguiente:

2.6.3 OSHA 1910.132(d) (1) (i). Seleccionar a cada empleado que podría ser afectado, y indicarle y tipo de equipo de protección personal que tiene que utilizar de acuerdo a las áreas de peligro identificadas.

2.6.4 OSHA 1910.132(d) (1) (ii). Comunicar de esta selección y evaluación del sitio de trabajo a cada empleado.

2.6.5 OSHA 1910.132(d) (1) (iii). Seleccionar el equipo de protección personal adecuadamente de tal forma que se acomode a cada empleado.

2.6.6 OSHA 1910.132(e). Equipo de protección personal dañado o defectuoso no debe ser utilizado.

2.6.7 OSHA 1910.132(f). Se requiere realizar entrenamiento como: cuando se requiere de equipo de protección personal, que tipo de equipo, como utilizarlo de forma apropiada, y como tener el cuidado, mantenimiento y descarte del mismo. Cada uno de los empleados debe demostrar que tiene claro el entrenamiento. Si realiza un cambio del sitio de trabajo o del equipo de protección personal se requiere realizar un reentrenamiento.

2.7 Sociedad Americana para pruebas y Materiales (ASTM)

Esta sociedad desarrolla estándares que especifican la calidad de varios materiales incluyendo los de seguridad como el equipo de protección personal. Los siguientes estándares son aplicables para el equipo de protección contra la descarga de arco:

2.7.1 ASTM F1506: Especificación de estándares de rendimiento para materiales textiles para prendas de vestir que son utilizadas por trabajadores eléctricos expuestos al riesgo de arco y a los peligros con energía térmica, 2002. Este estándar especifica los requerimientos para la ropa resistente al fuego. El mismo consta de tres requerimientos básicos:

- a.) El material utilizado debe ser capaz de extinguirse por si mismo en menos de 2 segundos después que el fuego ha sido eliminado.
- b.) El material utilizado debe superar el método de prueba ASTM D6413.
- c.) El material utilizado debe ser sometido a la prueba ASTM1959, para determinar el valor de rendimiento térmico al arco (ATPV). Los fabricantes deben entregar a los usuarios finales los resultados de estas pruebas.

2.7.2 ASTM F1959: Estándar para determinar el valor de rendimiento térmico al arco de materiales textiles. Esta prueba determina cuanta energía incidente puede ser bloqueada por el material antes de que la persona que lo esta usando obtenga una quemadura de segundo grado.

2.7.3 ASTM F1449: Guía estándar para el cuidado y mantenimiento de la ropa resistente al fuego, energía térmica, y descarga de arco. Esta guía provee de recomendaciones para el cuidado y mantenimiento de la ropa resistente al fuego y a la energía térmica. Se enfoca especialmente en el tipo de lavados y en los criterios que se deben considerar en el momento de revisar, los cuales determinan la funcionalidad de la misma.

CAPITULO III

3. CÁLCULOS DE LOS PARÁMETROS DEL ARCO ELÉCTRICO PARA UN CENTRO DE CONTROL DE MOTORES.

En el presente estudio vamos a tomar como ejemplo, un centro de control de motores, el mismo que está conformado por un transformador principal, dos barras de alimentación de energía, y varias cargas, como se ilustra en la figura (3.1).

Para nuestro análisis realizaremos el cálculo de los parámetros del arco eléctrico en tres puntos determinados, que son P1, P2, P3, los resultados se ilustraran al final del capítulo. Los cálculos se efectuaran para un solo punto, ya que los mismos se desarrollan en tablas de Excel, pero en la tabla de resultados se listan los valores para los tres puntos.

3.1 Diagrama Eléctrico del sistema.

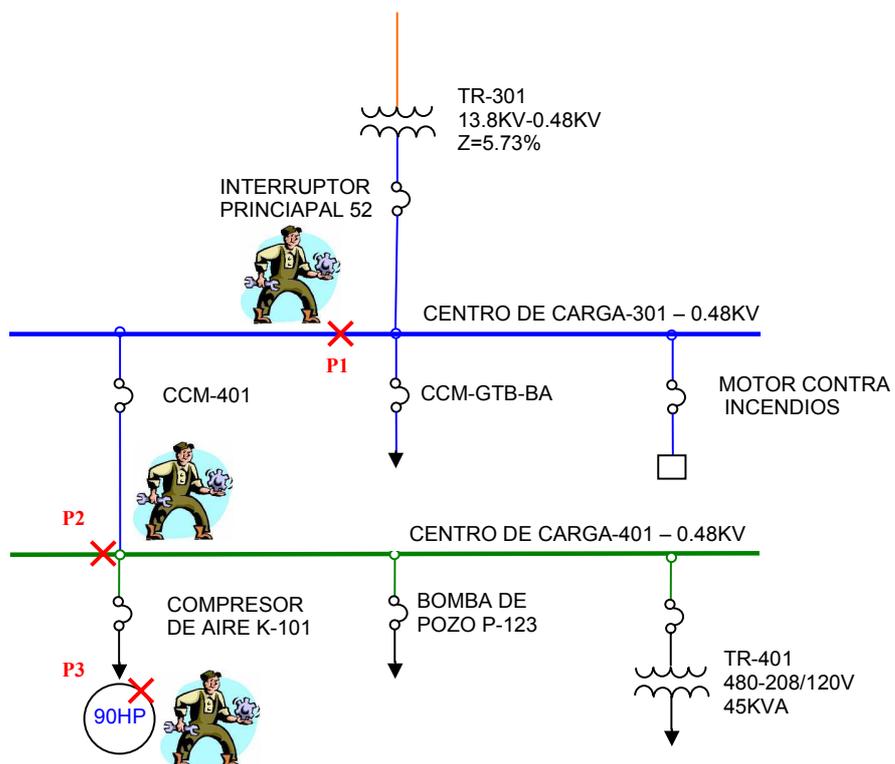


Figura 3.1 Diagrama eléctrico del sistema para el análisis

Fuente: Dibujo realizado tomando datos de la central

3.2 Detalle de los equipos que están instalados en el sistema.

En la tabla XIV se muestran los valores de fábrica de los componentes que están instalados en la barra, para nuestro propósito están listados la capacidad nominal, y capacidad de interrupción de la corriente de falla.

En nuestro caso se ha tomado los valores de la corriente de falla de los datos de información del estudio de corto circuito del sistema, para los tres puntos que serán estudiados. Estos resultados se muestran en la tabla XV.

Equipo	Capacidad Nominal (A)	Capacidad de interrupción (A)
Interruptor principal (52)	3200	65000
CCM-401	1600	65000
CCM-GTB-BA	1600	65000
MOTOR CONTRA INCENDIOS	1600	65000
COMPRESOR DE AIRE K-101	225	65000
BOMBA DE POZO P-123	150	65000
PANEL 401	225	65000

Tabla XIV. Equipos instalados en el sistema

Fuente: Documentos de información

Punto de estudio	Corriente de Falla (A)
P1	53432
P2	38580
P3	15120

Tabla XV. Corriente de falla en el punto de estudio

Fuente: Documentos de información

3.3 Cálculos de los parámetros del arco eléctrico

Las siguientes tablas han sido diseñadas en un hoja de Excel, y se han dividido las formulas en varios factores matemáticos, con el objetivo de poder realizar los cálculos. Dependiendo de cada sistema se ingresan los valores en las celdas que están sombreadas de color celeste, y automáticamente se auto completan las demás celdas.

Todas las tablas han sido elaboradas en base al estándar IEEE-1584-2002. Para nuestro sistema se han considerado tres posibles puntos de falla como se muestra en la figura (3.1). Y las tablas han sido llenadas con cada uno de los parámetros requeridos para dichos puntos.

Las tablas que se muestran en esta sección pueden ser utilizadas como formatos para cálculos de diferentes sistemas, los resultados con todas las tablas llenas para nuestro estudio se muestran en el anexo 3.

