

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“APLICACIÓN DE MÉTODOS DE CONTROL PARA EVITAR CONTACTOS ELÉCTRICOS DIRECTOS E INDIRECTOS EN TABLEROS DE DISTRIBUCIÓN DE BAJA TENSIÓN”

TESIS DE GRADO

**Previa a la obtención del título de:
INGENIERO EN ELECTRICIDAD**

**Especialización
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

PRESENTADA POR:

Marcos Antonio Elizalde Apolo

Joaquín Alberto Negrete Argenzio

Guayaquil - Ecuador

2008

Agradecimiento

Primero a Dios, por la vida, por la ciencia, por nuestra familia. Queremos agradecer a todas las personas, maestros, amigos y familiares que a través de este largo camino que nos han llevado a la consecución del título de ingenieros, quienes supieron brindarnos, no solo su conocimiento sino también su apoyo y su consejo.

Y agradecer especialmente a aquellas personas que estuvieron junto a nosotros en los momentos difíciles de la vida, que nunca dejaron de alentarnos y siempre estuvieron vigilantes del desarrollo de nuestra tesis.

A todos ustedes nuestro más sincero agradecimiento

Dedicatoria

A mi padre y mi madre por sus valores,
A mi esposa por su perseverancia,
y para mi hijo mi legado.

Joaquin Negrete Argenzio

Dedicatoria

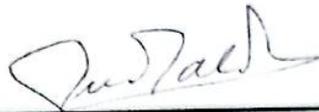
A mis padres, mi apoyo y mi guía incondicional
A mi padrino, por su esfuerzo y ayuda desinteresada
Por último y no por eso menos importante, a mi esposa Andrea y mi hija
Valeria quienes son fuente de inspiración para ser mejor cada día

Marcos Elizalde Apolo

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Holger Cevallos
Sub Decano de la FIEC



Ing. Juan Gallo Galarza
Director de la tesis



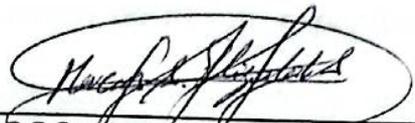
Ing. Alberto Manzur H.
Vocal



Ing. Jorge Aragundi
Vocal

DECLARATORIA EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral



MARCOS ANTONIO ELIZALDE APOLO
AUTOR DE TESIS



JOAQUÍN ALBERTO NEGRETE ARGENZIO
AUTOR DE TESIS

RESUMEN

En el capítulo uno se establecerá un marco de referencia, en el cual desarrollaremos nuestro tema. Consiste en explicar los términos bajo los cuales nos desenvolveremos; es así que mostraremos los conceptos de evaluación de riesgo, expondremos brevemente los distintos métodos que existen para evaluación y valorización de riesgos, luego de lo cual se nombrarán las normas para seguridad en las instalaciones eléctricas en baja tensión bajo las cuales regiremos nuestro análisis, como las de la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (NFPA por sus siglas en inglés), las del Comité Electrotécnico Internacional (IEC por sus siglas en inglés), etc.

En el segundo capítulo mostraremos los efectos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano, basándonos en estudios y experimentos realizados por Weber en 1897, la Asociación Electrotécnica Suiza 1929 y Freiburger en 1930. El análisis de estos experimentos nos permitirá conocer daños que

puede producir el paso de la corriente eléctrica por el cuerpo humano y los posibles efectos.

En el tercer capítulo estudiaremos las distintas clases de fallas por contacto eléctrico. Conoceremos lo que es una falla por contacto eléctrico directo o por contacto eléctrico indirecto y sus consecuencias. En este capítulo se mostrarán los peligros y riesgos presentes en cada una de estas fallas y las causas comunes por las que se producen este tipo de fallas, algunas de ellas atribuibles a los operadores y otras al entorno y los métodos más comunes para evitar este tipo de contacto eléctrico, implementando barreras y defensas. Estas causas y sus consecuencias y las barreras y defensas nos ayudarán a ampliar nuestro campo de análisis pues nos permitirán conocer las circunstancias a tener en cuenta para evaluar el riesgo y la manera de mitigarlo o reducirlo.

En el capítulo cuatro profundizaremos nuestro estudio focalizándonos específicamente en los tableros eléctricos de distribución. Aplicaremos el método de evaluación de riesgos denominado “Que pasa si...?” y analizaremos, con este método, los distintos peligros y riesgos que se presentan tanto en el entorno como en el interior del tablero, sus posibles

efectos y alcance de los daños a las personas o bienes. Desarrollaremos paso a paso el procedimiento para la Evaluación de Riesgos y obtendremos una serie de preguntas con respecto a los distintos riesgos presentes en el entorno del tablero. Como resultado, seleccionaremos las preguntas que se enmarcan en nuestro análisis y descartaremos las que no nos alejan del mismo.

El capítulo cinco es consecuencia del anterior, pues en este capítulo responderemos las preguntas seleccionadas de la lluvia de ideas, las responderemos procurando mostrar el enunciado de la norma y el daño que se podría producir en caso de no respetarla, además mostraremos, de ser el caso, las distintas barreras y defensas que se pueden implementar para reducir los riesgos o peligros analizados en el capítulo anterior. Estos datos nos ayudarán a conformar una lista de preguntas que nos permitirá realizar un formulario que permita evaluar rápidamente el riesgo presente en tablero de distribución.

En el capítulo seis se aplicará el documento obtenido en la industria de Artes Gráficas SENEFELDER, para demostrar la eficacia del mismo. En este capítulo se evaluará el riesgo en esta industria y con los resultados se hará

un análisis económico del costo de la implementación de las defensas y barreras y un análisis del costo – beneficio de la implementación de estas mejoras. Finalmente mostraremos las recomendaciones y conclusiones de nuestra investigación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	xi
Índice de Cuadros.....	xviii
Introducción	1
1 Definiciones y estándares a aplicar en riesgos eléctricos.....	3
1.1 Objetivo de la evaluación de riesgos	3
1.1.1 Los peligros eléctricos.....	8
1.1.2 Factores que contribuyen a los accidentes	9
1.2 Terminología en evaluación de riesgos eléctricos	9
1.3 Métodos utilizados para el análisis de riesgos.....	11
1.3.1 Métodos Cualitativos	11
1.3.2 Método cuantitativo	16
1.3.3 Método Semi-cuantitativo.....	17
1.3.4 Análisis Costos/Beneficios en la valorización de riesgos.	18
1.4 Tableros de distribución industriales de baja tensión	18
1.5 Normativas de aplicación.....	20
1.5.1 Normas legales en Ecuador	20
1.5.2 Normas y estándares internacionales aplicados	21
2 Identificación de los peligros a las personas.....	24
2.1 Comportamiento eléctrico del cuerpo humano expuesto a tensiones 26	
2.2 Impedancia del cuerpo humano.....	29
2.2.1 Impedancia interna.....	29
2.2.2 Impedancia de la piel	32
2.2.2.1 Influencia de la frecuencia	33
2.2.2.2 Influencia de la tensión de contacto.....	35
2.3 El Arco Llamada	36
2.4 Efecto de la temperatura en el tejido humano y vestimenta	38
2.5 Efectos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano	39
3 Clases y peligros de contactos eléctricos en tableros de distribución industriales de baja tensión.	46
3.1 El Contacto eléctrico directo	49
3.1.1 Definición.	49
3.1.2 Peligros y riesgos presentes en un contacto eléctrico directo...	50

3.2	El Contacto eléctrico indirecto	52
3.2.1	Definición.	52
3.2.2	Peligros y riesgos presentes en un contacto eléctrico indirecto.	53
4	Evaluación de riesgos de contactos directos e indirectos presentes en tableros industriales de baja tensión.	54
4.1	Selección del método de evaluación de riesgos	55
4.1.1	Descripción del Método “¿Que Pasa Si”	60
4.2	Aplicación del método “¿Que pasa si..?” para evaluación de riesgos eléctricos	63
4.2.1	Definir la actividad del sistema de interés y sus límites.	63
4.2.2	Recolección de la información necesaria.	69
4.2.3	Subdividir la actividad o sistema para el análisis.	70
4.2.4	Generar las preguntas “¿Qué pasa si...?”.	72
4.2.4.1	Preguntas “¿Qué pasa si...?” con respecto al riesgo provocado por el entorno en el que se instala un tablero.	72
4.2.4.2	Preguntas “¿Qué pasa si...?” con respecto al riesgo por mal diseño del tablero y sus componentes	73
4.2.4.3	Preguntas “¿Qué pasa si...?” con respecto al riesgo durante la operación y el mantenimiento del tablero.	77
5	Implementación de métodos de control y defensas en tableros de distribución industriales de baja tensión.	79
5.1	Respuestas a las preguntas “¿Qué pasa si...?” con respecto al entorno en el que se instala un tablero.	80
5.1.1	¿Qué pasa si el sitio destinado a ubicar el tablero no tiene las dimensiones mínimas requeridas para el trabajo?	81
5.1.2	¿Qué pasa si el tablero se encuentra ubicado en un sitio de acceso público?	86
5.1.3	¿Qué pasa si el tablero no tiene buena iluminación?	88
5.1.4	¿Qué pasa si el tablero está ubicado en el exterior?	89
5.2	Respuestas a las preguntas “¿Qué pasa si...?” con respecto al mal diseño del tablero y sus componentes.	90
5.2.1	Respuestas a las preguntas “¿Qué pasa si..?”, respecto a la carcasa o envoltorio del tablero.	91
5.2.1.1	¿Qué pasa si los espacios internos del tablero no cumplen las dimensiones requeridas?	92
5.2.1.2	¿Qué pasa si el tablero no requiere llave para su apertura?	95
5.2.2	Respuestas a las preguntas “¿Qué pasa si...?” con respecto al interruptor principal	96
5.2.2.1	¿Qué pasa si los terminales del interruptor principal no están bien ajustados?	97
5.2.2.2	¿Qué pasa si los terminales están sulfatados?	99
5.2.2.3	¿Qué pasa si luego de hacer pruebas se diagnostica que el interruptor está en mal estado?	100

5.2.2.4	¿Qué pasa si el interruptor principal está sobredimensionado?	101
5.2.2.5	¿Qué pasa si el interruptor no está correctamente asegurado?	103
5.2.2.6	¿Qué pasa si luego de analizar la red, el rango de lcc del interruptor es menor al requerido?	104
5.2.3	Respuestas a las preguntas “¿Qué pasa si...?” con respecto a las barras y aisladores	109
5.2.3.1	¿Qué pasa si la sección transversal de las barras de distribución está subdimensionada?	110
5.2.3.2	¿Qué pasa si el espacio de separación entre las barras es menor al mínimo requerido?	126
5.2.3.3	¿Que pasa si la longitud de la barra obliga a tener soportes adicionales y no los tiene?	127
5.2.3.4	¿Que pasa si el aislador esta subdimensionado?	128
5.2.3.5	¿Que pasa si los pernos de sujeción de la barra al aislador están flojos?	130
5.2.4	Respuestas a las preguntas “¿Qué pasa si...?” con respecto a los conductores y alimentadores	130
5.2.4.1	¿Que pasa si el aislamiento del conductor está deteriorado?	131
5.2.4.2	¿Que pasa si los radios de curvatura en el interior del tablero son muy pequeños?	133
5.2.4.3	¿Que pasa si el calibre del conductor que alimenta una carga está subdimensionado?	134
5.2.4.4	¿Que pasa si el tablero no tiene protección a tierra?	136
5.3	Respuestas a las preguntas “¿Qué pasa si...?” con respecto al riesgo durante la operación y el mantenimiento del tablero.	142
5.3.1	¿Qué pasa si el personal encargado de dar mantenimiento o de operar los tableros no ha sido debidamente entrenado?	143
5.3.2	¿Qué pasa si el personal encargado de mantenimiento u operación no utiliza equipos de protección personal?	145
5.3.3	¿Qué pasa si no se utilizan las herramientas adecuadas o las mismas en mal estado?	147
5.3.4	¿Qué pasa si no se realizan mantenimientos preventivos?	147
5.4	Elaboración de guía para implementar métodos de control y defensas en tableros industriales	149
6	Aplicación de formulario de evaluación y control de riesgos en un tablero de distribución.....	157
6.1	Selección de sistema a ser evaluado	157
6.2	Tabulación de datos obtenidos y resultado.....	160
6.3	Evaluación de costos de implementación de mejoras	179
6.4	Análisis costo/beneficio.....	181
	Conclusiones	185

Recomendaciones	191
ANEXO B.....	203
ANEXO C.....	210
ANEXO D.....	212
BIBLIOGRAFIA.....	214

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Diagrama de bloques que muestra el esquema de las etapas del análisis de riesgo.	7
Figura 2.- Representación esquemática del circuito equivalente del cuerpo humano.....	28
Figura 3.- Porcentaje de impedancia del cuerpo humano.....	30
Figura 4.- Esquema de la distribución de las impedancias internas del cuerpo humano.....	31
Figura 5.- Valores de la impedancia total del cuerpo humano	34
Figura 6.- Valores estadísticos de las impedancias totales del cuerpo humano para sujetos vivos	36
Figura 7.- Curva relación tiempo vs temperatura de tolerancia humana.....	39
Figura 8.- Gráfico tiempo vs. corriente que muestra la clasificación de las zonas según los efectos de la corriente.....	40
Figura 9.- Ejemplos de contactos directos de una persona.	49
Figura 10.- Ejemplos de contacto eléctrico indirecto.....	52
Figura 11.- Vista frontal e interior de un tablero de distribución.....	64
Figura 12.- Los dos espacios de instalación interior diferentes exigidos en las secciones 110.26(a) “espacio de trabajo” y 110.26(f) “espacio dedicado a la instalación eléctrica”	85
Figura 13.- Esquema de sistemas de protección por sobrecorriente sin coordinación y con coordinación de los dispositivos.....	106
Figura 14.- Efecto piel para conductores rectangulares.....	114
Figura 15.- Juego de curvas para calcular el factor de proximidad para conductores rectangulares de cobre.....	121
Figura 16.- Esquema que ilustra el principio de funcionamiento de un Interruptor Diferencial	139
Figura 17.- Puesta a Tierra de equipo..	141
Figura 18.- Puerta de acceso al interior del cuarto donde esta ubicado el tablero de distribución de Senefelder.....	158
Figura 19.- Tablero de distribución de Senefelder	159
Figura 20.- Interior del tablero de distribución de Senefelder.	159
Figura 21.- Curva tiempo-corriente del breaker principal de Senefelder, tomado del boletín IPIM-0275B de Siemens.....	163
Figura 22:- Etiqueta de advertencia para arco llamarada, para Senefelder.	166
Figura 23.- Acercamiento del juego de barras, las barras y los breakers se encuentran detrás de una cubierta de acrílico.	169