3.3.1 Corriente de arco

Los resultados que se muestran en la siguiente tabla corresponden al punto falla P1. Figura (3.1)

$$I_a = 10^{\{K+0.662\log(I_{bf})+0.0966V+0.000526G+0.5588V*\log(I_{bf})-0.00304G*\log(I_{bf})\}}$$

Hoja de cálculo para la corriente de arco basado en el estándar IEEE 1584-2002					
I _{bf} : Corriente de corto circuito trifásica KA		V= Tensión del sistema		K= -0.153 config. abierta	
		G=Espacio entre conductores		K= -0.094 config. cerrada	
Fact 1	0.662xlog(I _{bf})	I _{bf} =	53	Fact 1=	1.141
Fact 2	0.0966xV	V=	0.48	Fact 2=	0.046
Fact 3	0.000526xG	G=	25	Fact 3=	0.037
Fact 4	0.5588xVxLog(I _{bf})			Fact 4=	0.462
Fact 5	0.00304xGxlog(I _{bf})			Fact 5=	0.367
Fact 6	K	K=	-0.094	Fact 6=	-0.094
Fact 7	Fact1+Fact2+Fact3+Fact4+Fact5+Fact6			Fact 7=	1.960
I _a (KA)	10 elevado al Factor 7			I _a =	91.217

Tabla XVI. Hoja de cálculo para la corriente de arco

Fuente: Realizado en el presente trabajo

3.3.2 Energía incidente normalizada

Los resultados que se muestran en la siguiente tabla corresponden al punto falla P1. Figura (3.1)

$$En = 10^{\{K1+K2+1.081*\log(Ia)+0.0011G\}}$$

Hoja de cálculo para la Energía Incidente Normalizada					
Basado en el estándar IEEE 1584-2002					
Ia: Corriente de arco		K1= -0.792 config. Abierta		K2= 0 sin conexión a tierra	
G=Espacio entre conductores		K1= -0.555 config. Cerrada		K2= -0.113 conectado a tierra	
Fact 1	1.081xlog(Ia)	Ia=	91.2	Fact 1=	2.119
Fact 2	0.0011xG	G=	70	Fact 2=	0.077
Fact 3	K1	K1=	-0.555	Fact 3=	-0.555
Fact 4	K2	K2=	-0.113	Fact 4=	-0.113
Fact 5	Fact1+Fact2+Fact3+Fact4			Fact 5=	1.528
En (J/cm2)	10 elevado al Factor 5			En=	33.710

Tabla XVII Hoja de cálculo para la Energía Incidente Normalizada

Fuente: Realizado en el presente trabajo

3.3.3 Energía incidente

Los resultados que se muestran en la siguiente tabla corresponden al punto falla P1. Figura (3.1)

$$E = 4.184 * Cf * En \left(\frac{t}{0.2} \right) \left(\frac{610}{D} \right)^x$$

Hoja de cálculo para la Energía Incidente basado en el estándar IEEE 1584-2002					
D: Distancia de trabajo (mm)		Cf: 1 Para V > 1KV		X: factor de distancia	
t: Tiempo de duración del arco		Cf: 1.5 para V < o = 1KV		E: Energía normalizada (J/cm2)	
Fact 1	4.184xCfxEn	Cf=	1.5	Fact 1=	211.564
		En=	33.71		
Fact 2	t/0.2	t=	0.5	Fact 2=	2.5
Fact 3	(610/D) ele a x	D=	1200	Fact 3=	0.329
		x=	1.641		
E (J/cm2)	Fact1xFact2xFact3			E=	174.249
E(cal/cm2)	E (J/cm2) x 0.24			E=	41.820

Tabla XVIII. Hoja de cálculo para la Energía Incidente Normalizada

Fuente: Realizado en el presente trabajo

3.3.4 Frontera de protección a la descarga de arco

Los resultados que se muestran en la siguiente tabla corresponden al punto falla P1. Figura (3.1)

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

Hoja de cálculo para la Frontera de Protección Basado en el estándar IEEE 1584-2002					
Db: Distancia (mm)		Cf: 1 para V > 1KV		X: factor de distancia	
t: Tiempo de duración del arco		Cf: 1.5 para V < o = 1KV		E: Energía incidente (J/cm2)	
				En: Energía normalizada	
Fact 1	4.184xCfEn	Cf=	1.5	Fact 1=	211.602
		En=	33.7		
Fact 2	t/0.2	t=	0.5	Fact 2=	2.5
Fact 3	1/Eb	Eb=	174.2	Fact 3=	0.006
		x=	1.641		
Fact 4	(Fact1xFact2xFact3)elevado a 1/x			Fact 4=	1.968
Db(mm)	610*Fact 4			Db=	1200.34

Tabla XIX: Hoja de cálculo para la Frontera de protección

Fuente: Realizado en el presente trabajo

3.3.5 Resultados para el sistema

Lugar de la falla	Corriente de Arco Ia (KA)	Energía Normalizada En (J/cm ²)	Energía Incidente E (J/cm ²)	Frontera de protección Db (mm)
Punto P1	91.2	33.7	174.2	1200.3
Punto P2	62.3	22.3	115.5	1200.0
Punto P3	14.7	4.25	21.9	1202.6

Tabla XX. Hoja de resultados

Fuente: Realizado en el presente trabajo

CAPITULO IV

4. EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS Y PELIGROS

Después de haber realizado varias visitas a Plantas de Generación de nuestro país, en nuestro criterio, el mejor lugar para realizar una evaluación de riesgo es el Centro de Control de Motores de los Sistema Auxiliares de una Planta de Generación. Ya que en estos lugares por su diseño en sí las personas trabajan con voltajes medios a distancias muy cercanas, las actividades operativas que realizan, y el tiempo que están presentes en el lugar presentan deficiencias en Seguridad Industrial que ponen en riesgo la vida de las personas que trabajan ahí, los recursos materiales que posee la empresa, lo cual indica que se perderían ingentes recursos económicos si llegara a desarrollar un Arco Eléctrico en el Centro de Control de Motores.

Nos preguntamos entonces cual es el objetivo de realizar un estudio de evaluación de riesgos en el Centro de Control de Motores si tenemos identificadas las deficiencias, simplemente deberíamos corregir todas las

deficiencias, lo cual solucionaría nuestros problemas, pero esto también traería grandes cantidades de dinero en su corrección. Entonces si podríamos identificar cual es la deficiencia más crítica, sobre cual se debe realizar acción correctiva nos ayudaría a ordenar el plan de acción a tomar para la corrección de las deficiencias presentes. Entonces aplicaremos la base teórica de la nota técnica NTP 330, la cual fundamenta nuestro método mencionado en el capítulo anterior en el estudio de evaluación de Riesgo de Arco Eléctrico. De esta forma estaríamos cumpliendo las Normas OSHA 1910.132(d) (1), OSHA 1910.132(d) (1) (i), OSHA 1910.132(d) (1) (ii), OSHA 1910.132(d) (1) (iii), OSHA 1910.132(e), OSHA 1910.132(f).

4.1 Aplicación en un centro de control de motores de una planta térmica

4.1.1 Riesgo a analizar

En nuestro estudio se va a realizar la evaluación de los riesgos y peligros de la descarga de arco eléctrico.

4.1.2 Tipos de tareas para las que realizamos la evaluación de riesgos

- **Operación del MCC (Tarea 1)**

La operación de un MCC de los sistemas Auxiliares consta de acciones sobre interruptores de gran capacidad los cuales están energizados y con carga, tal maniobra en las plantas de generación de nuestro país se la realiza manualmente, ósea parado en frente de estos equipos pulsando un botón o girando una perilla. Entonces las deficiencias identificadas son:

- a.) Falta de señalización en los equipos del límite de frontera de protección.
- b.) Equipo de protección no adecuado para dicha acción.
- c.) Personal calificado para realizar dichas maniobras, teniendo en cuenta que hay malos hábitos de los trabajadores.
- d.) Falta de entrenamiento continuo del personal.

- e.) Falta de aislamiento de las herramientas a utilizar.
 - f.) Falta de diseño de sistemas de protección para caso de falla del equipo.
 - g.) Iluminación correcta, tanto con energía AC, como con energía DC. Teniendo en cuenta que la ubicación de las luminarias tienen que ser las correctas para la operación de los equipos.
 - h.) Falta de procedimiento operativos para los equipos, y cuando los hay, la correcta aplicación de los procedimientos.
- **Mantenimiento del MCC por personal de planta (Tarea 2)**

El mantenimiento tiene dos formas:

En línea, cuando por razones operativas se tiene que realizar acciones.

Fuera de línea, cuando el equipo esta des-energizado. Entonces para este tipo de trabajos tenemos las siguientes deficiencias:

- a.) Falta de señalización en los equipos del límite de frontera de protección.
- b.) Equipo de protección no adecuado para la realización del mantenimiento.
- c.) Incorrecto procedimiento de aislamiento y bloqueo de los equipos a realizar el mantenimiento.
- d.) Falta de comunicación entre el personal operativo y de mantenimiento en la puesta en línea de los equipos.
- e.) Personal calificado para realizar dichas maniobras, teniendo en cuenta que hay malos hábitos de los trabajadores.

- f.) Falta de entrenamiento continuo del personal, ya que al realizar actualizaciones en equipos (compra de equipo nuevo), el personal de mantenimiento va a aprender.
 - g.) Falta de aislamiento de las herramientas a utilizar.
 - h.) Iluminación correcta, tanto con energía AC, como con energía DC. Teniendo en cuenta que la ubicación de las luminarias tienen que ser las correctas para la operación de los equipos.
 - i.) Falta de procedimiento de mantenimiento.
- **Tomas de datos de operación del sistema (Tarea 3)**
- a.) Cuando se realiza ésta tarea, se pueden apreciar las siguientes deficiencias:
 - b.) Los equipos de medición tienen certificación.

- c.) Falta de señalización en los equipos del límite de frontera de protección.
- d.) Equipo de protección no adecuado para la realización de la toma de datos.
- e.) Malos hábitos de los trabajadores.
- f.) Falta de entrenamiento continuo del personal, ya que al realizar actualizaciones en equipos (compra de equipo nuevo), el personal no tiene los valores nominales eléctricos con los que pueden contrastar si el equipo está operando correctamente, pudiendo ocurrir un arco por la operación continua del mismo.

4.1.3 Resultados de las tablas de evaluación a cada una de las tareas

Pregunta	SI	NO
1.- Las herramientas están ajustadas al trabajo a realizar	X	
1.1.- Las herramientas tienen el nivel de aislamiento adecuado		X
1.2.- Los equipos de pruebas y medición son idóneos para la tarea a realizar.		X
1.3.- Las herramientas de trabajo tienen la respectiva certificación		X
2.- Los equipos tienen el respectivo etiquetado y señalización	X	
2.1 Están indicados los parámetros eléctricos de operación	X	
2.2 Se encuentran marcados los límites de frontera de protección a la descarga de arco y el nivel de equipo de protección personal que se requiere		X
3.- La actividad a realizarse se encuentra dentro del límite de protección a la descarga de arco	X	
4.- Existe el equipo de protección personal requerido para la tarea	X	
4.1.- El equipo esta en buenas condiciones de funcionamiento	X	
4.2.- Se realiza el correcto mantenimiento y almacenamiento del EPP	X	
5.- Se observan hábitos correctos de trabajo	X	
5.1 Los trabajadores aplican los respectivos procedimiento de bloqueo y aislamiento	X	
5.2 Los trabajadores están adiestrados para trabajar con tensión.	X	
5.3 Los trabajadores tienen certificación de estar calificados para el trabajo en el área eléctrica		X
5.4 Los trabajadores reciben un entrenamiento continuo	X	

Tabla XXI. Tarea 1: Operación del MCC

Fuente: Realizado en el presente trabajo

Pregunta	SI	NO
1.- Las herramientas están ajustadas al trabajo a realizar	X	
1.1.- Las herramientas tienen el nivel de aislamiento adecuado		X
1.2.- Los equipos de pruebas y medición son idóneos para la tarea a realizar.	X	
1.3.- Las herramientas de trabajo tienen la respectiva certificación		X
2.- Los equipos tienen el respectivo etiquetado y señalización		X
2.1 Están indicados los parámetros eléctricos de operación	X	
2.2 Se encuentran marcados los límites de frontera de protección a la descarga de arco y el nivel de equipo de protección personal que se requiere		X
3.- La actividad a realizarse se encuentra dentro del límite de protección a la descarga de arco	X	
4.- Existe el equipo de protección personal requerido para la tarea	X	
4.1.- El equipo está en buenas condiciones de funcionamiento	X	
4.2.- Se realiza el correcto mantenimiento y almacenamiento del EPP	X	
5.- Se observan hábitos correctos de trabajo	X	
5.1 Los trabajadores aplican los respectivos procedimientos de bloqueo y aislamiento	X	
5.2 Los trabajadores están adiestrados para trabajar con tensión.		X
5.3 Los trabajadores tienen certificación de estar calificados para el trabajo en el área eléctrica		X
5.4 Los trabajadores reciben un entrenamiento continuo		X

Tabla XXII. Tarea 2: Mantenimiento del MCC

Fuente: Realizado en el presente trabajo

Pregunta	SI	NO
1.- Las herramientas están ajustadas al trabajo a realizar		X
1.1.- Las herramientas tienen el nivel de aislamiento adecuado	X	
1.2.- Los equipos de pruebas y medición son idóneos para la tarea a realizar.	X	
1.3.- Las herramientas de trabajo tienen la respectiva certificación		X
2.- Los equipos tienen el respectivo etiquetado y señalización		X
2.1 Están indicados los parámetros eléctricos de operación	X	
2.2 Se encuentran marcados los límites de frontera de protección a la descarga de arco y el nivel de equipo de protección personal que se requiere		X
3.- La actividad a realizarse se encuentra dentro del límite de protección a la descarga de arco	X	
4.- Existe el equipo de protección personal requerido para la tarea		X
4.1.- El equipo esta en buenas condiciones de funcionamiento		X
4.2.- Se realiza el correcto mantenimiento y almacenamiento del EPP		X
5.- Se observan hábitos correctos de trabajo	X	
5.1 Los trabajadores aplican los respectivos procedimiento de bloqueo y aislamiento	X	
5.2 Los trabajadores están adiestrados para trabajar con tensión.		X
5.3 Los trabajadores tienen certificación de estar calificados para el trabajo en el área eléctrica		X
5.4 Los trabajadores reciben un entrenamiento continuo		X

Tabla XXIII. Tarea 3: Toma de datos de operación del sistema

Fuente: Realizado en el presente trabajo

Tarea	ND	NE	NP=NDxNE	NC	NR=NPxNC
Tarea 1	6	2	12	60	720
Tarea 2	10	4	40	10	400
Tarea 3	2	4	8	10	80

Tabla XXIV. Resultados de la valoración de riesgo para la aplicación propuesta (MCC)

Fuente: Realizado en el presente trabajo.

Con estos resultados, contrastando con la tabla XII de referencia nos indican que tenemos:

- Una Situación crítica, tenemos que realizar una corrección urgente en la tarea 1.
- Corregir y adoptar medidas de control en la tarea 2.
- Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad en la tarea 3.

CAPITULO V

5. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y CONTROL

El peligro de una exposición a un arco eléctrico puede ser reducido con la aplicación correcta de los procedimientos, el uso de las herramientas correctas, un buen mantenimiento preventivo, la planificación y la coordinación de los trabajos, así como el entrenamiento y el desarrollo de habilidades para desarrollar los trabajos.

También es importante considerar el estado físico y mental en la que se encuentra la persona que va a desarrollar un trabajo, ya que esto podría ocasionar la caída de herramientas, el contacto accidental con partes energizadas, etc. La principal estrategia para evitar los accidentes por la descarga de arco, es tomar cuidado de las causas que lo producen.

Los accidentes pueden ocurrir por un descuido o por no tomar la precauciones necesarias, sin embargo si esto llegase a suceder, es mejor la

energía que incide sobre el trabajador sea la más baja posible, y que el mismo se encuentre preparado para el peor escenario utilizando el correcto equipo de protección personal.