Figura 24.- Se observa la excesiva curvatura de los cables conectados a la barra, se observa también acumulación de polvo sobre las barras	169
Figura 25.- Temperatura medida en los terminales de entrada del breaker del tablero	170
Figura 26.- temperatura medida en uno de los juegos de cables conectados a las barras.	170
Figura 27.- Valor de corriente medido en el momento de la evaluación, I = 600 A	171
Figura 28.- Espacios y Fronteras, prohibidos, restringidos y de acercamiento.	194
Figura 29.- Etiqueta de advertencia.	201
Figura 30.- Etiqueta de restricción.	202

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I.- Resumen de los efectos fisiológicos de acuerdo a las zonas de riesgo.	42
Tabla II.-Tabla que muestra los rangos de voltaje bajo según ANSI C84.1:1977.	65
Tabla III.-Comparación de aplicaciones específicas para gabinetes de uso interior en lugares no clasificados peligrosos.	68
Tabla IV.- Espacios de trabajo referentes a la profundidad de la habitación que contiene un tablero o equipo eléctrico	84
Tabla V.- Esta tabla muestra la relación del voltaje de cortocircuito respecto a la potencia del transformador.....	108
Tabla VI.- B-1.- Valores del factor K para conductores aislados o conductores desnudos	116
Tabla VII.- Valor por el que se debe multiplicar la corriente simétrica para obtener la corriente pico en función del factor de potencia.....	119
Tabla VIII.- Espacios mínimos entre partes metálicas desnudas.....	126
Tabla IX.- Presupuesto de la implementación de mejoras para tablero de distribución de Artes Gráficas Senefelder.....	179
Tabla X.- Presupuesto de la implementación de mejoras para tablero de distribución de Artes Gráficas Senefelder.....	181
Tabla XI.- Análisis Costo/Beneficio de medidas de control para determinar cuales son las más convenientes a implementarse	184
Tabla XII.-Extracto de la tabla 130.2 (c) del NFPA 70-E. Fronteras de aproximación a partes energizadas para protección contra choque	195
Tabla XIII.-Factores para clases de Voltaje y Equipo, tomado de Análisis y Mitigación de Peligros por Arco Llamada	198
Tabla XIV.- Tabla 130.7 (C)(11) que muestra las características de la ropa de protección de acuerdo a la categoría de riesgo.	199

Índice de Cuadros

Cuadro 1.- Enunciado de la norma IEEE Standard 81.....	48
Cuadro 2.- Cuadro comparativo de los métodos de evaluación de riesgos y su propósito..	57
Cuadro 3.- Definición de tablero de distribución.	63
Cuadro 4.- Enunciado del artículo 205.1.....	72
Cuadro 5.- Preguntas de la lluvia de ideas con respecto al Entorno del Tablero.....	73
Cuadro 6.- Cuadro de preguntas “¿Qué pasa si...?” con respecto a la envolvente del tablero.....	74
Cuadro 7.- Cuadro de preguntas “¿Qué pasa si...?” con respecto al interruptor principal del tablero.....	75
Cuadro 8.- Cuadro de preguntas “¿Qué pasa si...?” con respecto a la selección de barras y aisladores del tablero.	76
Cuadro 9.- Cuadro de preguntas “¿Qué pasa si...?” con respecto a los conductores que entran y salen del tablero.	77
Cuadro 10.- Cuadro de preguntas “¿Qué pasa si...?” con respecto a los riesgos presentes durante la operación o mantenimiento del tablero.....	78
Cuadro 11.-Resumen del Art. 312.11 Espaciamiento partes (a1, a2 y a3) (b), (c), (d). No incluye las excepciones	94
Cuadro 12.- Enunciado de la sección 9.4.2 de la publicación NEMA PB 2.1-2000, sobre procedimiento de mantenimiento de tableros.	98
Cuadro 13.- Enunciado de la sección 110.16 del manual del NEC. Protección contra arco llamarada.	104
Cuadro 14.- Detalle de las fórmulas y los pasos para encontrar la resistencia y reactancia de cada punto en la instalación.	108

Introducción

Los tableros de distribución eléctrica se constituyen en el centro neurálgico de cualquier sistema eléctrico, pues son los encargados de distribuir la energía a los distintos equipos que conforman una industria o un local comercial. El manejo, operación o mantenimiento de los tableros y en general de cualquier equipo eléctrico, en condiciones inseguras generan riesgos, muchos de los cuales pueden terminar en incendios, lesiones e incluso la muerte, así como la destrucción parcial o total del sistema.

En Guayaquil hemos vivido cambios importantes provenientes de un mundo globalizado que exige cumplir con requisitos internacionales para poder ser competitivos y acceder a mercados internacionales. Los ingenieros eléctricos de esta ciudad y del país, no pueden quedarse relegados a este cambio que exige mayor responsabilidad en los diseños, implementación, operación y mantenimiento de proyectos eléctricos; un cambio que pide la implementación de reglas o normas para guiar a los ingenieros y realizar al mismo tiempo un compromiso legal junto con las organizaciones civiles y

profesionales para con los constructores, inversionistas, operadores y trabajadores, para la implementación de entornos de trabajo y procedimientos seguros para la correspondiente disminución o eliminación de accidentes.

En nuestra ciudad, en un esfuerzo por regular las instalaciones y obtener estas condiciones seguras, la empresa eléctrica distribuidora de energía, elaboró el NATSIM, un código que regula acometidas, cuartos de transformadores y sistemas de medición. Este código servirá de base para el inicio de nuestro análisis, pues se enmarca en nuestra realidad. Sin embargo, la propia globalización nos obligó a utilizar normas como el Código Nacional Eléctrico, las normas del Comité Electrotécnico Internacional, que son normas internacionales más elaboradas que a su vez son resultado de estudios y ensayos profundos o de la documentación de incidentes y el correspondiente análisis posterior. Serán estas normas las que tomaremos en cuenta cuando encontramos falencias o poca información en nuestro código local.

Esperamos que este esfuerzo compartido con nuestros compañeros de tópico sirva para marcar el punto de partida de una sociedad eléctricamente más segura.

1 Definiciones y estándares a aplicar en riesgos eléctricos

1.1 Objetivo de la evaluación de riesgos

La evaluación de los riesgos es el proceso dirigido a estimar la magnitud de los riesgos, aquellos que no hayan podido evitarse y aquellos que pudieran ocurrir; obteniendo la información que nos permita decidir apropiadamente sobre la adopción de medidas preventivas y en tal caso, sobre el tipo de medidas que deben adoptarse.

Si se pudiera de manera determinista fijar el daño causado por una actividad, y éste no pudiera variar (a peor ni a mejor), dicho daño se incorporaría a los propios resultados de la actividad, recibiría su tratamiento económico y no habría que cubrirlo con una póliza de seguros o precaución similar.

La definición convencional del riesgo corresponde al producto del daño causado por la probabilidad de que tal daño se produzca.

$$\text{Riesgo} = \text{Daño} \times \text{Probabilidad}$$

Esta definición se ha de concretar algo más, pues son muchos los tipos de daño que un producto o un proceso puede producir, y muy diversas las circunstancias (escenarios) en los que puede darse, por lo que la **evaluación de la probabilidad** también exige un conocimiento preciso de los mecanismos y medios por los que puede producirse un daño.

Los tipos de daños son variados, pudiendo distinguirse entre los daños a personas y los daños de naturaleza económica. Sobre los primeros cabe asimismo hacer una diferenciación entre los tipos de daño en función de las discapacidades que se produzcan, teniendo como límite superior el fallecimiento.

Conviene subrayar la diferencia entre **causa** y **daño** pues a menudo se utilizan borrosamente los términos para tipificar el riesgo, bien en función de su causa o bien en función de su efecto o daño. Por ejemplo actualmente se suele hablar de riesgos medioambientales y en ese caso se hace referencia al daño producido sobre el medio ambiente, el cual puede provenir de causas muy diversas. Sería más preciso hablar de daños medioambientales, puesto que el riesgo debe tener en cuenta el tipo de accidente originario.

Existe un método de resaltar la importancia de la seguridad y es valorizarla en función de sus *efectos económicos*. La peor repercusión de la siniestralidad son las defunciones, y la mayor parte de la normativa de seguridad va dirigida a la **protección de la vida humana**. Sin embargo, de considerar sólo ese aspecto, se suscita por parte de algunos la idea de que la seguridad es antieconómica, por obligar a unos gastos que no se rentabilizan. Consideramos que esa idea es superficial y errónea.

Puede haber algún caso concreto en que sea difícil evaluar la repercusión económica positiva que tienen las inversiones en seguridad, una forma simple de hacerlo es evaluar los efectos negativos asociados a la siniestralidad que se produciría de no hacer esas inversiones en seguridad. En dichos efectos hay que tener en cuenta que las propias vidas humanas (y el absentismo laboral subsiguiente a un percance) tienen una valoración económica neta (aunque a ello haga frente un seguro privado o la Seguridad Social). Obviamente la vida humana y la salud son bienes mucho más preciados que su mera valoración económica, pero ésta no debe olvidarse, y desde luego ha de contabilizarse al hacer los fríos **análisis costo-beneficio** que justifican las inversiones en seguridad.

Siendo importante lo anterior, relativo a las vidas humanas, no debemos olvidar la existencia de otros daños puramente económicos que inciden en la

actividad industrial siniestrada. Algunos de estos daños son directos, y requieren **reposición de equipo** y nuevas inversiones. Otros son más indirectos, pero incluso más dañinos, como es la **disfuncionalidad** que se produce en una organización humana cuando ocurre un siniestro.

El viejo dicho "nadie es imprescindible" puede ser una verdad a largo plazo, pero a corto plazo casi todas las personas de un equipo humano son insustituibles y su ausencia (mas aún si es accidentada) produce disfunciones.

Globalizando, los efectos económicos de la siniestralidad pueden ser, por **indemnizaciones**, inversiones de **recuperación y reposición**, y **lucro cesante** por disfunciones, falta de operatividad, interrupción de la producción, pérdida de clientes, etc.

El proceso de evaluación de riesgos se compone de las siguientes etapas:

- **Análisis del peligro**, mediante el cual se identifica y analizan las condiciones en las cuales se puede presentar y los daños que puede causar tanto a personas como equipos.
- **Análisis del riesgo**, se realiza valorando conjuntamente la probabilidad de que se presente el peligro y las consecuencias de que

este se materialice. El Análisis del riesgo nos proporcionará la magnitud del mismo.

- **Valoración del riesgo**, con el valor del riesgo obtenido, y comparándolo con el valor del riesgo tolerable, se emite un juicio sobre la tolerabilidad del riesgo en cuestión. Si de la evaluación del riesgo se deduce que el riesgo no es tolerable, hay que **Controlar el riesgo**.
- Al proceso conjunto de Evaluación del riesgo y Control del riesgo se le suele denominar **Gestión del riesgo**.

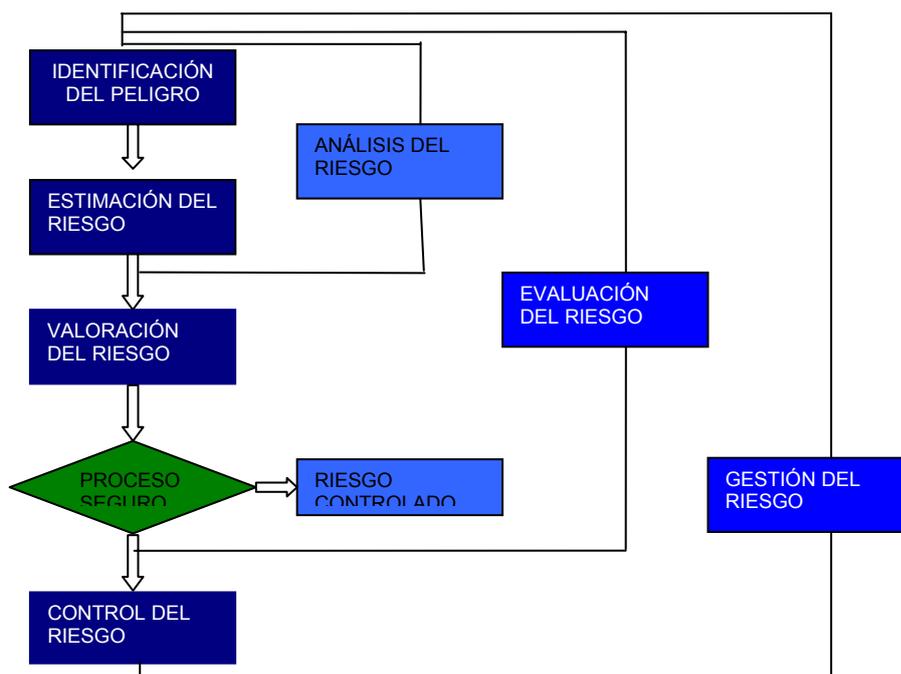


Figura 1.- Diagrama de bloques que muestra el esquema de las etapas del análisis de riesgo.

Si de la evaluación de riesgos se deduce la necesidad de adoptar medidas preventivas, se deberá:

1. Eliminar o reducir el riesgo, mediante medidas de prevención.
2. Controlar periódicamente las condiciones, la organización, los métodos de trabajo y el estado de salud de los trabajadores.

1.1.1 Los peligros eléctricos

La gran difusión industrial y doméstica de la corriente eléctrica, unida al hecho de que no es perceptible por los sentidos, hacen caer a las personas en una rutina, despreocupación y falta de prevención en su uso. Por otra parte dada su naturaleza y los efectos, muchas veces mortales, que ocasiona su paso por el cuerpo humano, hacen que la corriente eléctrica sea una fuente de accidentes de magnitud tal que no se deben regatear esfuerzos para lograr las previsiones adecuadas contra los riesgos eléctricos.

Las instalaciones, aparatos y equipos eléctricos tienen habitualmente incorporados diversos sistemas de protección contra los riesgos producidos por la corriente. Pero aunque estos sistemas sean muy buenos, no son suficientes para una protección total del trabajador.

1.1.2 Factores que contribuyen a los accidentes

En todo accidente intervienen el factor técnico, el factor humano y el factor organizativo:

- **Factores técnicos:** A veces se les identifica como condiciones materiales inseguras o peligrosas, también se denominan Fallos Técnicos.
- **Factores humanos:** Acciones u omisiones que originen situaciones potenciales de riesgo y de peligro que dan lugar a la aparición de accidentes. A veces se les llama Actos Inseguros ó Fallos Humanos.
- **Factores organizativos:** Relacionados con el tipo de organización y métodos de trabajo aplicados.

1.2 Terminología en evaluación de riesgos eléctricos

- a) **Instalación eléctrica**, todos los equipos eléctricos necesarios para la producción, transmisión, distribución y utilización de la energía eléctrica.
- b) **Peligro eléctrico**, Fuente o situación con potencial de producir daño, en términos de una lesión o enfermedad, daño a la propiedad, daño al ambiente del lugar de trabajo, o una combinación de éstos, debido a la presencia de energía eléctrica en una instalación.

- c) **Trabajo en caliente** es todo trabajo durante el cual, un trabajador entra en contacto con elementos con voltaje, ya sea con una parte de su cuerpo o con las herramientas, equipos o dispositivos que manipule.
- d) **Barrera** es un elemento que asegura la protección contra los contactos directos desde cualquier dirección habitual de aproximación.
- e) **Baja tensión** según la definición de la IEEE 141-1993, que se ampara en la definición ANSI C84.1-1989, se define como baja tensión al voltaje de un sistema siempre que sea menor a 1000 V (rms).
- f) **Media tensión** según la definición de la IEEE 141-1993, que se ampara en la definición ANSI C84.1-1989, se define como media tensión al sistema cuyo voltaje sea mayor o igual a 1000V pero menor a 100.000 V (rms).
- g) **Lugar de trabajo** cualquier lugar al que el trabajador pueda acceder, en razón de su trabajo.
- h) **Mediciones, ensayos y verificaciones** son actividades concebidas para comprobar el cumplimiento de las especificaciones o condiciones técnicas y de seguridad necesarias para el adecuado funcionamiento de una instalación eléctrica, incluyéndose las dirigidas a comprobar su estado eléctrico, mecánico o térmico, eficacia de protecciones, circuitos de seguridad o maniobra, etc.

1.3 Métodos utilizados para el análisis de riesgos

Existen tres tipos de métodos para el análisis de riesgos, cualitativo, cuantitativo y semi-cuantitativo. A continuación describiremos cada uno de ellos y brevemente explicaremos los distintos métodos asociados a cada uno.

1.3.1 Métodos Cualitativos

El análisis cualitativo usa palabras para describir la magnitud de consecuencias potenciales y la probabilidad de que eso ocurra. Estas escalas pueden ser adaptadas o ajustadas a las circunstancias y diferentes descripciones pueden ser usadas para diferentes riesgos. Los métodos cualitativos de análisis de riesgo más usados son:

Análisis histórico. Consiste en estudiar los accidentes registrados en el pasado en plantas similares o con productos idénticos o de la misma naturaleza, y se basa en informaciones de procedencia diversa.

HAZOP (o AFO, Análisis Funcional de Operatividad). Es una técnica de identificación de riesgos inductiva basada en la premisa de que los accidentes se producen como consecuencia de una desviación de las variables de proceso con respecto de los parámetros normales de operación. La característica principal del método es que es realizado por un equipo pluridisciplinario de trabajo.

La técnica consiste en analizar sistemáticamente las causas y las consecuencias de unas desviaciones de las variables de proceso, planteadas a través de unas “palabras guías”.

Análisis del modo y efecto de los fallos (FMEA). Este método consiste en la tabulación de los equipos y sistemas, estableciendo las diferentes posibilidades de fallo y las diversas influencias (efectos) de cada uno de ellos en el conjunto del sistema o de la planta.

Análisis preliminar de riesgos (APR). Fue el precursor de otros métodos de análisis más complejos y es utilizado únicamente en la fase de desarrollo de las instalaciones y para casos en los que no existen experiencias anteriores, sea del proceso, sea del tipo de implantación.

Listas de Chequeo. Son listas de fácil aplicación y pueden ser utilizadas en cualquier fase de un proyecto o modificación de una

planta. Es una manera adecuada de evaluar el nivel mínimo aceptable de riesgo de un determinado proyecto; evaluación necesaria en cualquier trabajo independientemente de sus características.

¿Que Pasa Sí...?. Método inductivo que exige el planteamiento de las posibles desviaciones desde el diseño, construcción, modificaciones de operación de una determinada instalación.

Requiere un conocimiento básico del sistema y la disposición mental para combinar o sintetizar las desviaciones posibles ya comentadas, por lo que normalmente es necesaria la presencia de personal con amplia experiencia para poder llevarlo a cabo.

Las preguntas se formulan en función de la experiencia previa y se aplican, tanto a proyectos de instalación, como a plantas en operación, siendo común su aplicación ante cambios propuestos en instalaciones existentes.

Evaluación Cualitativa de Frecuencias de Ocurrencia. Esta evaluación, se puede realizar mediante dos enfoques fundamentalmente distintos:

- Mediante una **valoración semi-cuantitativa**, que sin entrar en el análisis exhaustivo de las causas, puede asignar un nivel o rango de probabilidad a los accidentes.

- Mediante la **construcción y evaluación cualitativa de los árboles de fallos y eventos**. A través de esta técnica se puede realizar un estudio exhaustivo de las causas que conducen a un accidente, así como una valoración cualitativa de las que tendrán mayor peso en la frecuencia resultante final.

Los métodos más usados para la valorización cualitativa de la frecuencia de ocurrencias son:

- **Método del INSHT**. Es el método utilizado por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España INSHT, el cual es una entidad que pertenece al Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España. (MTAS).

Esta metodología se adapta muy bien para valorar los riesgos para los cuales no sabemos (o es arriesgado indicar) un nivel de probabilidad. Estimaremos la probabilidad de que un factor de riesgo se ponga de manifiesto como el producto del nivel de deficiencia y el nivel de exposición.

- **Árboles de fallos**. Esta técnica consiste en un proceso deductivo basado en las leyes del Algebra de Boole, que

permite determinar la expresión de sucesos complejos estudiados en función de los fallos básicos de los elementos que intervienen en él. De esta manera, se puede apreciar de forma cualitativa, qué sucesos son menos probables porque requieren la ocurrencia simultánea de numerosas causas. Para ello será necesario descomponer sistemáticamente un suceso complejo denominado suceso TOP en sucesos intermedios hasta llegar a sucesos básicos.

- **Árboles de sucesos.** El árbol de sucesos o análisis de secuencias de sucesos es un método inductivo que describe la evolución de un suceso iniciador sobre la base de la respuesta de distintos sistemas tecnológicos o condiciones externas.

Partiendo del suceso iniciador y considerando los factores condicionantes involucrados, el árbol describe las secuencias accidentales que conducen a distintos eventos.

- **Análisis causa-consecuencias.** Este método de análisis consiste en una combinación de árboles de fallos y árboles de sucesos. Posee la ventaja de su facilidad para ser usado como un buen recurso de comunicación, ya que los diagramas causa-consecuencia sirven para mostrar gráficamente las

consecuencias de los accidentes postulados y causas elementales que los provocan.

1.3.2 Método cuantitativo

El análisis de riesgos cuantitativo, involucra el cálculo de probabilidad y consecuencias, usando datos numéricos. Como tal, una cuantificación exacta de los riesgos ofrece la oportunidad de ser más objetiva y analítica que los enfoques cualitativos o semi-cuantitativos.

Los métodos más usados en el análisis de riesgo cuantitativo son exactamente los tres últimos descritos para la valorización cualitativa de frecuencia de ocurrencias:

- Árboles de Fallos.
- Árboles de Sucesos.
- Análisis Causas – Consecuencias.

Sin embargo cabe puntualizar que dentro del análisis cuantitativo el desarrollo de estos métodos hace uso exhaustivo de fórmulas matemáticas y análisis estadísticos, que muchas veces necesitan ser desarrolladas bajo software informático. Uno de los puntos negativos es la falta de datos estadísticos en nuestro campo de aplicación.

1.3.3 Método Semi-cuantitativo

Se entiende por métodos de evaluación de riesgo semi-cuantitativos, aquellos que, no llegando al detalle y rigor de una evaluación cuantitativa del riesgo, suponen un avance hacia ello desde los métodos cualitativos, en el sentido que son métodos que dan como resultado una clasificación relativa del riesgo asociado.

Los métodos desarrollados en este sentido y que son de mayor difusión y conocimiento general son:

- a) **Índices de Dow de fuego y explosión.**
- b) **Índice de Mond.**

La principal diferencia frente al Índice de Dow, reside en que el Índice de Mond considera la toxicidad de las sustancias presentes, y este parámetro es introducido como un factor independiente, considerando los efectos de las sustancias tóxicas por contacto cutáneo o por inhalación.

1.3.4 Análisis Costos/Beneficios en la valorización de riesgos.

El análisis Costo/Beneficio debe ser uno de los objetivos de la valorización de riesgos. Es usado para encontrar el mejor criterio para seleccionar la opción de control más efectiva para minimizar los riesgos. El beneficio de la solución es en realidad la reducción del coste del riesgo y puede ser determinado computando el coste anual antes y después.

1.4 Tableros de distribución industriales de baja tensión

Queda definido que se entiende por tablero a todo agrupamiento de interruptores, relés, aparatos de medida o cualquier otro implemento eléctrico dentro de una envolvente adecuada, destinado a comando o maniobra, control y protección de instalaciones. En este punto es necesario hacer una diferenciación establecida en la Normas para Tableros publicada por la

Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (NEMA por sus siglas en inglés), de acuerdo a su uso. Esta institución establece una diferencia clara entre lo que se comprende por tableros de distribución:

- En la publicación PB 1-2006: Se habla de paneles indicando que el alcance de la norma cubre paneles sencillos o grupos de paneles adecuados para ser ensamblados en forma de tableros sencillos, lo que incluye: barras colectoras, con o sin interruptores, dispositivos de protección automáticos de sobrecarga (fusibles o breakers) o ambos. Estas unidades son usadas en la distribución de electricidad para luz, calor y potencia hasta 600 voltios o menos con:
 - 1600 amperios o menos en el circuito principal
 - 1200 amperios o menos en los circuitos derivados.
- En la publicación PB 2-2006 , habla de tableros de distribución de frente muerto, montados sobre el piso, compuestos por una envolvente, una caja moldeada e interruptores automáticos de baja tensión, desconectores con fusible o sin fusible, instrumentos y equipo de medición, monitoreo o control, con interconexiones afines y estructuras de soporte. Estas unidades se utilizan para distribuir electricidad a razón de:
 - a. 600 volts o menos
 - b. 6000 amperes o menos

1.5 Normativas de aplicación

Las normativas y estándares a usar durante el desarrollo de la tesis son relativos a normas de diseño y normas de seguridad para instalaciones eléctricas. También están involucradas las normas de seguridad laboral al momento de realizar trabajos en instalaciones eléctricas, y aquellas que dictan consideraciones generales de seguridad.

1.5.1 Normas legales en Ecuador

Como normas legales en Ecuador tenemos el “Reglamento de Seguridad del Trabajo contra riesgos en instalaciones de Energía Eléctrica”, que fue aprobado el 28 de febrero de 1996 por el Comité Interinstitucional de Seguridad e Higiene del Trabajo. Finalmente aprobado por el Ministerio de Trabajo y Recursos Humanos el 22 de enero de 1998, y publicado en el registro oficial el 3 de febrero de 1998. Consta de tres capítulos:

- I. Disposiciones que deben observarse en el caso de instalaciones eléctricas.
- II. Normas de seguridad para el personal que interviene en la operación y mantenimiento de instalaciones eléctricas.

III. Normas para intervención en equipos, instalaciones y casos especiales.

1.5.2 Normas y estándares internacionales aplicados

En lo que se refiere a las normas y los estándares internacionales hay una gran cantidad de información bien sea con respecto a la seguridad o con respecto a las instalaciones eléctricas inclusive también se da el caso de normas que involucran los dos campos al mismo tiempo. Entre las principales normas tenemos:

El Código Nacional Eléctrico (NEC por sus siglas en inglés), fue escrito en los Estados Unidos de América en 1897, y desde 1911 la Asociación Nacional para la Protección contra Incendios (NFPA por sus siglas en inglés) viene actuando como patrocinador del NEC.

En el Internet es posible encontrar¹⁾ que el Ecuador ha adoptado oficialmente el NEC como su código principal. El Propósito de este código es la protección práctica de las personas y la propiedad debido a los peligros que se pudieran suscitar del uso de la electricidad.

1 http://findarticles.com/p/articles/mi_qa3737/is_/ai_n9360464

Este código contiene las previsiones que son consideradas necesarias para la seguridad. El cumplimiento a cabalidad de estas normas y el mantenimiento adecuado darán como resultado una instalación que esencialmente está libre de peligros.

La NFPA 70E se creó el 7 de enero de 1976 por el consejo de Normas de la NFPA y se reunió con el nombre de Comité Sobre los Requisitos de Seguridad Eléctrica para los Lugares de Trabajo de los Empleados. Este comité se formó para ayudar a Administración para la Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA por sus siglas en inglés) en la preparación de normas de seguridad eléctrica que ayuden a las necesidades de OSHA y que se pueda promulgar rápidamente utilizando lo previsto en la sección 6 (B) de la ley de seguridad y salud ocupacional. Las normas de la OSHA referentes a la seguridad eléctrica en la industria están publicadas en el tomo 29 del Código de Regulaciones Federales (CFR por sus siglas en inglés), estas normas están basadas en el NFPA70.

La norma que rige para la comunidad europea, es propiedad de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC por sus siglas en inglés), con cuartel general en Geneva, Suiza. Debido a que los países europeos están muy

cercanos uno de otro, la armonización de los requerimientos de las instalaciones eléctricas llegó a ser deseable. En 1969 un número de países europeos se embarcó en un esfuerzo para armonizar sus respectivas prácticas nacionales de cableado. La multitud de diferencias trajo como resultado que este esfuerzo no sea exitoso, pero sirvió como base para definir las normas con respecto al fuego y la seguridad de la vida.

2 Identificación de los peligros a las personas

Para iniciar el análisis de la evaluación de los riesgos es necesario conocer cuales son los efectos de la circulación de la corriente eléctrica en el cuerpo humano. Esto ha sido ampliamente estudiado y documentado en distintos países y tomaremos como base estas experiencias para nuestro documento. Existen dos grupos de personas que pueden resultar afectados y estos son los electricistas y los usuarios.

El primer grupo, los electricistas, lo conforman un grupo de personas que han aprendido el oficio por experiencia y necesidad por lo que se considera que no tienen preparación o conocimiento técnico, lo que los convierte quizás en el grupo más peligroso pues realizan instalaciones inseguras, lo que deriva en accidentes o incendios.

En algunas industrias los electricistas están a cargo del mantenimiento de equipos hasta un cierto nivel y son los encargados de solucionar, en primera instancia, problemas que se pueden presentar. El grado de educación de estos electricistas muchas veces alcanza la primaria y en pocas ocasiones secundaria o bachillerato. Existen algunas industrias que contratan electricistas graduados de colegios técnicos o tecnólogos.

El segundo grupo lo conforman los usuarios quienes de alguna forma conocen que la electricidad es peligrosa, pero no conocen los riesgos que se presentan por realizar malas instalaciones.