5.1 Evitar los accidentes por descarga de arco eléctrico.

El peligro de la descarga de arco puede ser evitado, si se entienden perfectamente sus causas, y se realizan los pasos para minimizarlas.

5.1.1 Mantenimiento preventivo

Las prácticas de mantenimiento preventivo existen en la mayoría de empresas que requieren un alto índice de continuidad en sus procesos. El mantenimiento preventivo también provee de un sitio seguro de trabajo. Mejorar los procedimientos cuando se realizan inspecciones, mantenimientos preventivos, o inclusive mantenimientos correctivos, que incluyan procedimientos para reducir el peligro de un arco eléctrico, reduce de forma considerable el costo de implementación de un programa de

reducción de los peligros del arco eléctrico. Lo siguiente se puede incluir en el desarrollo de las prácticas de mantenimiento.

1. Se puede producir un corto circuito o una descarga de arco por el ingreso de roedores o aves a los paneles o compartimientos de interruptores. Este riesgo puede ser eliminado si se sellan todos los accesos de tal forma que los roedores no puedan ingresar.
2. Revisar los equipos y paneles en busca de terminales corroídos, especialmente si se trata de una planta química o si se está cerca de una atmósfera marina. La grasa de contacto tiene un uso común para éste tipo de casos, ya que reduce los efectos de la corrosión.
3. Inspeccionar la conexiones de los terminales, de tal forma que se determine si están flojas, suciedad, polvo, conexiones flojas

pueden crear resistencia adicional, y a su vez dañar el aislamiento del conductor con la posibilidad de que se genere un arco eléctrico. Las inspecciones termo-gráficas ayudan con la determinación de una conexión floja.

4. Colocar aislamiento en las partes metálicas que se encuentran expuestas. Si la disipación de calor y el colocar un aislamiento no son un problema, entonces se lo debería hacer. El aislamiento previene la formación del arco, por ejemplo si un trabajador deja caer accidentalmente una llave inglesa que no está aislada, y toca dos barras, esto provocaría un corto y un arco, si hubiera prevenido si estas barras estuvieran aisladas.

5. Asegurarse que los interruptores y los relés de protección actúen apropiadamente, la falla de estos equipos puede contribuir a tiempos de exposición mayor. Inspecciones de rutina así como también las simulaciones y pruebas de estos equipos son una buena práctica la misma que se la realiza de

acuerdo al fabricante o las políticas de mantenimiento requeridas.

6. Se pueden observar si en el receptáculo donde se instalan los fusibles se ha producido desgaste, ya que con la operación se producen, es mejor cambiarlos los contactos, o sino cambiar todo el receptáculo.

7. Cuando un fusible se funde porque se ha producido una falla, no instalar un fusible nuevo hasta que la causa o la falla no haya sido despejada. Cerrar un fusible con la falla activa puede producir un arco eléctrico.

5.1.2 Trabajos que se realizan con equipos energizados

Los trabajos eléctricos siempre se deben realizar con los equipos des-energizados, sin embargo cuando se esto no puede ser evitado, se debe proveer de una justificación y una autorización por escrito, es recomendable que esto se incorpore como una medida de seguridad dentro de los procedimientos de trabajo establecidos.

El uso de herramienta con aislamiento es recomendable, ya que debido a caídas no deseadas de las mismas se pueden provocar fallas, chispas o arcos eléctricos.

Cuando se realizan ajustes a una conexión, el control correcto del torque que se aplica y la herramienta correcta debe ser considerado como prioridad, ya que el uso excesivo de fuerza pueda dañar los equipos, o causar que se tenga un contacto accidental.

Cuando se realizan trabajos con los equipos energizados no se deben utilizar químicos de limpieza en spray, ya que estos pueden contener sustancias que pueden ser el paso de la electricidad, y provocar inclusive un choque eléctrico al trabajador.

5.2 Etiquetado de los paneles de distribución.

Obtenidos los resultados del límite de protección para la descarga de Arco Eléctrico y con los parámetros Eléctricos que se tienen, entonces los tableros que contiene las barras e interruptores de alimentación de los equipos tendrán las siguientes Etiquetas, las cuales servirán de información para el personal que labora tanto en Operaciones como en mantenimiento, de esta forma se cumplirá con la norma 2.4.6 NFPA 70E Artículo 400.11 (Señalización para la protección a la descarga de Arco).

	ADVERTENCIA	
Peligro de descarga de Arco y Choque eléctrico		
EPP apropiado es requerido		
47 in	Frontera de protección	
41.7 cal/cm ²	Energía incidente a 47 in	
Class 1	FR Shirt & Pants	
480 Vac	Peligro de choque eléctrico cuando el cobertor esta removido	
42 in	Frontera de acercamiento limitado	
12 in	Frontera de acercamiento restringido	
1 in	Frontera de acercamiento prohibido	
Centro de carga 301 - 0.48 KV		
Centro de control de Motores (MCC)		
Advertencia: Cambios en la configuración del sistema y en los ajustes de los equipos de protección, van a invalidar los cálculos y el tipo de EPP.		

Figura 5.1 Etiqueta de advertencia que se debe colocar en el punto de análisis de arco eléctrico P1.

Fuente: Realizado en el presente trabajo.

	ADVERTENCIA	
Peligro de descarga de Arco y Choque eléctrico		
EPP apropiado es requerido		
47 in	Frontera de protección	
41.7 cal/cm ²	Energía incidente a 47 in	
Class 1	FR Shirt & Pants	
480 Vac	Peligro de choque eléctrico cuando el cobertor esta removido	
42 in	Frontera de acercamiento limitado	
12 in	Frontera de acercamiento restringido	
1 in	Frontera de acercamiento prohibido	
Centro de carga 401 - 0.48 KV		
Centro de control de Motores (MCC)		
Advertencia: Cambios en la configuración del sistema y en los ajustes de los equipos de protección, van a invalidar los cálculos y el tipo de EPP.		

Figura 5.2 Etiqueta de advertencia que se debe colocar en el punto de análisis de arco eléctrico P2.

Fuente: Realizado en el presente trabajo.

	ADVERTENCIA	
Peligro de descarga de Arco y Choque eléctrico		
EPP apropiado es requerido		
47 in	Frontera de protección	
5.2 cal/cm ²	Energía incidente a 47 in	
480 Vac	Peligro de choque eléctrico cuando el cobertor esta removido	
42 in	Frontera de acercamiento limitado	
12 in	Frontera de acercamiento restringido	
1 in	Frontera de acercamiento prohibido	
Compresor de aire K-101 - 0.48 KV		
Centro de control de Motores (MCC)		
Advertencia: Cambios en la configuración del sistema y en los ajustes de los equipos de protección, van a invalidar los cálculos y el tipo de EPP.		

Figura 5.3 Etiqueta de advertencia que se debe colocar en el punto de análisis de arco eléctrico P3.

Fuente: Realizado en el presente trabajo.

5.3 Colocación de aislamiento y bloqueo.

Este sistema de aislamiento y Bloqueo requerimiento de la norma OSHA 1910.147, se tiene que aplicar para realizar los mantenimientos predictivos, preventivos y correctivos de equipos y lograr una seguridad industrial eléctrica integral, ya que al realizar estos aislamientos y bloqueos tenemos que liberar toda clase de energía existente, para que de esta forma no sea liberada de forma incontrolable, en nuestro caso cuando trabajamos en los tableros eléctricos de los Centros de control de motores es aun mas, debido a que los peligros no se pueden ver, aunque estén ahí. A continuación tenemos el formato físico en el cual tiene que firmar tanto el supervisor de Operaciones del Área para autorizar el trabajo, el operador auxiliar, que es aquel que coloca el aislamiento después de haber liberado toda la energía almacenada y el trabajador del permiso.