Para poder identificar el peligro y el riesgo presente por efectos de la corriente en este capítulo analizaremos el comportamiento del cuerpo humano expuesto a tensiones, de manera tal que podamos entender la forma en que reacciona nuestro cuerpo y las posibles consecuencias al someternos al paso de corriente.

Luego profundizaremos nuestro análisis mostrando con datos, mediciones realizadas y tablas obtenidas, la impedancia total del cuerpo humano, y con

estos datos calcular la intensidad de corriente que puede afectar nuestro cuerpo.

También se describirá de forma breve el arco eléctrico y cuales son sus efectos sobre el cuerpo humano. Finalmente mostraremos con fotografías y artículos los efectos de la corriente alterna en el cuerpo humano.

2.1 Comportamiento eléctrico del cuerpo humano expuesto a tensiones

Para poder estudiar y comprender el comportamiento del cuerpo humano expuesto a tensiones se han realizado varios experimentos y estudios desde hace muchos años atrás.

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

Los efectos que la corriente eléctrica puede producir dependen de varios factores entre ellos la trayectoria, intensidad del contacto, duración del paso de la corriente, pero principalmente de la impedancia corporal, la cual juega un papel fundamental.

Es así que Weber en 1897 realizó las primeras mediciones, exponiendo a seres humanos vivos a bajas tensiones. La Asociación Electrotécnica Suiza realizó experimentos con tensiones inferiores a 100 V en 1929 y es Freiburger en 1930 quien obtuvo con más precisión la impedancia del cuerpo humano, realizando pruebas con cadáveres a los que sometió a tensiones de hasta 5000 V y con seres vivos a quienes sometió a tensiones de hasta 50 V.

Los resultados de Freiburger lograron obtener un esquema similar al que se muestra a continuación:

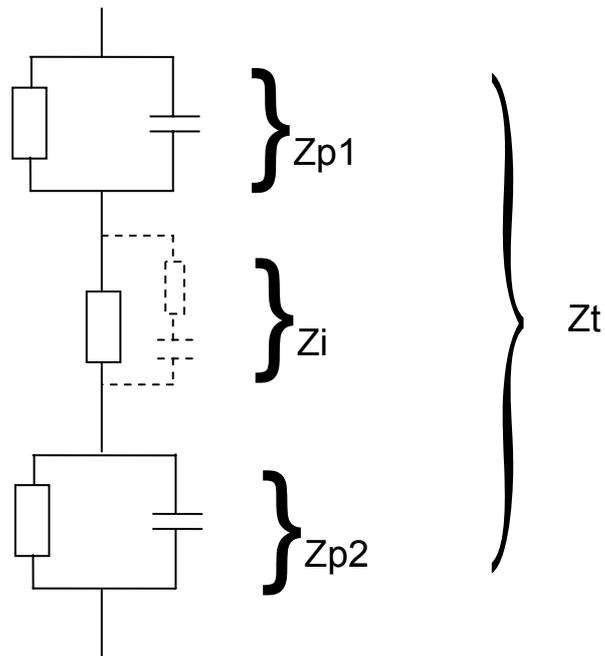


Figura 2.- Representación esquemática del circuito equivalente del cuerpo humano. Z_{p1} y Z_{p2} es la impedancia de la piel de entrada y salida respectivamente y Z_i es la impedancia interna, todas ellas en las zonas de entrada y salida de la corriente.

Como podemos ver en la figura anterior, la impedancia del cuerpo tiene tres componentes que son las dos impedancias de la piel Z_{p1} y Z_{p2} y la impedancia interna. La impedancia total del cuerpo humano para un camino de entrada y salida será entonces la suma vectorial de estas tres impedancias. Entonces podemos concluir que el cuerpo humano se comporta como un circuito RC con impedancias en serie.

2.2 Impedancia del cuerpo humano

Como vimos, la impedancia del cuerpo humano está compuesta por tres impedancias, de las cuales se pueden clasificar en 2 grupos: la impedancia interna del cuerpo y la impedancia de la piel.

2.2.1 Impedancia interna

Es la impedancia propia de los órganos internos de un ser vivo, la cual puede ser considerada como resistiva. Su valor depende esencialmente del trayecto de la corriente y en poca medida de la superficie de contacto. Los resultados también muestran que puede existir una pequeña componente capacitiva la cual aparece representada en la figura 2.

Los estudios han determinado que el 95% de la población tiene una **resistencia interna** de **500 Ω** , para un trayecto de mano a mano o de mano a pie y que se ve muy poco afectado por factores externos como son humedad, temperatura, etc. El gráfico a continuación nos muestra los valores de impedancia interna del cuerpo humano para diferentes trayectos, expresados en porcentaje del valor para el trayecto entre la parte correspondiente del cuerpo y la mano.

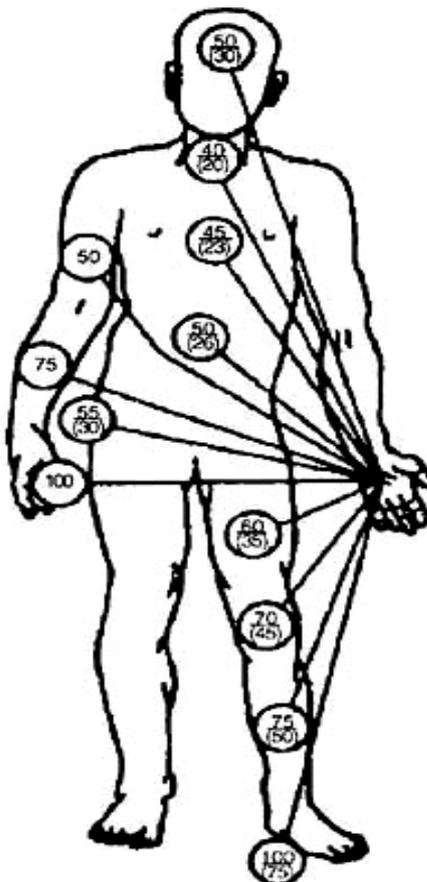


Figura 3.- Porcentaje de impedancia del cuerpo humano. Los números indican el porcentaje de la impedancia del cuerpo humano para el camino indicado en relación al camino mano a mano (100%). Los números entre paréntesis se refieren al camino de la corriente entre las dos manos y la parte correspondiente del cuerpo. Tomado de 1er. Curso de Seguridad Eléctrica actualizado. CAMBRE Cap. 1.

Como resultado de esta evaluación se ha podido determinar que la cabeza tiene una impedancia de 50Ω y que el valor de un dedo es de 1000Ω . Además se llegó a la conclusión de que si despreciamos la resistencia del tronco, la resistencia del cuerpo humano se concentra en las extremidades.

El gráfico a continuación muestra el circuito equivalente del cual se ha establecido que cada extremidad tiene una resistencia de 250Ω .

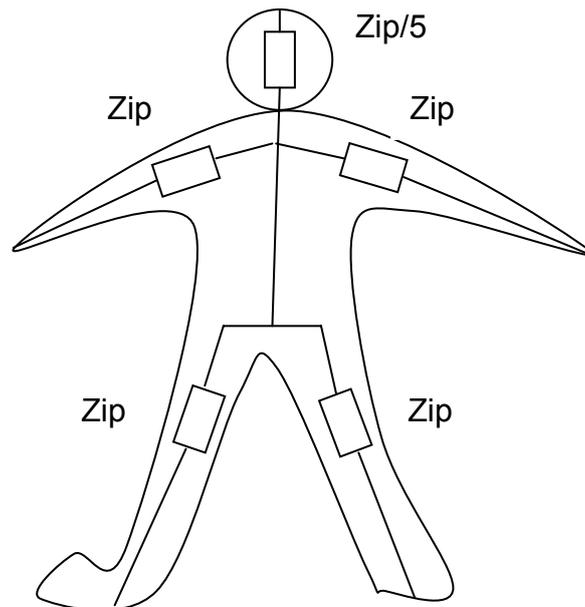


Figura 4.- Esquema de la distribución de las impedancias internas del cuerpo humano

En este punto vale la pena definir los siguientes conceptos:

- **Intensidad de contacto.-** O corriente de contacto es la corriente eléctrica que circula a través del cuerpo humano o del animal cuando se establece contacto con una o varias partes accesibles de materiales eléctricos o de una instalación, en condiciones normales o de defecto.

- **Tensión de contacto.**- La cual puede ser efectiva y supuesta.
 - **Tensión de contacto efectiva.**- Es la tensión entre dos partes conductoras tocadas simultáneamente por una persona o animal y puede verse sensiblemente afectada por la impedancia de la persona o del animal en contacto con esas partes conductoras.
 - **Tensión de contacto supuesta.**- Es la tensión que aparece entre las partes conductoras cuando esas partes conductoras no son tocadas por una persona o un animal.

2.2.2 Impedancia de la piel

La impedancia de la piel es la primera en presentarse al haber un contacto. Como vimos en nuestro esquema de la figura 2 esta impedancia puede considerarse como una red de resistencias en las que se involucra la resistencia de la epidermis y pequeñas capacitancias provocada por la dermis, debiendo destacar que su valor varía ampliamente dependiendo del voltaje aplicado, superficie de contacto, temperatura corporal, la transpiración del individuo, tensión de contacto, frecuencia de la red, etc. Todos estos parámetros influyen en la impedancia de la piel.

Los experimentos realizados concluyen además que en el instante en que se aplica la diferencia de potencial en las áreas de contacto, las capacitancias del cuerpo están descargadas y presentan una impedancia nula, por lo que la resistencia inicial que presenta el organismo es, prácticamente Z_i (impedancia interna) de la figura 3.

Los experimentos realizados han sido documentados y la norma UNE 20572-1:1997 explica la forma en que se compone el cálculo de la impedancia para la piel, debido a la gran dependencia de varios factores.

2.2.2.1 Influencia de la frecuencia

Debido a las características capacitivas de la piel del ser humano, su comportamiento se puede ver afectado por la frecuencia de la red con la que hace contacto el afectado. Como resultado, cuando mayor sea la frecuencia de la red, menor será la impedancia de la piel y por tanto más conductiva. Debido a esto, la impedancia total del cuerpo humano será más elevada en corriente continua que en corriente alterna, aunque estas diferencias no se mantengan para todos los valores de tensión. El gráfico a continuación nos

muestra el comportamiento de la impedancia total del cuerpo en relación a la frecuencia.

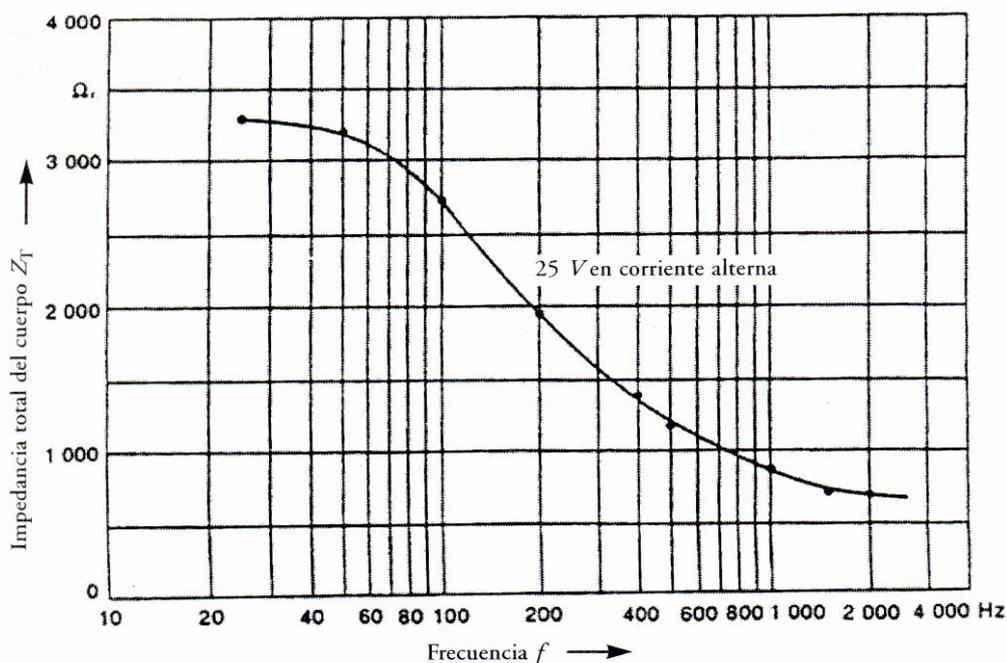


Figura 5.- Valores de la impedancia total del cuerpo Z_t medidas sobre un sujeto humano vivo con un trayecto de mano a mano, con importantes zonas de contacto para una tensión de contacto de 25 V y una frecuencia de 25 Hz a 2 KHz.

Obsérvese que el comportamiento de la impedancia a baja frecuencia es casi constante y está en un valor superior a los 3000Ω . Este valor se mantiene entre los 25 y 60 Hz. Valores superiores a éstos tienen una variación distinta y se puede observar que a medida que aumenta la frecuencia, disminuye la impedancia, haciendo al cuerpo más conductor. Valores arriba de los 1000 Hz tienen un comportamiento casi constante sin importar la tensión de contacto y se puede decir que a 2000 Hz, la piel ha perdido sus

características aislantes, por lo que a esta frecuencia se puede concluir que la impedancia total del cuerpo humano es la impedancia interna.

2.2.2.2 Influencia de la tensión de contacto

En corriente continua y en corriente alterna, para tensiones de hasta 50 V el valor de la impedancia de la piel y, por tanto, la del cuerpo humano varía ampliamente, incluso para una misma persona, en función de la superficie de contacto, de la presión, del lugar de la palma de la mano en la que se produzca el contacto, de la temperatura, de la transpiración y de una respiración rápida.

Como podemos observar en la figura a continuación, para tensiones de hasta 220V a frecuencias industriales o continuas el comportamiento de la impedancia de la piel se muestra a continuación.

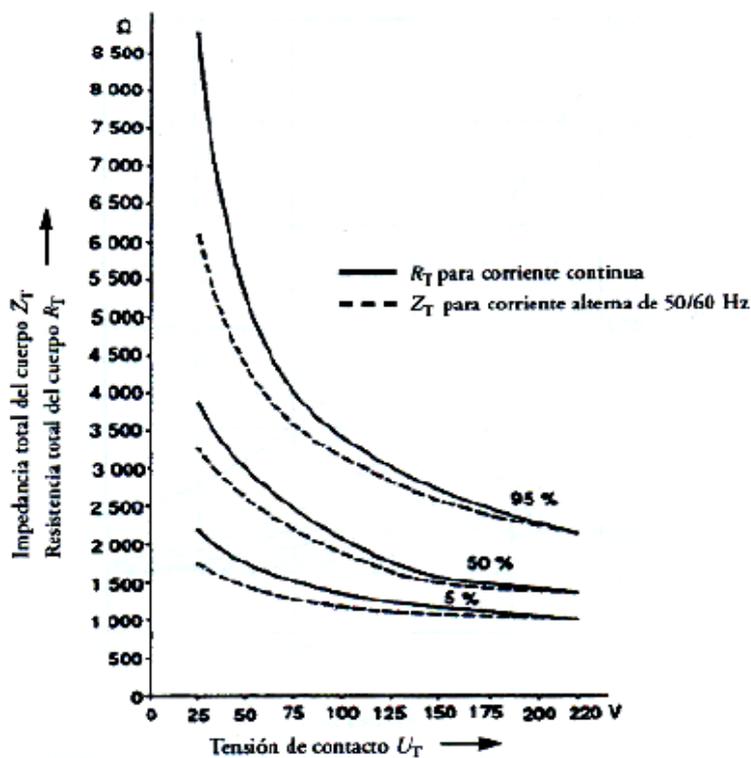


Figura 6.- Valores estadísticos de las impedancias totales del cuerpo humano para sujetos vivos, para un trayecto de mano a mano o mano a pie, para tensiones de contacto hasta 220 V en corriente alterna 50/60 Hz y en corriente continua.

2.3 El Arco Llamarada

Otro de los peligros presentes en las instalaciones eléctricas y en los tableros de distribución es el conocido como arco llamarada. El arco llamarada (del inglés Arc Flash) es el resultado de una rápida liberación de energía debido a un falla de arco entre una dos fases, fase y neutro o fase y tierra. El arco llamarada produce intenso calor, explosiones sonoras y ondas de presión. Se tienen temperaturas extremadamente altas, intenso calor radiante, puede

quemar la ropa y causar severas quemaduras en la piel que pueden ser fatales.

La descarga de arco produce una radiación térmica y una intensa luminosidad, se han realizado pruebas en las que se alcanzan hasta 19.500 °C. Esto es 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 del aire. Todos los materiales conocidos son vaporizados a esta temperatura. Cuando los materiales son vaporizados, estos se expanden en volumen, la explosión puede propagar el metal derretido en el aire con gran fuerza.

El arco puede ser iniciado por las siguientes causas: Impurezas y polvo, corrosión, contactos accidentales, caída de herramientas, sobre voltajes a través de espacios estrechos, falla de los materiales aislantes.



Fotografía 1.- Explosión de arco llamarada. Tomado de la página web de Electrical Products & Solutions www.epsmag.net

2.4 Efecto de la temperatura en el tejido humano y vestimenta

El ser humano puede existir en un rango relativamente pequeño de temperaturas normales para la sangre que oscila alrededor de los 36,5°C. Temperaturas muy por encima de este valor requieren aislamientos con vestimentas especiales y valores ligeramente por encima de este valor pueden ser compensados con el sudor.

Se ha demostrado que a temperaturas tan bajas como 44°C, el mecanismo de temperatura del cuerpo humano se descompone en aproximadamente 6 horas, de tal manera que se puede producir daño celular después de estar expuesto a esta temperatura por 6 horas. Entre 44 y 51°C, la tasa de

destrucción de células se duplica por cada grado centígrado de incremento y por encima de 51°C esta tasa aumenta extremadamente rápido. A 70°C basta un segundo de exposición para causar una destrucción total de la célula. La curva a continuación muestra la relación entre el tiempo para muerte celular y temperatura.

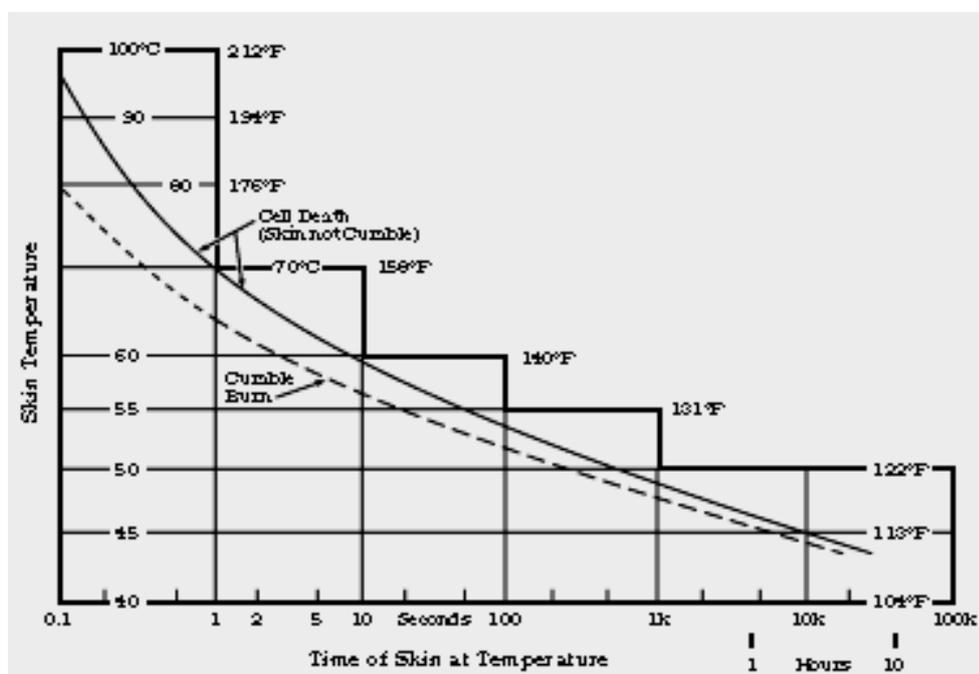


Figura 7.- Curva relación tiempo vs temperatura de tolerancia humana. Tomado de “The other Electrical Hazard-Electric Arc Blast Burns”, por Ralph Lee.

2.5 Efectos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano

Con los antecedentes expuestos, podemos hablar de los efectos fisiológicos de la corriente en el cuerpo humano y como vemos, estos pueden ser letales.

La norma **UNE 20572-1:1997** ha establecido que la trayectoria para las pruebas se describe desde la mano izquierda a los dos pies. Dada esta trayectoria, el comité evaluador logró establecer la siguiente curva: Corriente de referencia I_{NEF} vs. duración del paso de corriente t , en un rango de frecuencia de 15 a 100 Hz.

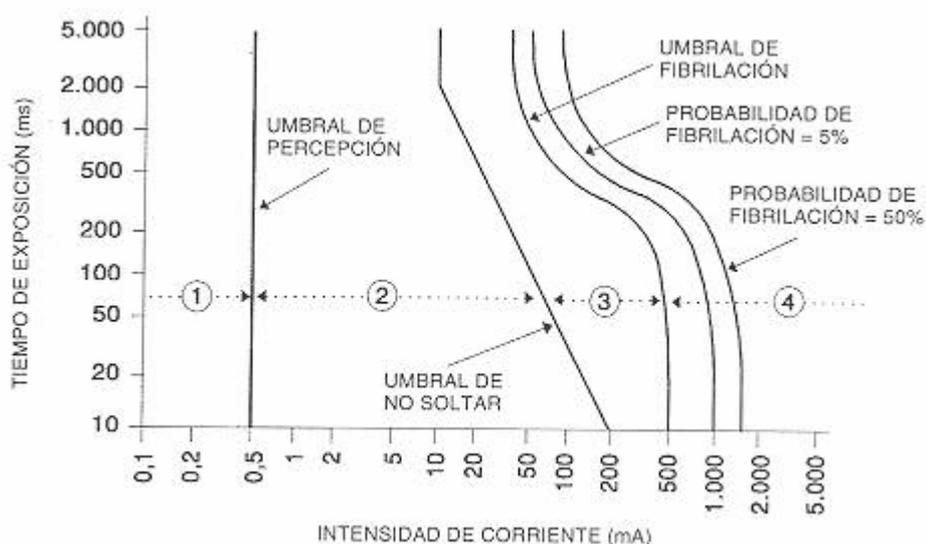


Figura 8.- Gráfico tiempo vs. corriente que muestra la clasificación de las zonas según los efectos de la corriente. Tomado de Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España, basado en la norma CEI-479-1-1994.

Como resultado de estas experiencias se pudo determinar:

- **Zona 1:** Está delimitada por el umbral de reacción, es decir, por el valor mínimo de la corriente que provoca las contracciones musculares que se producen a partir de 0,5 mA. Como se puede observar este campo está delimitado sin importar la duración del

contacto y en condiciones normales, este campo no produce ninguna reacción.

- **Zona 2:** Está delimitada entre $0,5mA$ y $10 mA$ ó umbral de no soltar. La norma considera $10 mA$ como frontera sin límite de tiempo y extiende su campo hasta $500 mA$ con un límite de tiempo de $20 ms$, tiempo en el cual se garantiza que no se prevén efectos fisiológicos peligrosos, pero las descargas pueden ser dolorosas.
- **Zona 3:** Está delimitada por la frontera marcada de la zona 2 y por la curva c_1 , cuyos valores varían desde $500 mA$ durante un máximo de $10 ms$ asintóticamente hasta $40 mA$. En esta zona se produce la rigidez muscular, es decir los músculos quedan agarrotados. En esta zona no se producen daños fisiológicos, pero el choque será muy doloroso. Es probable además dificultades de respiración, para duraciones mayores a $2 s$. También pueden producirse arritmias y paradas temporales del corazón sin fibrilación ventricular.
- **Zona 4:** Esta zona es de riesgo y no se debe permitir el trabajo en estas circunstancias. Comienza con intensidades superiores a los $40 mA$ con tiempos superiores a $3 s$ y aumenta asintóticamente hasta intensidades superiores a $500 mA$ sin importar el tiempo.
- En esta zona se encuentran marcadas 3 curvas, C_1 , C_2 y C_3 , las cuales corresponden respectivamente al 5% , 50% y 95% de la población.

- En esta zona los efectos son graves. Se pueden producir paradas respiratorias, paradas cardiacas y quemaduras graves y aumenta progresivamente el riesgo de la fibrilación ventricular, es decir que el corazón pierde su ritmo de palpitación e incluso puede paralizarse.

Tabla I	
Zonas	Efectos Fisiológicos.
Zona I	Normalmente sin reacción.
Zona II	Usualmente sin efectos fisiológicos.
Zona III	Usualmente no se esperan daños orgánicos. Aparecen contracciones musculares y dificultad en la respiración, disturbios reversibles de impulsos en el corazón. Paros cardiacos transitorios sin fibrilación ventricular se incrementan con la corriente y el tiempo.
Zona IV	En adición a los efectos de la Zona III, la probabilidad de fibrilación ventricular se incrementa hasta un 5% sobre (curva C2), y hasta un 50% (curva C3), y arriba de un 50% por encima de la curva c3. Los efectos de paros cardiacos, respiratorios y quemaduras pueden ocurrir con el incremento de la corriente y el tiempo.

Tabla I.- Resumen de los efectos fisiológicos de acuerdo a las zonas de riesgo.



Como conclusión de este cuadro podemos distinguir los siguientes tipos de lesiones:

- **A nivel local:** Quemadura blanco-amarillenta, endurecida, normalmente de bordes elevados, centro deprimido e indolora. Junto a las quemaduras en la zona de entrada y



salida, se establece un área de destrucción celular alrededor, poco aparente al principio. En el trayecto de la corriente por el interior del organismo, se produce destrucción muscular con liberación de sustancias capaces de ocasionar, como en el caso de la mioglobina, trombosis vascular, gangrena y

fallo renal por obstrucción de las arteriolas del riñón. Es característico que se produzcan fracturas debidas a la propia corriente y a las fuertes sacudidas musculares que éstas producen.

En ocasiones se producen las llamadas "quemaduras por arco", cuando la corriente sigue la superficie cutánea, por ser la que menos resistencia ofrece, y buscar tierra directamente a partir de la piel. En este caso, las quemaduras cutáneas serán gravísimas, pero la corriente no atraviesa el cuerpo humano y no hay lesiones internas.

- **A nivel general:** Según el tiempo transcurrido distinguimos un cuadro precoz y otro tardío:
 - **Cuadro precoz:** Puede llevar al accidentado a la muerte inmediata. Las posibles manifestaciones son:
 - **Paro cardiaco:** Se produce al atravesar la corriente el corazón con ausencia de contracción y paro circulatorio.

El mecanismo fundamental es la fibrilación ventricular, en la cual se producen contracciones cardíacas anárquicas y desorganizadas de numerosas células ventriculares al mismo tiempo. Ello hace que la contracción global del corazón sea inefectiva y no se bombee la sangre. Se presenta con intensidades de 100 mA y cuando el choque eléctrico tiene una duración superior a 0,15 segundos, el 20 % de la duración total del ciclo cardíaco medio, que es de 0,75 segundos.

- Asfixia: Se produce cuando la corriente atraviesa el tórax. Ello impide la contracción de los músculos de los pulmones y cese de la respiración.
- Quemaduras: Pueden ser internas o externas, según el paso de la intensidad de la corriente. La presencia de dificultad respiratoria, quemaduras de los pelos de la nariz o de la boca, indican posible riesgo de quemadura interna a nivel del árbol traqueo-bronquial, de muy mal pronóstico.
- Tetanización: O sacudidas por contracciones musculares intensas. Consiste en la anulación de la capacidad de reacción muscular que impide la separación voluntaria del punto de contacto.

- **Cuadro tardío:** Se caracteriza por la afectación neurológica y renal.
 - Lesiones nerviosas: Parálisis y contracturas permanentes por lesión del sistema nervioso. Disminución del nivel de consciencia, coma e incluso muerte por convulsiones.
 - Lesión renal: Bloqueo de la función urinaria y muerte.

De lo descrito hasta aquí, tenemos que las lesiones que se pueden causar son muy graves, por lo tanto debemos precautelar la seguridad de las personas dando a conocer los riesgos de un choque eléctrico y sus consecuencias, haciendo conciencia en los usuarios y los electricistas, capacitándolos y entrenándolos.

3 Clases y peligros de contactos eléctricos en tableros de distribución industriales de baja tensión.

Los riesgos eléctricos están presentes en prácticamente todo proceso industrial o residencial, debido a que la energía eléctrica se ha convertido en la de mayor uso cotidiano. La norma para la Seguridad Eléctrica en los Lugares de Trabajo NFPA 70 E, establece estrictamente en el artículo 110.3, que la responsabilidad en las prácticas de trabajo relacionadas con la seguridad es del empleado. Sin embargo, hace hincapié en la responsabilidad del entrenamiento por parte del empleador e indica que éste debe proveer las prácticas de trabajo relacionadas con la seguridad. Es por esto que debemos analizar cuales son las causas y consecuencias de los contactos eléctricos.

En países más desarrollados como España, según el Real Decreto 1627/97, existe obligatoriedad del estudio de seguridad y salud o del estudio básico de seguridad y salud en obras, por parte de un ingeniero calificado. Como podemos ver la importancia de la seguridad en las instalaciones y en la operación de dichos proyectos se ha incrementado en los últimos años y el

Ecuador no puede dejar pasar estas normas y estos requisitos en sus sistemas.