TAG OUT / LOCK OUT				Permiso N°		
<i>Orden de Trabajo N°</i>		<i>Solicitado por:</i>		<i>Empresa:</i>		
<i>Equipo afectado:</i>						
<i>Naturaleza de la reparación:</i>						
<i>Aislamiento realizado por:</i>				<i>Fecha:</i>	<i>Hora:</i>	
<i>Nombre:</i>		<i>Firma:</i>				
<i>Supervisor de Turno</i>				<i>Fecha:</i>	<i>Hora:</i>	
<i>Nombre:</i>		<i>Firma:</i>				
<i>Trabajador del permiso</i>				<i>Fecha:</i>	<i>Hora:</i>	
<i>Nombre:</i>		<i>Firma:</i>				
AISLAMIENTO DE EQUIPO						
<i>Aislaciones Requeridas</i>			<i>Si</i>	<i>No</i>	<i>Tarjeta</i>	<i>Candado #</i>
1						
2						
3						
4						
5						
21						
22						
23						

CANCELACION DE PERMISO

<i>Trabajador del Permiso:</i>		<i>Empresa</i>	<i>Fecha:</i>	<i>Hora:</i>
<i>Nombre:</i>	<i>Firma:</i>			
<i>Aislamiento removido por:</i>		<i>Empresa</i>	<i>Fecha</i>	<i>Hora</i>
<i>Nombre:</i>	<i>Firma:</i>			
<i>Supervisor de Turno:</i>		<i>Empresa</i>	<i>Fecha</i>	<i>Hora</i>
<i>Nombre:</i>	<i>Firma:</i>			

Figura 5.4. Formato de aislación y bloqueo implementado en los procesos de seguridad industrial.

Fuente: Realizado en el presente trabajo.

5.4 Reducción de la energía incidente en los trabajadores

La exposición a la energía incidente que se genera en un arco eléctrico puede ser reducida con el cambio en el diseño del sistema, así como los procedimientos de operación y mantenimiento. A continuación se listan algunos de los que se pueden ejecutar para conseguir este propósito.

5.4.1 Reducción de la intensidad de la falla.

5.4.1.1 Cambiar la configuración del sistema para reducir la corriente de falla.

Reducir el nivel del tipo de falla depende de la configuración del sistema. Por ejemplo en la figura 5.1 se muestra un centro de carga con dos interruptores de dos alimentadores y un interruptor de interconexión, el nivel de intensidad de falla puede ser reducido realizando la apertura de uno de los tres interruptores, se consigue una reducción de un 50%

aproximadamente, así como también se reduce la energía incidente pero no necesariamente en la misma proporción.

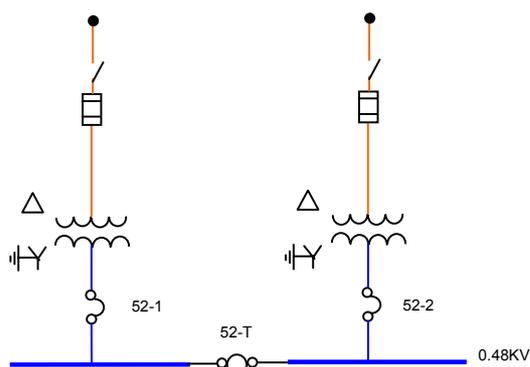


Figura 5.5: Centro de carga

Fuente: Realizado en el presente trabajo

5.4.1.2 Fusibles e interruptores limitadores de corriente.

Los fusibles e interruptores limitadores de corriente ofrecen una resistencia adicional a la corriente de falla, durante el proceso de fundición del fusible. Las corrientes de falla son despejadas rápidamente en tiempos de menos $\frac{1}{2}$ ciclo. Como la energía incidente es directamente proporcional al

tiempo de duración del arco, los fusibles limitadores de corriente, reducen la energía incidente.

5.4.2 Reducir el tiempo de duración del arco

5.4.2.1 Reducción de los tiempos de respuesta de los interruptores a un margen de seguridad.

La energía incidente se incrementa con los factores del tiempo y la corriente de falla. Reduciendo cualquiera de estos factores va a reducir la energía incidente. Relés y dispositivos de actuación rápida, reducen el tiempo de duración del arco. Los relés antiguos tienen un tiempo de operación de 0.4 segundos, Los relés con microprocesadores están siendo usados y los tiempos de actuación aproximadamente en 5 ciclos. Lo que significa que los tiempos en coordinación de relés pueden ser reducidos de 0.4 a 0.2 o 0.25 segundos. Esto representa una reducción de un 25 – 30 % en el valor de la energía incidente.

5.4.2.2 Protección diferencial

Una mejoría notable se puede conseguir si se utilizan dispositivos de disparo de actuación instantánea en comparación con los de actuación con retardo de tiempo. Sin embargo se utilizan los de actuación con tiempos de retardo por coordinación y por selectividad de los sistemas.

En sistema de alto voltaje la utilización de sistema de disparo instantáneo puede reducir los tiempos de exposición al arco al mínimo, la energía incidente puede ser reducida fácilmente de 5 a 30 veces.

5.4.2.3 Mejoramiento de los dispositivos de disparo instantáneo

Una de las técnicas que se puede utilizar para reducir los tiempos de despeje de las fallas de arco eléctrico, es instalar un circuito adicional de actuación instantánea, con

un switch de seguridad, el mismo que permite habilitar esta opción especialmente cuando se están realizando trabajos con los equipos energizados como se muestra en la figura 5.2. El contacto normalmente abierto del circuito de disparo instantáneo funcionará solamente en el caso de que se ubique el switch en la posición "ON". No esto se consigue reducir los tiempos de 0.2 – 2 segundos hasta 0.1 segundos, reduciendo el efecto de la energía incidente.

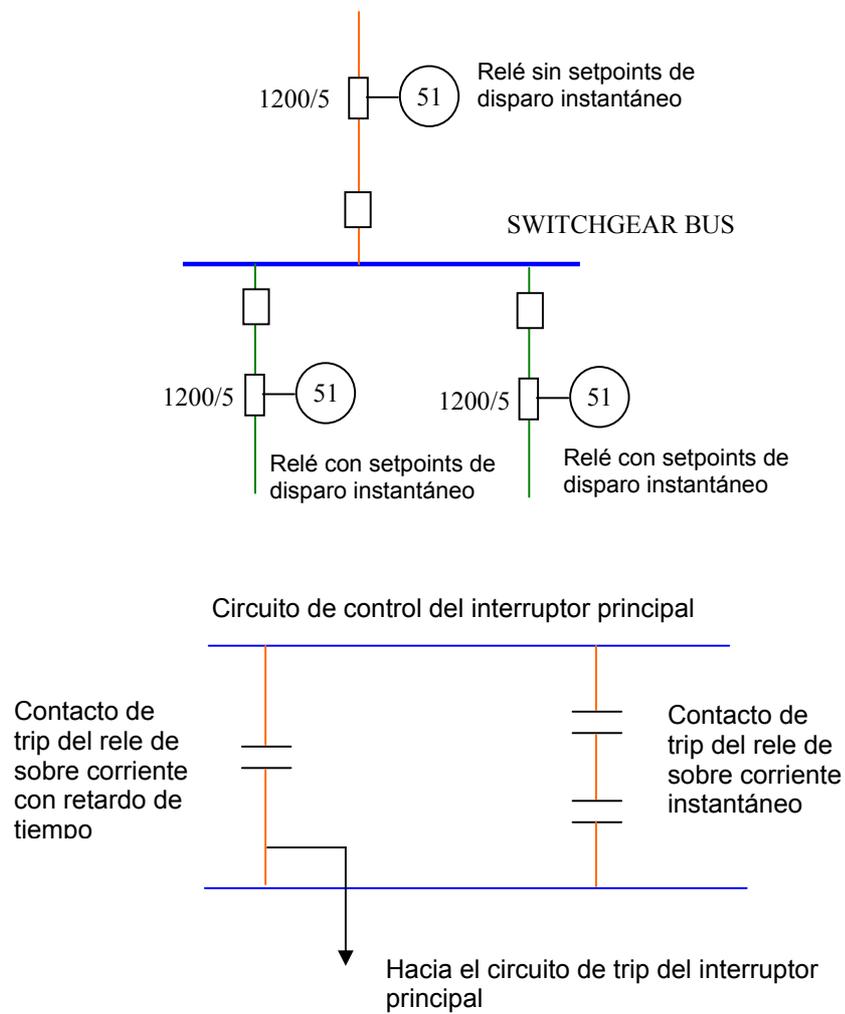


Figura 5.6: Diagrama del circuito de control del interruptor principal.

Fuente: Desarrollado en el presente trabajo.

5.4.2.4 Sensor de disparo óptico

Algunas empresas han desarrollado dispositivos que son capaces de detectar una falla de arco eléctrico, funcionan con la luz que genera el arco. Se utiliza un contacto que está instalado en el circuito de disparo del interruptor, y tiene un tiempo de activación de 10 milisegundos.

Sin embargo hay que realizar un análisis detenido en cuanto al sitio de instalación ya que se debe precautelar su integridad física y los cables de control, segundos previos antes de su activación.

5.4.2.5 Estudio de coordinación de protecciones

El estudio de coordinación de protecciones se lo realiza con el objetivo de mejorar la funcionalidad de un sistema. Sin embargo el mismo es llevado a cabo en el inicio de la operación, se debe realizar este estudio cada vez que hay

una modificación del sistema conjuntamente con el análisis del peligro de falla de arco eléctrico, haciendo las respectivas consideraciones para lograr reducir los tiempos de falla y por ende la energía incidente.

5.4.3 Operación y manipulación de equipos remotamente

Cuando se consigue que la distancia entre el trabajador sea la mayor posible se consigue una reducción de la energía incidente. Los interruptores de tecnología nueva pueden ser ordenados con dispositivos de apertura y cierre remotos, los mismos que son instalados en cubículos diferentes del interruptor, actualmente los interruptores de tecnología antigua pueden ser modificados para que tengan estos dispositivos de activación remota.

Los microprocesadores son capaces de monitorear el sistema de apertura y cierre del interruptor de tal forma que cuando se ejecuta la operación manual, éste da entre 5 y 10 segundos al operador para permitirle que se aleje del interruptor, antes de que se ejecute la maniobra.

Cuando se realiza la maniobra de retirar o introducir un interruptor en su cubículo se expone al trabajador a los peligros del arco eléctrico, ya que se puede dar el caso de que el indicador mecánico de que el interruptor está completamente abierto falle. Introducir un interruptor cuando este no se encuentra completamente abierto puede resultar en un arco eléctrico. Cuando se realiza este tipo de maniobras es recomendable revisar lo siguiente: El indicador mecánico está mostrando que el interruptor está abierto, las luces de indicación muestran que está abierto, el amperímetro muestra 0 amperios en las tres fases.

5.5 Equipo de protección personal

Para proteger a los trabajadores de los peligros que se generan en las diversas áreas de trabajo, se requiere el uso de equipo de protección personal, como ya ha determinado los riesgos al arco eléctrico y como se realiza una evaluación de las zonas de peligro, este equipo debe ser utilizado de acuerdo a esa evaluación. El propósito principal del equipo es

conseguir que si el trabajador es expuesto a un arco eléctrico las quemaduras tengan una consideración de segundo grado curable.

El equipo de protección personal puede o no proteger a un trabajador en el caso de un incidente, es necesario que los trabajadores tomen conciencia de las limitaciones, cuidados y del uso que se les debe dar a los equipos. No se debe sustituir el sentido común y las practicas de seguridad por el equipo de protección personal.

Lo recomendado en equipo de protección personal ante los riesgos del arco eléctrico es ropa resistente al fuego. Esta tiene la característica que no se quema en el aire, su composición química nos da este beneficio.



Figura 5.7: EPP Para la descarga de arco eléctrico de acuerdo con la NFPA70E

Fuente: www.boddingtons-electrical.com

5.6 Implementación de medidas de control en el centro de control de motores.

Una vez obtenidos los resultados en el capítulo 4, en el cual se tiene que la operación de los equipos dentro del Centro de Carga es el que mayor riesgo tiene dentro de las tres actividades evaluadas, y exige la implementación de cambios, entonces tomaremos en cuenta el grado de importancia de la deficiencia existente y el valor económico que representaría dicho cambio con el objetivo de tener en esta actividad un trabajo más seguro. A continuación se tiene una evaluación de riesgo pero ya con los cambios realizados.

Pregunta	SI	NO
1.- Las herramientas están ajustadas al trabajo a realizar	X	
1.1.- Las herramientas tienen el nivel de aislamiento adecuado	X	
1.2.- Los equipos de pruebas y medición son idóneos para la tarea a realizar.	X	
1.3.- Las herramientas de trabajo tienen la respectiva certificación	X	
2.- Los equipos tienen el respectivo etiquetado y señalización	X	
2.1 Están indicados los parámetros eléctricos de operación	X	
2.2 Se encuentran marcados los límites de frontera de protección a la descarga de arco y el nivel de equipo de protección personal que se requiere	X	
3.- La actividad a realizarse se encuentra dentro del límite de protección a la descarga de arco	X	
4.- Existe el equipo de protección personal requerido para la tarea		X
4.1.- El equipo está en buenas condiciones de funcionamiento	X	
4.2.- Se realiza el correcto mantenimiento y almacenamiento del EPP	X	
5.- Se observan hábitos correctos de trabajo	X	
5.1 Los trabajadores aplican los respectivos procedimientos de bloqueo y aislamiento	X	
5.2 Los trabajadores están adiestrados para trabajar con tensión.	X	
5.3 Los trabajadores tienen certificación de estar calificados para el trabajo en el área eléctrica	X	
5.4 Los trabajadores reciben un entrenamiento continuo	X	

Tare Tabla XXV. Tarea 1: Operación del MCC, una vez que se aplican las respectivas correcciones.

Fuente: Realizado en el presente trabajo

Pregunta	SI	NO
1.- Las herramientas están ajustadas al trabajo a realizar	X	
1.1.- Las herramientas tienen el nivel de aislamiento adecuado	X	
1.2.- Los equipos de pruebas y medición son idóneos para la tarea a realizar.	X	
1.3.- Las herramientas de trabajo tienen la respectiva certificación	X	
2.- Los equipos tienen el respectivo etiquetado y señalización	X	
2.1 Están indicados los parámetros eléctricos de operación	X	
2.2 Se encuentran marcados los límites de frontera de protección a la descarga de arco y el nivel de equipo de protección personal que se requiere	X	
3.- La actividad a realizarse se encuentra dentro del límite de protección a la descarga de arco	X	
4.- Existe el equipo de protección personal requerido para la tarea		X
4.1.- El equipo está en buenas condiciones de funcionamiento		X
4.2.- Se realiza el correcto mantenimiento y almacenamiento del EPP		X
5.- Se observan hábitos correctos de trabajo	X	
5.1 Los trabajadores aplican los respectivos procedimientos de bloqueo y aislamiento	X	
5.2 Los trabajadores están adiestrados para trabajar con tensión.	X	
5.3 Los trabajadores tienen certificación de estar calificados para el trabajo en el área eléctrica	X	
5.4 Los trabajadores reciben un entrenamiento continuo	X	

Tabla XXVI. Tarea 2: Mantenimiento del MCC, una vez que se aplican las respectivas correcciones.

Fuente: Realizado en el presente trabajo

Tarea	ND	NE	NP=NDxNE	NC	NR=NPxNC
Tarea 1	2	2	4	60	240
Tarea 2	6	4	24	10	240
Tarea 3	2	4	8	10	80

Tabla XXVII. Resultados de la valoración de riesgo para la aplicación propuesta (MCC), una vez que se realizan las correcciones a los sistemas.

Fuente: Realizado en el presente trabajo.

Contrastando con la Tabla XII, tenemos los siguientes resultados:

En la tarea 1, se consigue reducir el nivel de riesgo de 720 a 240, de esto se pasa de una situación crítica, a un status en el que se debe adoptar medidas de control.