Comenzaremos definiendo que es un contacto eléctrico o choque. Para que se produzca un choque eléctrico en una persona, ésta debe someter dos puntos de su cuerpo a puntos de distinto potencial eléctrico. Este cierre de circuito se puede producir de las siguientes causas:

- Bien porque se cortocircuitan dos conductores activos (fase y fase ó fase y neutro) asimilándose a la conexión de un receptor,
- Bien porque se puentean conductores activos y tierra, sea por un contacto directo con un conductor activo o a través de una masa sometida a tensión por un defecto de aislamiento, o bien
- Porque el cuerpo queda sometido a la diferencia de potencial existente entre dos masas o elementos conductores sometidos a potenciales distintos.

La intensidad de contacto vendrá determinada por la relación entre la tensión de contacto y la impedancia de cierre del defecto (en este caso la impedancia corporal), como ya lo vimos en el capítulo anterior.

Existen dos tipos de contactos que se pueden dar en una instalación y estos son los contactos directos y los contactos indirectos, en cualquiera de los casos es importante definir cual sería la tensión de contacto del individuo afectado.

La IEEE en su Standard 81 define la tensión de contacto de la siguiente forma:

“La tensión de contacto es la diferencia de potencial entre una estructura metálica puesta a tierra y un punto de la superficie del terreno a una distancia igual a la distancia horizontal máxima que se puede alcanzar, o sea, aproximadamente 1 metro”.

Cuadro 1.- Enunciado de la norma IEEE Standard 81. Tomado de “La puesta a Tierra en Instalaciones Eléctricas” por Rogelio García Márquez.

Siendo la tensión de contacto uno de los factores principales en la electrocución de un individuo, se hace imprescindible la obligación de los ingenieros proyectistas a calcular la tensión de contacto de tal manera que se garantice la seguridad de las personas en todo momento.

3.1 El Contacto eléctrico directo

3.1.1 Definición.

También conocido como choque eléctrico en servicio normal, se produce cuando el individuo entra en contacto un conductor activo.

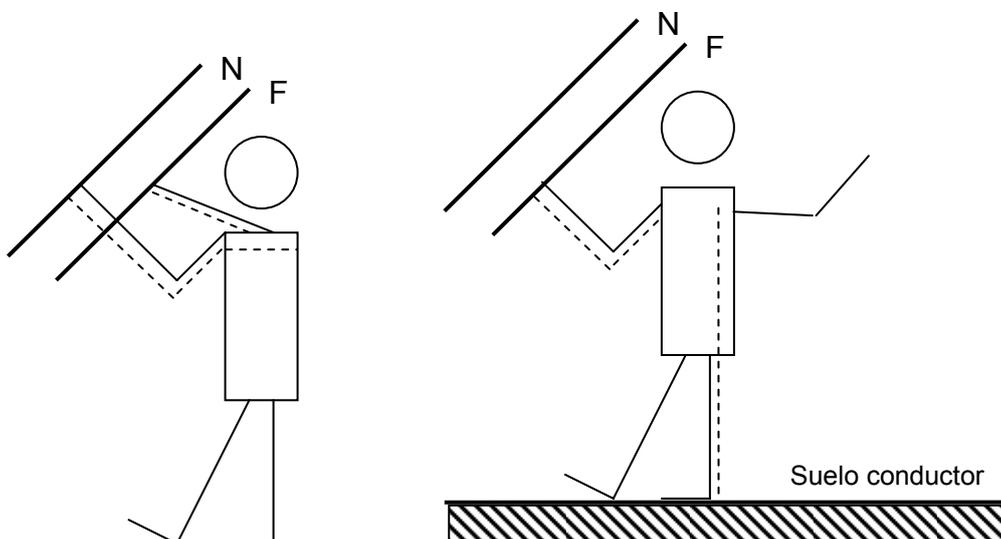


Figura 9.- Ejemplos de contactos directos de una persona.

Los contactos eléctricos directos pueden producirse en distintas circunstancias, sin embargo existen varias maneras de prevenirlos utilizando medios y dispositivos adecuados como:

- Aislar conductores y elementos eléctricos al alcance de las personas
- Aislamiento de recintos que contienen elementos eléctricos peligrosos como tableros de distribución, transformadores, celdas de conexión, etc.
- Conexión a tierra de las masas conductoras a las que pueda tocar un conductor.
- Utilización de señales de advertencia y peligro en áreas donde se instalen equipos eléctricos.
- Utilización de equipos protectores en las instalaciones, tales como disyuntores, fusibles, interruptores automáticos.
- Utilizar materiales y equipos de protección de personas.

3.1.2 Peligros y riesgos presentes en un contacto eléctrico directo.

En un contacto eléctrico directo, el principal riesgo es el de electrocución. Sus consecuencias las analizamos y expusimos en el capítulo anterior. Estos peligros y riesgos se pueden presentar por las siguientes causas:

- Falta de atención en el trabajo que se realiza, cuando se trabaja con la energía eléctrica, por simple que parezca la intervención.
- Poca o ninguna capacitación al personal eléctrico que trabaja.
- Falta o insuficiencia en el aislamiento del conductor.
- Realizar operaciones con tensión, sin el equipamiento de protección suficiente.
- Falta de equipos de protección en la instalación eléctrica.
- Falta de puesta a tierra.
- Falta de protecciones físicas adecuadas.
- No prestar atención a reglamentos y disposiciones de seguridad de la empresa.
- Falta de iluminación adecuada para el trabajo
- Poco o insuficiente espacio para trabajar y o maniobrar.
- Situaciones o causas imprevistas que se dan en un determinado momento.

3.2 El Contacto eléctrico indirecto

3.2.1 Definición.

Los contactos pueden ser indirectos: cuando el mismo tiene lugar a través de una masa conductora accesible que, por un defecto de aislamiento, ha quedado sometida a tensión respecto a tierra o a otras masas.

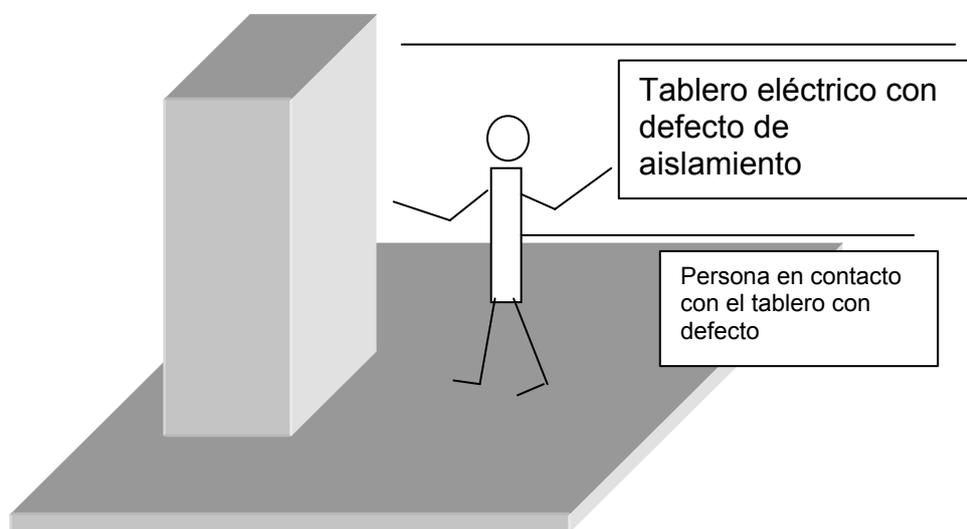


Figura 10.- Ejemplos de contacto eléctrico indirecto.

Es importante recalcar que el contacto indirecto es más peligroso que el anterior pues, éste no se produce por falta de atención o algo similar. Más bien se producen por causas accidentales y por fallos en aislamientos, tanto en receptores como en las conducciones eléctricas y aparatos. Es una

situación imprevista y suele encontrar a la persona sin protección o deficientemente protegida.

3.2.2 Peligros y riesgos presentes en un contacto eléctrico indirecto.

Al igual que el contacto directo, los peligros y riesgos presentes en el contacto eléctrico indirecto pueden tener como consecuencia la muerte del individuo. Para evitarlo se requieren de instalaciones seguras y personal capacitado que tenga conciencia de las ventajas en el uso de los Equipos de Protección Personal (EPP).

4 Evaluación de riesgos de contactos directos e indirectos presentes en tableros industriales de baja tensión.

Una vez que hemos revisado la teoría concerniente a la valorización de riesgos, los efectos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano y definimos los tipos de contacto eléctrico y sus peligros asociados, tenemos completo el marco referencial para la valorización de riesgos por contactos eléctricos directos e indirectos en un tablero de distribución industrial de baja tensión.

Debemos tomar conciencia que uno de los métodos de prevención de los contactos eléctricos directos e indirectos, es la implementación de envolventes o armarios seguros, como lo define la norma UNE 20460-4-41:1998 en la MI BT 021.

Existe una gran cantidad y variedad de tableros de distribución. Dependiendo de la cantidad de elementos en su interior, del tamaño del breaker principal, del número de barras, del tamaño de las barras, etc., las dimensiones del tableros variarán y también su forma de montaje.

Para poder definir que es “seguro”, analizaremos los distintos aspectos que rodean y conciernen a estos armarios. Para ello, primero debemos elegir un método de evaluación de riesgos.

4.1 Selección del método de evaluación de riesgos

En el capítulo 1 determinamos que el primer paso dentro de la gestión del riesgo es la identificación de los peligros y la estimación del riesgo. La mayoría de los métodos de evaluación están diseñados para analizar sistemas completos como plantas petroleras, químicas, etc. El objetivo de este documento es el análisis de uno de los componentes de un sistema que son los tableros eléctricos.

Por otra parte, muchos de los métodos de análisis requieren de datos históricos-estadísticos. La falta de datos estadísticos sobre riesgos eléctricos presentes en tableros eléctricos en nuestro medio, y debido a la gran variedad de fabricantes de los elementos que conforman los tableros, no resulta viable el uso de métodos cuantitativos, por lo que descartamos el uso de ellos y nos enmarcamos en el uso de un método cualitativo.

El cuadro a continuación presenta las distintas utilidades de cada uno de los métodos de análisis de riesgos que existen, el cual servirá para orientar nuestra decisión:

Tabla B.1
Métodos de Evaluación de Riesgos en las Etapas del Análisis de Riesgo

Pasos en la evaluación de riesgo en los procesos	Procedimientos para la Evaluación de riesgo										
	Lista de revisión	Revisión de seguridad	Clasificación relativa Jerarquización (ejem: Índice Dow y Mond)	Análisis de peligros	¿Qué pasa si?	Análisis de peligros y operabilidad	Método de fallas y efectos	Arbol de fallas	Arbol de eventos	Análisis de causa consecuencia	Error humano
Identificación de desviaciones en las buenas prácticas	Propósito primario	Propósito primario	Propósito primario								
Identificación de riesgos	Propósito primario*	Propósito primario*	Propósito primario*	Propósito primario	Propósito primario	Propósito primario	Propósito primario	Sólo para dar contexto			
Estimación de las consecuencias en el peor de los casos			Propósito primario		Propósito primario	Sólo para dar contexto	Propósito primario	Propósito primario			
Identificar oportunidades de reducir consecuencias			Propósito primario	Propósito secundario	Sólo para dar contexto	Sólo para dar contexto	Sólo para dar contexto				
Identificar acci-dentes iniciadores de eventos					Propósito primario	Propósito primario	Propósito primario	Propósito primario			Propósito primario
Estimar probabilidades de indicadores de eventos					Sólo para dar contexto	Sólo para dar contexto	Sólo para dar contexto	Propósito primario		Propósito primario	Propósito primario
Identificar oportunidades de reducir la probabilidad de indicadores de eventos								Propósito primario		Propósito primario	Propósito primario
Identificar acci-dentes y eventos secuentes y consecuentes					Propósito primario			Propósito primario	Propósito primario	Propósito primario	
Estimar probabilidades de eventos secuentes								Propósito primario	Propósito primario	Propósito primario	
Estimar la magnitud de las consecuencias de los eventos secuentes								Sólo para dar contexto	Sólo para dar contexto	Sólo para dar contexto	
Identificar oportunidades de reducir la probabilidad y/o consecuencias de eventos secuentes								Propósito primario	Propósito primario	Propósito primario	Propósito primario
Evaluación cuantitativa del riesgo								Propósito primario	Propósito primario	Propósito primario	Propósito primario

Notas: Propósito primario: identificación preliminar de riesgo; Propósito secundario: proponer medidas de prevención y mitigación; Sólo para dar contexto: determinar probabilidad y consecuencia.

Cuadro 2.- Cuadro comparativo de los métodos de evaluación de riesgos y su propósito. Tomado de la Secretaría de Trabajo y Previsión Social México.

Para tomar una decisión sobre el método a utilizar hemos considerado lo siguiente:

1. Es nuestro propósito identificar las desviaciones de las buenas prácticas
2. Es nuestro propósito identificar riesgos y sus consecuencias
3. Es nuestro propósito identificar accidentes iniciadores de eventos
4. Es nuestro propósito estimar la probabilidad de accidente en un evento
5. Es nuestro propósito identificar los accidentes
6. Conociendo los peligros y accidentes que pueden suceder, enumerar y mostrar los métodos de control para evitar los accidentes y que estos métodos puedan ser aplicados en nuestro medio.

Tomando en cuenta que, no existe información o registros históricos que permitan hablar de un estadística de fallos, que el método que se requiere debe ser aplicado a un subsistema en particular y que este método debe ayudarnos a resolver los propósitos de nuestra investigación. De la exposición del cuadro 4 mostrado anteriormente y luego de analizar nuestros objetivos, hemos encontrado que existen dos métodos que podrían ser de

utilidad para nuestro propósito que son el método HAZOP y el método “¿Qué pasa si...?”.

Luego de recabar mayor información acerca de los métodos, encontramos que el método “¿QUE PASA SI....?”, tiene una gran adaptabilidad a cualquier sistema o equipo, mientras que el método HAZOP es un método que ha sido siempre destinado al tratamiento de sistemas grandes o plantas completas. Por esta razón escogemos el método “¿Qué pasa si...?”, para realizar el análisis de riesgo de nuestro sistema. A esta pregunta particular le agregaremos otra pregunta para ajustar aún más la investigación a nuestro propósito, la cual sería “¿puede esta falla producir algún contacto eléctrico directo o indirecto?”.