En la tarea 2, se consigue reducir el nivel de riesgo de 400 a 240, se mantiene en la misma situación en la que se deben adoptar medidas de control.

En ambos casos aunque se logran reducir, los valores de riesgo se mantienen en un status en el que seden adoptar medidas, ya que existen otros factores determinantes como son el nivel de exposición y el nivel de consecuencias, que hacen que los valores de nivel de riesgo sean considerables.

CONCLUSIONES

1. Se ha encontrado que la mayor parte de las personas que laboran en los centros de control de motores no tienen conocimiento del Arco Eléctrico, de las seguridades que tiene que ser implementadas para tener un trabajo seguro en equipos energizados con medio y alto voltaje. Ya que en las plantas de Generación Eléctricas visitadas, no se tiene ninguna señalización en los equipos, y en pocas se tiene equipos de protección personal a utilizarse que límite la incidencia del arco eléctrico entonces:
2. Concluimos que es necesario implementar en las Plantas de Generación Eléctrica, que están instaladas y las que están por instalarse una correcta señalización con respecto a los parámetros de fronteras de protección en los tableros Eléctricos para que así el trabajador que se desenvuelve en las operaciones de esta área tenga conocimiento de qué clase de equipo de protección personal debe usar, ya que como se ha revisado en el presente estudio de Arco Eléctrico, las consecuencias de un Arco pueden ser fatales si no se está con el respectivo equipo de protección personal. Claro está

que esto no le asegura la vida, pero minimiza al máximo el riesgo de perderla.

3. También tenemos que realizar cambios en el área operativa, ya que una vez realizado el análisis de riesgo de arco eléctrico, aplicada al Centro de Control de Motores se tiene que el riesgo es elevado, y cuando se corrigen las deficiencias existentes y se realiza una nueva valoración del riesgo, principales tenemos un nivel de riesgo aceptable en el área operativa.

4. Tenemos que tener claro que no siempre los diseñadores han tomado en cuenta todos los riesgos presentes en los Centro de Control de Motors, solo las actividades que se realizaran diariamente tanto operativas y de mantenimiento dejan a la luz la mayor cantidad de deficiencias a lo cual se tiene que realizar un análisis de riesgo una vez que se tienen las actividades normales para poder identificar las actividades de mayor riesgo y corregirlas de acuerdo a los resultados obtenidos.

RECOMENDACIONES

1. Sugerimos en los trabajos en Instalaciones Eléctricas, como en los Centro de Control de Motores lo siguiente:
2. Etiquetar todas las instalaciones eléctricas con alto y medio voltaje que existan en la industria con la respectiva información tal como: Limite de protección de frontera, nivel de voltaje y tipo de equipo de protección personal se requiere para realizar trabajos.
3. Realizar un entrenamiento continuo de todo el personal en Seguridad Eléctrica y peligros del Arco Eléctrico, y realizar una revisión anual de los procedimientos establecidos para trabajos en los Centros de Control de Motores.

4. Tienen que revisarse los equipos de protección personal para trabajo en instalaciones eléctricas contra las descargas de arco, y estos equipos tienen que tener etiquetada la cantidad de energía incidente que pueden resistir.

5. Cada vez que se adquiriera un equipo eléctrico o maquinaria eléctrica, tiene que realizarse una evaluación de riesgo, al área en el cual va a trabajar dicho equipo, tomando en cuenta las actividades de operación y mantenimiento que se realizaran.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Earley Mark, Código Eléctrico Nacional (EEUU), NFPA, 2008.
- [2] Subcomité técnico: Electrotecnia, Código Eléctrico Nacional CPE INEN 19 , Instituto Ecuatoriano de Normalización, Noviembre 1999.
- [3] Comité técnico en seguridad eléctrica en el sitio de trabajo, Estándares para la Seguridad Eléctrica en el sitio de trabajo, NFPA, Febrero 11 del 2004.
- [4] Francisco Pareja Malangón, Sistema Simplificado de Evaluación de Riesgos de accidente NTP 330, INSHT, 2005.
- [5] Chet Davis, Conrad St Pierre, Guía práctica para el análisis de los peligros del arco Eléctrico, ESA Inc., 2003.
- [6] Katleen M. Kowalski-Trakofler, Peligros del Arco Eléctrico, NIOSH Publicación No.2007-116D, Enero 2007.

[7] Direcciones de internet.

<http://www.easypower.com>

<http://www.osha.gov/as/opa/spanish/index.html>

<http://www.nfpa.org>

ANEXO 1

REGLAMENTO DEL MINISTERIO DEL TRABAJO 2393

Reglamento de Seguridad del Trabajo contra riesgos en instalaciones de energía eléctrica.

CAPITULO 2: Normas de seguridad para el personal que interviene en la operación y mantenimiento de instalaciones eléctricas.

Art. 12.- Trabajos en instalaciones eléctricas sin tensión.

1.- Antes de que el personal acceda a las instalaciones, se adoptarán las siguientes precauciones:

a) En el origen de la instalación:

1.- Abrir con corte visible todas las posibles fuentes de corriente;

2.- Enclavar o bloquear los aparatos de corte de la corriente operados y señalizarlos con prohibición de maniobra;

3.- Comprobar la efectiva ausencia de tensión, con un equipo de comprobación apropiado; y,

4.- Poner a tierra las fases, en el lado que quedó sin tensión, lo más cerca posible al aparato de corte de la corriente operada.

b) En el lugar del trabajo:

1.- Verificar la ausencia de tensión con equipo apropiado;

2.- Poner a tierra las fases en todos los posibles puntos de retorno intempestivo de la corriente;

(Se dispensa las exigencias de b 1 Y b2 cuando las puestas a tierra de las fases en el lugar de origen están a la vista del personal que va a trabajar en la instalación).

3.- Delimitar el lugar de trabajo con señalización apropiada; y,

4.- Indicar al personal la parte de la instalación en la que se va a trabajar y la parte o partes de la misma, que queda energizada.

2.- Para restablecer el servicio se procederá de la siguiente manera:

a) En el lugar de trabajo:

1.- Reunir a todo el personal que ha intervenido en el trabajo, para informarle que se va a restablecer el servicio;

2.- Retirar las puestas a tierra y señalización utilizadas; y,

3.-Verificar, en los puestos de trabajo, que el personal no haya olvidado herramientas o materiales.

b) En el origen de la instalación:

1.- Retirar las puestas a tierras; y,

2.- Retirar los bloqueos puestos en los aparatos de corte de la corriente operados, así como la señalización que se haya utilizado.

Art. 13.- Intervención en instalaciones sin tensión bajo tierra, en ductos, canales y bandejas.

- 1.- Cumplir lo dispuesto en los numerales 1.a) y 2.b) del artículo 12.
- 2.- Proveerse de planos de ubicación de los cables o conductores.
- 3.- Identificar con toda claridad, en el puesto de trabajo, el cable o conductor en el que se va a intervenir.
- 4.- Proteger mecánicamente al cable o cables vecinos (o conductor o conductores vecinos) del que se va intervenir.

Art. 14.- Intervención en instalaciones eléctricas energizadas.

- 1.- Los trabajos en instalaciones eléctricas energizadas se realizarán cumpliendo estrictamente un programa diseñado por un técnico competente autorizado por la empresa o institución responsable y bajo su constante vigilancia;
- 2.- El personal que intervenga en trabajos, en instalaciones energizadas estará debidamente formado para aplicar según sea el caso, el procedimiento de trabajo que corresponda, esto es: al contacto, a distancia o al potencial;
- 3.- Se utilizarán herramientas y equipos de protección con aislamiento y técnicas de utilización y procedimiento de trabajo concordantes con el valor de la tensión de servicio de la instalación en la que se va a intervenir;

4.- No debe iniciarse, reiniciarse o continuarse ningún trabajo en una instalación energizada a la intemperie, si en el lugar de trabajo hay precipitaciones, descargas atmosféricas, viento, niebla espesa, insuficiente visibilidad; y,

5.- No se realizarán trabajos en instalaciones energizadas en lugares donde existan sustancias explosivas o inflamables.

ANEXO 2

Asociación de protección contra incendios (NFPA)

Estándar para la seguridad eléctrica en el sitio de trabajo – edición 2004.

Capítulo 1: Prácticas de seguridad relacionadas con el trabajo.

Artículo 110.8; 130.3(A), (B). Análisis de los peligros a la descarga de arco.

Artículo 130.7(C). Requerimientos para el equipo de protección personal.

Artículo 110.8 (B) (2); 130.1(A). Permisos de trabajo.

Capítulo 2: Requerimientos de mantenimiento relacionados con la seguridad.

Artículo 205.2. Diagrama unificar del sistema eléctrico.

Capítulo 4: Requerimientos de seguridad para instalaciones.

Artículo 400.6; 410.9 (B) (1), (2), (3); 410.9(C) (1) ,2. Estudio de coordinación de protecciones.

Artículo 400.11. Señalización para la protección a la descarga de arco

ANEXO 3

RESULTADOS DE CÁLCULOS DE LOS PARÁMETROS DEL ARCO

Hoja de cálculo para la corriente de arco basado en el estándar IEEE 1584-2002 – PUNTO P2					
Ibf: Corriente de corto circuito trifásica KA		V= Tensión del sistema		K= -0.153 config. abierta	
		G=Espacio entre conductores		K= -0.094 config. cerrada	
Fact 1	0.662xlog(Ibf)	Ibf=	38	Fact 1=	1.04
Fact 2	0.0966xV	V=	0.48	Fact 2=	0.04
Fact 3	0.000526xG	G=	70	Fact 3=	0.03
Fact 4	0.5588xVxLog(Ibf)			Fact 4=	0.42
Fact 5	0.00304xGxlog(Ibf)			Fact 5=	0.33
Fact 6	K	K=	-0.094	Fact 6=	-0.09
Fact 7	Fact1+Fact2+Fact3+Fact4+Fact5+Fact6			Fact 7=	1.79
Ia (KA)	10 elevado al Factor 7			Ia=	62.36

Hoja de cálculo para la Energía Incidente Normalizada basado en el estándar IEEE 1584-2002 - PUNTO P2					
Ia: Corriente de arco		K1= -0.792 config. Abierta		K2= 0 sin conexión a tierra	
G=Espacio entre conductores		K1= -0.555 config. Cerrada		K2= -0.113 conectado a tierra	
Fact 1	1.081xlog(Ia)	Ia=	62.36	Fact 1=	1.94
Fact 2	0.0011xG	G=	70	Fact 2=	0.07
Fact 3	K1	K1=	-0.555	Fact 3=	-0.55
Fact 4	K2	K2=	-0.113	Fact 4=	-0.11
Fact 5	Fact1+Fact2+Fact3+Fact4			Fact 5=	1.34
En (J/cm2)	10 elevado al Factor 5			En=	22.35

Hoja de cálculo para la Energía Incidente basado en el estándar IEEE 1584-2002 – PUNTO P2					
D: Distancia de trabajo (mm)		Cf: 1 Para V > 1KV		x: factor de distancia	
t: Tiempo de duración del arco		Cf: 1.5 para V < o = 1KV		E: Energía normalizada (J/cm2)	
Fact 1	$4.184 \times C_f \times E_n$	Cf=	1.5	Fact 1=	140.26
		En=	22.35		
Fact 2	$t/0.2$	t=	0.5	Fact 2=	2.5
Fact 3	$(610/D) \text{ ele a } x$	D=	1200	Fact 3=	0.32
		x=	1.64		
E (J/cm2)	Fact1xFact2xFact3			E=	115.52
E(cal/cm2)	E (J/cm2) x 0.24			E=	27.72

Hoja de cálculo para la Frontera de Protección basado en el estándar IEEE 1584-2002 – PUNTO P2					
Db: Distancia (mm)		Cf: 1 para V > 1KV		x: factor de distancia	
t: Tiempo de duración del arco		Cf: 1.5 para V < o = 1KV		E: Energía incidente (J/cm2)	
				En: Energía normalizada	
Fact 1	$4.184 \times C_f \times E_n$	Cf=	1.5	Fact 1=	140.33
		En=	22.35		
Fact 2	$t/0.2$	t=	0.5	Fact 2=	2.5
Fact 3	$1/E_b$	Eb=	115.52	Fact 3=	0.009
		x=	1.641		
Fact 4	$(\text{Fact1} \times \text{Fact2} \times \text{Fact3}) \text{ elevado a } 1/x$			Fact 4=	1.968
Db(mm)	$610 \times \text{Fact 4}$			Db=	1200.40

Hoja de cálculo para la corriente de arco basado en el estándar IEEE 1584-2002 – PUNTO P3					
I _{bf} : Corriente de corto circuito trifásica KA		V= Tensión del sistema		K= -0.153 config. abierta	
		G=Espacio entre conductores		K= -0.094 config. cerrada	
Fact 1	0.662xlog(I _{bf})	I _{bf} =	15	Fact 1=	0.77
Fact 2	0.0966xV	V=	0.48	Fact 2=	0.04
Fact 3	0.000526xG	G=	30	Fact 3=	0.01
Fact 4	0.5588xVxLog(I _{bf})			Fact 4=	0.31
Fact 5	0.00304xGxlog(I _{bf})			Fact 5=	0.10
Fact 6	K	K=	-0.094	Fact 6=	-0.09
Fact 7	Fact1+Fact2+Fact3+Fact4+Fact5+Fact6			Fact 7=	1.16
I _a (KA)	10 elevado al Factor 7			I _a =	14.77

Hoja de cálculo para la Energía Incidente Normalizada basado en el estándar IEEE 1584-2002 - PUNTO P3					
I _a : Corriente de arco		K1= -0.792 config. Abierta		K2= 0 sin conexión a tierra	
G=Espacio entre conductores		K1= -0.555 config. Cerrada		K2= -0.113 conectado a tierra	
Fact 1	1.081xlog(I _a)	I _a =	14.77	Fact 1=	1.26
Fact 2	0.0011xG	G=	30	Fact 2=	0.03
Fact 3	K1	K1=	-0.555	Fact 3=	-0.55
Fact 4	K2	K2=	-0.113	Fact 4=	-0.11
Fact 5	Fact1+Fact2+Fact3+Fact4			Fact 5=	0.62
En (J/cm ²)	10 elevado al Factor 5			En=	4.25

Hoja de cálculo para la Energía Incidente basado en el estándar IEEE 1584-2002 – PUNTO P3					
D: Distancia de trabajo (mm)		Cf: 1 Para V > 1KV		x: factor de distancia	
t: Tiempo de duración del arco		Cf: 1.5 para V < o = 1KV		E: Energía normalizada (J/cm2)	
Fact 1	$4.184 \times C_f \times E_n$	Cf=	1.5	Fact 1=	26.67
		En=	4.25		
Fact 2	$t/0.2$	t=	0.5	Fact 2=	2.5
Fact 3	$(610/D)$ ele a x	D=	1200	Fact 3=	0.32
		x=	1.641		
E (J/cm2)	Fact1xFact2xFact3			E=	21.96
E(cal/cm2)	E (J/cm2) x 0.24			E=	5.27

Hoja de cálculo para la Frontera de Protección basado en el estándar IEEE 1584-2002 – PUNTO P3					
Db: Distancia (mm)		Cf: 1 para V > 1KV		x: factor de distancia	
t: Tiempo de duración del arco		Cf: 1.5 para V < o = 1KV		E: Energía incidente (J/cm2)	
				En: Energía normalizada	
Fact 1	$4.184 \times C_f \times E_n$	Cf=	1.5	Fact 1=	26.68
		En=	4.25		
Fact 2	$t/0.2$	t=	0.5	Fact 2=	2.5
Fact 3	$1/E_b$	Eb=	21.9	Fact 3=	0.046
		x=	1.641		
Fact 4	$(\text{Fact1} \times \text{Fact2} \times \text{Fact3})$ elevado a $1/x$			Fact 4=	1.972
Db(mm)	$610 \times \text{Fact 4}$			Db=	12002.63