Finalmente para complementar nuestro análisis, será necesario encontrar la probabilidad de un evento. El Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) que es un ente que forma parte del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España (MTAS) establece en la Norma Técnica de Prevención (NTP) número 330, un método para cuantificar de manera

objetiva el riesgo, por lo que nos acogemos a la misma y emplearemos el método propuesto por la norma cuyo enunciado completo se presenta en el Anexo 2 adjunto al final de la tesis.

4.1.1 Descripción del Método “¿Que Pasa Si”

El procedimiento para desarrollar un análisis “**¿Qué pasa si...?**” consiste de los siguientes pasos:

- 1) Definir la actividad del sistema de interés. Especificar y definir claramente los límites para los cuales la información relacionada al riesgo es requerida. De esta manera el analista puede evitar lo siguiente.
 - Pasar por alto elementos claves de una actividad o sistema en las interconexiones.
 - Penalizar una actividad o sistema por asociarlo a otro equipo con el tema de estudio.
- 2) Recolección de la información necesaria

Es necesario que toda la información requerida se encuentre disponible al inicio del trabajo para poder desarrollarlo sin interrupciones.

3) Subdividir la actividad o sistema para el análisis

Una actividad o sistema puede ser dividido en diferentes niveles de resolución. Generalmente hablando los analistas tratarán de describir las características de los riesgos relacionados a la actividad o sistema al nivel más amplio posible, basándose en la disponibilidad de datos aplicables. El procedimiento para subdividir una actividad o sistema es típicamente repetitivo, empezando con una subdivisión mayor dentro de secciones o tareas fundamentales, esta estrategia de empezar al nivel más alto genera una valorización del riesgo eficiente y efectiva ya que:

- asegura que todos los atributos claves son considerados,
- provee soporte a los analistas para evitar detalles innecesarios, y,
- usa una estructura que ayuda a evitar la omisión de componentes o pasos individuales si subdivisiones adicionales fueren necesarias.

4) Generar las preguntas “¿que pasa si...?” para cada elemento de la actividad o sistema. Un grupo postulará situaciones hipotéticas, generalmente empezarán con la frase “¿que pasa si...?”, que los miembros de ese grupo creen podrían resultar en un problema de interés. El proceso de lluvia de ideas es usado por el grupo de análisis para generar las preguntas “¿que pasa si...?”. Luego organizar las preguntas

en grupos lógicos para su resolución combinar muy de cerca los ítems relacionados de manera apropiada y eliminar preguntas traslapadas.

- 5) Responder a las preguntas “¿**que pasa si...**?” El grupo debe tener experiencia en el tema y responderá a cada una de las preguntas y desarrollará recomendaciones para reducir el riesgo de problemas potenciales.
- 6) Una subdivisión adicional de los elementos del sistema puede ser necesaria si un análisis mas detallado es deseado. Seccionar esos elementos sucesivamente en niveles más finos hasta que la subdivisión adicional no provea información de valor o exceda el control de la organización o la influencia de hacer estas mejoras. Generalmente, la meta es minimizar el nivel de resolución necesario para la valoración del riesgo.
- 7) Usar los resultados en la toma de decisiones. Evaluar las recomendaciones del análisis e implementar aquellas que traerán mayores beneficios que costos en el ciclo de vida de la actividad o sistema.

4.2 Aplicación del método “¿Que pasa si..?” para evaluación de riesgos eléctricos

4.2.1 Definir la actividad del sistema de interés y sus límites.

Los tableros de distribución se encargan de recibir la energía directamente de una subestación y, como su nombre lo indica, “distribuirla” o entregarla a los distintos equipos conectados o alimentados por él para su funcionamiento. En el tablero de distribución no se considera el uso de arrancadores, aunque pueden ir en él.

Según la publicación PB-2 de la NEMA, la definición de tablero de distribución es la siguiente:

“Un gran panel de marco estructural, o un grupo de paneles de marcos estructurales en la cual se pueden montar, en la parte frontal o posterior: interruptores, dispositivos de sobrecorriente y otros elementos de protección, barras e instrumentos. Los tableros pueden ser accesibles por la parte posterior así como también por la parte frontal y no es su propósito instalarlos en armarios o gabinetes.”

Cuadro 3.- Definición de tablero de distribución. Tomado de NEMA Standard Publication PB2-2006

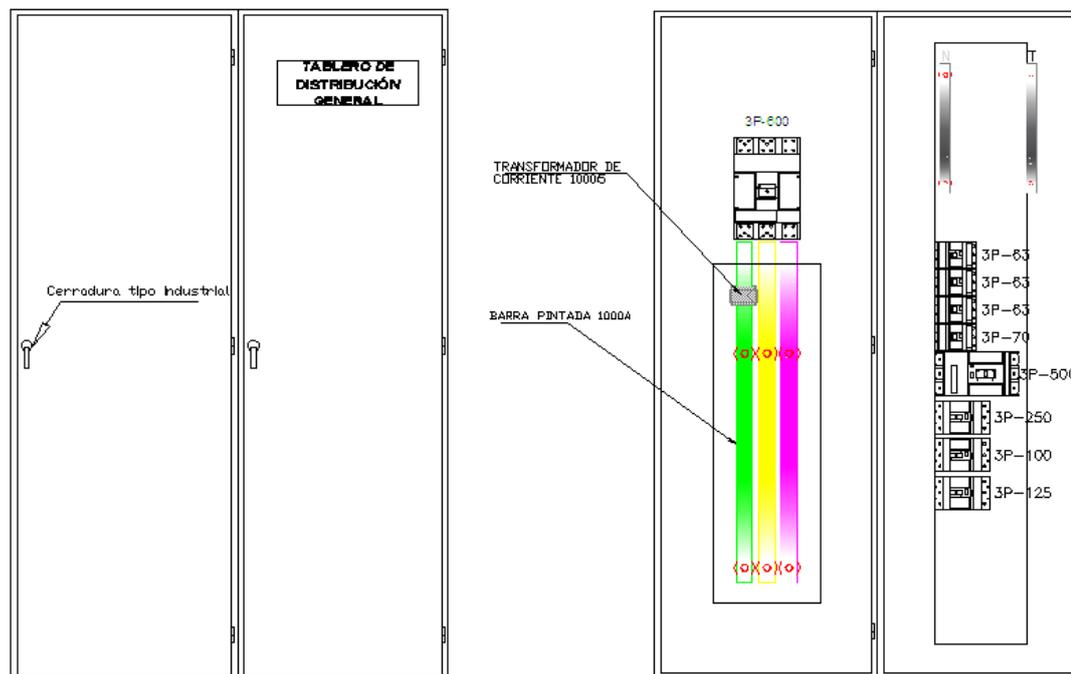


Figura 11.- Vista frontal e interior de un tablero de distribución.

El método de evaluación elegido considera como primer paso los límites del sistema a evaluar. Para ello definiremos lo siguiente:

1. **Rangos de voltaje:** De acuerdo a lo indicado en el Reglamento de Suministro de Servicio de Electricidad, vigente al momento de la elaboración de esta tesis y publicado en el Registro Oficial No. 134 del 23 de febrero de 1999, por el Ministerio de Trabajo y Recursos Humanos, se define los rangos de voltaje para nuestro país, según se indica en el artículo 16, el cual dice:

“A los efectos de la prestación del servicio, se determinan los siguientes niveles de voltaje:

Bajo Voltaje: hasta 0,6 KV;

Medio Voltaje: entre 0,6 y 40 KV;

Alto Voltaje: mayor a 40 KV.”

Además, según definición ANSI C84.1-1977 tenemos que el rango de bajo voltaje varía desde 100 Vac hasta 1000Vac. La tabla a continuación muestra lo indicado.

Voltajes Nominales de los Sistemas de Bajo Voltaje			
Dos Cables	Tres Cables	Cuatro Cables	Voltaje Máximo
120	Sistemas monofásicos		127
	120/240	-	127/254
	Sistemas Trifásicos		
	(240)	208Y/120	220Y/127
	480	240/120	245/127
	(600)	480Y/277	508Y/293 635

**Tabla II.-Tabla que muestra los rangos de voltaje bajo según ANSI C84.1:1977.
Tomado de IEEE Std.100-1992 Electric Power Distribution and Electric Plants.**

De la tabla anterior podemos ver que el voltaje nominal más alto es de 600 voltios, por lo tanto, para efectos de esta tesis, se define como

bajo voltaje, cualquier sistema cuyo rango de voltaje este comprendido entre los 100 y 600 V.

2. **Rangos de potencia:** El NATSIM indica que para sistemas trifásicos el servicio será suministrado cuando la demanda trifásica del predio sea mayor a 30 KW y menor a 1000 KW. Por lo tanto nuestro estudio se basará en tableros que puedan manejar este rango de potencia, lo cual limita nuestro estudio.
3. **Ambiente o localización:** Los tableros de distribución pueden ser ubicados al exterior como es el caso de algunos tableros de medidores o en el interior de un cuarto en particular. Cualquiera sea su ubicación, nuestro estudio contemplará aquellos equipos que no estén ubicados en áreas clasificadas como peligrosas según la definición del NEC artículo 500. Se excluyen de este análisis los lugares nombrados en la definición del NEC art. 500-6. Además se excluyen de este análisis los cuadros de distribución instalados en locaciones excluidas por el NEC art. 90-2 (b), el cual indica lo siguiente:
 - a. Instalaciones en barcos, naves acuáticas diferentes de edificios flotantes, material rodante ferroviario, aviones o vehículos automotores, excepto casas móviles y vehículos de recreo. y embarcaciones.

- b. Instalaciones ferroviarias para la generación, transformación, transmisión o distribución de energía eléctrica utilizada exclusivamente para la operación de equipo rodante, o instalaciones usadas exclusivamente para propósitos de señalización y comunicación.
 - c. Instalaciones subterráneas en minas y la maquinaria de superficie móvil autopropulsada y su cable eléctrico de servicio.
 - d. Instalaciones de equipo de comunicaciones que esté bajo el control exclusivo de las compañías de comunicaciones, situadas a la intemperie o dentro de edificios utilizados exclusivamente para dichas instalaciones.
4. **Envoltente.** También conocido como gabinete o encerramiento. Según la definición de la NEMA PB2-2006, es la caja o envoltura construida para proveer un grado de protección al personal para evitar contactos accidentales con el equipo encerrado y para proveer un grado de protección al equipo contenido contra condiciones ambientales específicas.

Esta norma hace una clasificación de los gabinetes según este grado de protección, el cual mostramos a continuación:

Provee un grado de protección en contra de las siguientes condiciones ambientales	Tipo de envolvente									
	1	2	4	4X	5	6	6P	12	12K	13
Contacto incidental con el equipo encerrado	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Suciedad del ambiente	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Salpicaduras leves o líquidos que caen	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Polvos, pelusas o fibras circulantes **	-	-	X	X	-	X	X	X	X	X
Polvos, pelusas y fibras circundantes asentadas **	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X
Chorros y salpicaduras de agua	-	-	X	X	-	X	X	-	-	-
Goteo de aceites y refrigerantes	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X
Rociado o salpicadura de aceites o refrigerantes.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
Agentes corrosivos	-	-	-	X	-	-	X	-	-	-
Inmersión ocasional temporal	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-
Inmersión ocasional prolongada	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-

* Estos gabinetes pueden ser ventilados.

**Estas fibras y demás son materiales clasificados como no peligrosos y no son considerados fibras o partículas fácilmente combustibles Clase III. Para conocer las fibras o partículas fácilmente combustibles ver el artículo 500 del NEC.

Tabla III.-Comparación de aplicaciones específicas para gabinetes de uso interior en lugares no clasificados peligrosos. Tomado de NEMA 250-1997

Los gabinetes o envolventes que vamos a analizar son los gabinetes tipo NEMA 1, 2, 4 y 5 inclusive. Esta exclusión se realiza en virtud de que los equipos de mayor protección se utilizan en aplicaciones muy especiales que pueden incluir áreas peligrosas.

Para poder analizar y evaluar los riesgos que pueden producir cada uno de los componentes, es necesario distribuir el análisis en diferentes escenarios. De acuerdo al alcance de nuestro documento, los tableros de distribución se pueden clasificar de acuerdo a su utilización en comerciales o industriales.

- Los tableros de distribución comerciales pueden contener en su interior además de los elementos de protección y distribución, medidores de potencia.
- Los tableros de distribución industriales pueden contener en su interior además arrancadores de equipos.

4.2.2 Recolección de la información necesaria.

Sin importar la etapa de análisis, la cual puede ser diseño, construcción, operación o mantenimiento, el evaluador deberá determinar las condiciones en las cuales operará el sistema y las características del mismo. Para ello es necesario contar con la mayor cantidad de información disponible. Para nuestro análisis esta información debe constar de:

- Diagramas unifilares.
- Memorias de cálculo que contenga cálculo de corriente de cortocircuito y dimensionamiento de protecciones contenidas en un tablero y malla de puesta tierra.

- Normas para fabricación de tableros. En nuestro caso utilizaremos normas NEMA y las complementaremos con las normas europeas IEC.
- Normas de seguridad. Nos basaremos en la norma NFPA 70E.
- Normas de instalación eléctrica. Utilizaremos el NATSIM, NEC y el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.

4.2.3 Subdividir la actividad o sistema para el análisis.

Para una mayor facilidad en el análisis de riesgo, se ha dividido al sistema de la siguiente manera:

- **Evaluación del riesgo en el entorno del tablero** El tablero deberá ser instalado en un sitio adecuado para el uso siempre que cumpla con todos los requisitos de **espacio de trabajo** según NEC Art. 110.26.
- **Evaluación del riesgo provocado por mal diseño del tablero.** La norma NEMA PB2 indica en la sección 2, las características que deben describir a un tablero las cuales enumeramos a continuación:

- a. Características del suministro.
- b. Cables.
- c. Barras
- d. Protección contra falla a tierra.
- e. Seccionador principal.
- f. Grado de protección del gabinete

- **Evaluación del riesgo provocado por la operación del tablero**

Durante la operación del tablero se presentan prácticamente todos los riesgos posibles, pero además se hace indispensable conocer la capacidad del personal que va a estar o que está a cargo del equipo. Para ello diferenciaremos las etapas de diseño, de las etapas de operación y mantenimiento.

La etapa de diseño debe ser realizada por un ingeniero eléctrico colegiado, ya que constituye una actividad consagrada en la Ley de Ejercicio Profesional de la Ingeniería, que según el NATSIM en su artículo 1.6 debe llevar la firma de responsabilidad del ingeniero.

Para las actividades de operación y mantenimiento, la norma de seguridad NFPA 70-E establece en el capítulo 2 en la definición 205.1 que el personal encargado de mantenimiento debe ser calificado. La definición indica lo siguiente:

<p>205.1 Personas calificadas. Los empleados que realicen mantenimiento de equipos e instalaciones eléctricas deberán ser personas calificadas como se exige en el capítulo 2 y deberán estar entrenadas y familiarizadas con los procedimientos específicos y pruebas de mantenimiento exigidos.</p>
--

Cuadro 4.- Enunciado del artículo 205.1. Tomado de la Norma para la Seguridad Eléctrica en Lugares de Trabajo. NFPA 70-E año 2004.

4.2.4 Generar las preguntas “¿Qué pasa si...?”.

Una vez divididas las actividades en el paso anterior, podemos generar las preguntas “que pasa si...?”. Para generar las preguntas nos valemos del proceso de lluvia de ideas, el cual es sugerido por el método. Como se sugiere en el inciso 4.2.3 se realizó la subdivisión del sistema y hemos generado las preguntas respetando esta derivación. Como resultado obtuvimos muchas preguntas, algunas de las cuales descartamos por no formar parte de nuestro análisis.

4.2.4.1 Preguntas “¿Qué pasa si...?” con respecto al riesgo provocado por el entorno en el que se instala un tablero.

El entorno en el cual se instala un tablero juega un papel importante en la evaluación del riesgo. Las características del entorno tales como humedad, temperatura, iluminación, espacio, acceso, etc. No deben ser omitidas al

momento de seleccionar el tipo o modelo de tablero a construir o instalar. Estos parámetros muy pocas veces son considerados, por lo que analizaremos las condiciones en las que se pueden instalar un tablero y cuales de estas omisiones pueden causar un contacto eléctrico directo o indirecto.

PREGUNTAS	¿Puede producir un contacto eléctrico Directo o indirecto?	
ENTORNO DEL TABLERO, ¿QUÉ PASA SI...		
.. el sitio destinado a ubicar el tablero no tiene las dimensiones mínimas requeridas?	SI	
.. el tablero se encuentra instalado en un sitio de acceso público?	SI	
.. el tablero está ubicado en un ambiente corrosivo?		NO
.. Un tablero se encuentra ubicado en una zona de temperatura mayor a 40°C?		NO
.. el sitio en el que está instalado un tablero no tiene buena iluminación?	SI	
.. el tablero está ubicado en el exterior?	SI	
.. el tablero está ubicado junto a un tanque de combustible?		NO

Cuadro 5.- Preguntas de la lluvia de ideas con respecto al Entorno del Tablero.

4.2.4.2 Preguntas “¿Qué pasa si...?” con respecto al riesgo por mal diseño del tablero y sus componentes

Se refiere a las características constructivas del tablero de distribución, tales como materiales, dimensiones, disposición interna, disposición de los elementos que lo componen y las características de los mismos. Para un mejor análisis hemos subdividido el tablero en los siguientes componentes:

- Carcasa o envolvente

- Interruptor principal
- Barras de distribución y aisladores
- Interruptor(es) o seccionador(es) secundario(s)
- Cables y puesta a tierra

Carcasa o envoltente.- Es el cuerpo del tablero de distribución. En su diseño se considera el tamaño, el material con el que se lo construye, que puede ser metálico y algunas veces plástico, el tipo de montaje o soporte del tablero que puede ser en pared (empotrado o sobrepuesto) o piso, el lado por el cual se tiene acceso a los componentes internos del tablero que puede ser frontal, posterior y/o lateral, el lado por el cual ingresará el conductor principal al tablero que puede ser superior, inferior o lateral.

PREGUNTAS	¿Puede producir un contacto eléctrico Directo o indirecto?	
ENVOLVENTE DEL TABLERO, ¿QUÉ PASA SI...		
.. los espacios internos del tablero no cumplen las dimensiones mínimas requeridas?	SI	
.. el tablero es plástico?		NO
..el material con que se ha construido el tablero es combustible o propaga la llama?		NO
.. el tablero no requiere llave para su apertura?	SI	
.. el método de montaje del tablero no es adecuado y causa inestabilidad?		NO

Cuadro 6.- Cuadro de preguntas “¿Qué pasa si...?” con respecto a la envoltente del tablero.

Interruptor principal.- Tiene una función muy importante que es servir de medio de desconexión del tablero. Este dispositivo debe trabajar en coordinación con los elementos alimentados por él. Una mala selección de este elemento puede producir daños graves en una instalación, como pueden ser explosiones, producto de un arco o un cortocircuito.

PREGUNTAS	¿Puede producir un contacto eléctrico Directo o indirecto?	
INTERRUPTOR PRINCIPAL, ¿QUÉ PASA SI...		
..los terminales no están bien ajustados	SI	
..los terminales están sulfatados?	SI	
..luego de hacer pruebas se diagnostica que el interruptor está en mal estado?	SI	
..el interruptor principal está sobredimensionado?	SI	
..el interruptor principal no está correctamente asegurado?	SI	
..luego de analizar la red, el rango de Icc del interruptor es menor al requerido?	SI	

Cuadro 7.- Cuadro de preguntas “¿Qué pasa si...?” con respecto al interruptor principal del tablero.

Barras de distribución y aisladores.- Las barras de distribución se encargan de alimentar los dispositivos secundarios que van alimentados por el interruptor principal. Normalmente estas barras son de cobre y la sección transversal de las mismas depende de la corriente que vaya a circular por ellas. Se soportan en aisladores, cuya selección o diseño debe ser resultado de un estudio, en el cual se consideren parámetros tales como voltaje,

corriente nominal, corriente de cortocircuito, longitud de la barra, esfuerzo mecánico, etc.

PREGUNTAS	¿Puede producir un contacto eléctrico Directo o indirecto?	
BARRAS Y AISLADORES, ¿QUÉ PASA SI...		
..la sección transversal de la barra está subdimensionada?	SI	
..el espacio de separación entre las barras es menor al requerido?	SI	
..la longitud de la barra obliga a tener soportes adicionales y no los tiene?	SI	
..el aislador está subdimensionado?	SI	
..Los pernos de sujeción de la barra al aislador están flojos?	SI	

Cuadro 8.- Cuadro de preguntas “¿Qué pasa si...?” con respecto a la selección de barras y aisladores del tablero.

Cables y puesta a tierra.- Los conductores o cables son los encargados de transportar el fluido eléctrico que alimenta el tablero y también es el encargado de llevar este fluido a las distintas cargas. Los conductores se eligen de acuerdo a la carga que se va a alimentar y a la capacidad de corriente del conductor. La capacidad de corriente de un conductor viene dada por distintos factores en los que interviene la temperatura ambiente, la temperatura de operación, el tipo de aislamiento, etc. y sus valores se resumen en la tabla 301-16 del NEC.

El conductor de puesta a tierra es el encargado de conectar las partes metálicas que no conducen corriente, al electrodo de puesta a tierra.

PREGUNTAS	¿Puede producir un contacto eléctrico Directo o indirecto?	
CONDUCTORES Y ALIMENTADORES, ¿QUÉ PASA SI...		
..el aislamiento del conductor está deteriorado?	SI	
..los radios de curvatura en el interior del tablero son muy pequeños?	SI	
..el calibre del conductor que alimenta una carga está subdimensionado?	SI	
..el tablero no tiene conductor de puesta a tierra?	SI	

Cuadro 9.- Cuadro de preguntas “¿Qué pasa si...?” con respecto a los conductores que entran y salen del tablero.

4.2.4.3 Preguntas “¿Qué pasa si...?” con respecto al riesgo durante la operación y el mantenimiento del tablero.

Durante la operación y el mantenimiento del tablero interviene el operador o el personal que debe ser calificado para este propósito. Esta calificación requiere que además que los operadores estén conscientes del peligro y los riesgos que se presentan al trabajar en equipos de distribución de energía en los cuales se manejan altos de niveles de voltaje y corriente y por lo tanto es necesario seguir un procedimiento de trabajo y usar las herramientas y equipos de protección adecuados.

PREGUNTAS	¿Puede producir un contacto eléctrico Directo o indirecto?	
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO, ¿QUÉ PASA SI...		
..el personal encargado de dar mantenimiento o de operar los tableros no ha sido debidamente entrenado	SI	
..el personal encargado de mantenimiento u operación no utiliza los equipos de protección personal	SI	
..no se utilizan las herramientas adecuadas o las mismas están en mal estado?	SI	
..no se realizan mantenimientos preventivos?	SI	

Cuadro 10.- Cuadro de preguntas “¿Qué pasa si...?” con respecto a los riesgos presentes durante la operación o mantenimiento del tablero.

Los pasos restantes del método “¿qué pasa sí?”, serán tratados a continuación en capítulos independientes.

5 Implementación de métodos de control y defensas en tableros de distribución industriales de baja tensión.

Como sugiere el método “¿que pasa si...?”, se requiere que se respondan las preguntas planteadas en nuestro análisis de riesgo. Al mismo tiempo, nuestra tesis requiere de implementación de métodos de control, por lo que se escogió responder las preguntas y encontrar cuales serían los métodos de control adecuados para evitar los peligros.

En las páginas siguientes responderemos a las preguntas respetando la división del sistema que se planteó en el capítulo anterior. Las preguntas serán respondidas basándonos en las normas existentes y se sugerirán los métodos de control a utilizar. El resultado de estas respuestas se reflejará al finalizar el capítulo el mismo que mostrará un formulario para evaluación de riesgos de tableros de distribución.

5.1 Respuestas a las preguntas “¿Qué pasa si...?” con respecto al entorno en el que se instala un tablero.

En el entorno del tablero intervienen algunas variables como son iluminación, ambiente, dimensiones del espacio, si el tablero está instalado en el interior o el exterior, etc. El lugar destinado a la instalación de un tablero, y el tablero en si deben cumplir varios requisitos para que su instalación en este lugar sea posible.

Cuando hablamos de “lugar destinado a ubicar el tablero” nos referimos a la habitación o cuarto en el cual estará ubicado el mismo. El **NEC art. 110.26 Espacios alrededor de equipos eléctricos (600V nominales o menos)**, indica claramente que se debe proporcionar y mantener **suficiente espacio de acceso y de trabajo** alrededor de todo equipo eléctrico.

El Manual del NEC, al comentar el artículo en mención, aclara que los requisitos para espacios alrededor de equipos eléctricos se encuentran divididos en dos categorías independientes: el espacio del trabajo y el espacio para equipos. El espacio de trabajo se aplica a la protección del trabajador, y el espacio dedicado a equipos se aplica a la protección del equipo eléctrico.

El espacio de trabajo tiene requisitos que cumplir en cuanto a medidas, es decir: alto, ancho y profundidad. También tiene requisitos en cuanto a los espacios libres, acceso al área de utilización e iluminación. Para el espacio dedicado a equipos el código realiza una subdivisión dependiendo si el equipo está instalado en el interior o en el exterior.

En nuestro análisis tomaremos en cuenta en primer lugar el espacio requerido por el equipo y luego analizaremos el espacio requerido para el trabajo, pues los tableros de distribución son equipos en los que habitualmente se realizan trabajos en la industria, ya sea por operación o mantenimiento.

5.1.1 ¿Qué pasa si el sitio destinado a ubicar el tablero no tiene las dimensiones mínimas requeridas para el trabajo?

La falta de atención a este requisito puede resultar en contactos directos involuntarios por parte del electricista o de la persona que realiza el trabajo, aún quizás con el equipo de protección personal adecuado. Para que esto resulte en accidente se deben cumplir las siguientes premisas:

- Que se esté realizando un trabajo con el tablero energizado

- Que el personal asignado no utilice equipo de protección personal
- Que el personal asignado no sea calificado
- Que no exista suficiente espacio para realizar el trabajo requerido

En este punto analizaremos las condiciones de la última premisa pues las tres primeras corresponden netamente a la capacitación del personal asignado y/o procedimientos de la empresa, puntos que serán tratados más adelante. A continuación analizaremos la falta de espacio requerido para el trabajo. Esta falta de espacio puede producirse principalmente por dos circunstancias:

- Que el proyectista no haya dimensionado correctamente el espacio destinado a los tableros y que se hayan aprobado estos planos, pasando por alto esta falla.
- Que el proyectista haya dimensionado el espacio destinado a alojar los tableros correctamente, pero que durante la operación este cuarto se constituya en cuarto de alojamiento de insumos o materiales (bodega).

Espacio de equipo: Si el equipo está alojado en el interior de una edificación, se debe cumplir con lo siguiente:

- a) Espacio dedicado a la instalación eléctrica. Debe ser igual al ancho y a la profundidad del equipo, y debe extenderse desde el piso hasta una altura de 1.83 m (6 pies) sobre el equipo o hasta el tumbado, el que sea menor. En esta zona no se deben instalar tuberías, conductos o equipos ajenos a la instalación eléctrica.
- b) Si está ubicado en el exterior, el espacio que contiene al gabinete debe incluir además el espacio libre de trabajo. No se deben colocar accesorios arquitectónicos ni otros equipos.

Espacio de trabajo: El NEC provee más detalles en cuanto al espacio de trabajo alrededor de un tablero de distribución. Es así que se considera:

- a) **Profundidad.-** indica que la profundidad del espacio de trabajo en la dirección de acceso a las partes energizadas no debe ser inferior a la indicada en la tabla 110.26 (a), la cual mostramos a continuación:

Voltaje Nominal a Tierra	Distancia libre mínima		
	Condición 1	Condición 2	Condición 3
0 - 150	900 mm (3ft)	900 mm (3ft)	900 mm (3ft)
151 - 600	900 mm (3ft)	1100 mm (3,35 ft)	1200 mm (4 ft)

Nota: En donde las condiciones son las siguientes:

Condición 1.- Partes energizadas expuestas en un lado y ninguna parte energizada o puesta a tierra en el otro lado del espacio de trabajo, o partes energizadas expuestas a ambos lados, protegidas eficazmente por madera u otros terminales aislantes adecuados. No se deben considerar como partes energizadas los cables o barrajes aislados que funcionen a menos de 300 V a tierra.

Condición 2.- Partes energizadas expuestas a un lado y partes puestas a tierra en el otro. Las paredes de concreto, ladrillo o baldosa se deben considerar como puestas a tierra.

Condición 3.- Partes energizadas expuestas a ambos lados del espacio de trabajo (no resguardadas como está provisto en la Condición 1) con el operador entre ambas).

Tabla IV.- Espacios de trabajo referentes a la profundidad de la habitación que contiene un tablero o equipo eléctrico tomado del Manual del NEC 2005.

- b) **Ancho del espacio de trabajo.-** el ancho del espacio de trabajo en el frente del equipo eléctrico debe ser igual al ancho del equipo o 762 mm (30 pulgadas) el que sea mayor. En todos los casos el espacio de trabajo debe permitir abrir por lo menos a 90° las puertas o paneles abisagrados del equipo.
- c) **Altura del espacio de trabajo.** El espacio de trabajo debe estar libre y extenderse desde el nivel del suelo o plataforma hasta la altura exigida en la sección 110.26 (e).

La gráfica a continuación muestra claramente los espacios de trabajo y espacios dedicados para equipos de manera más detallada.

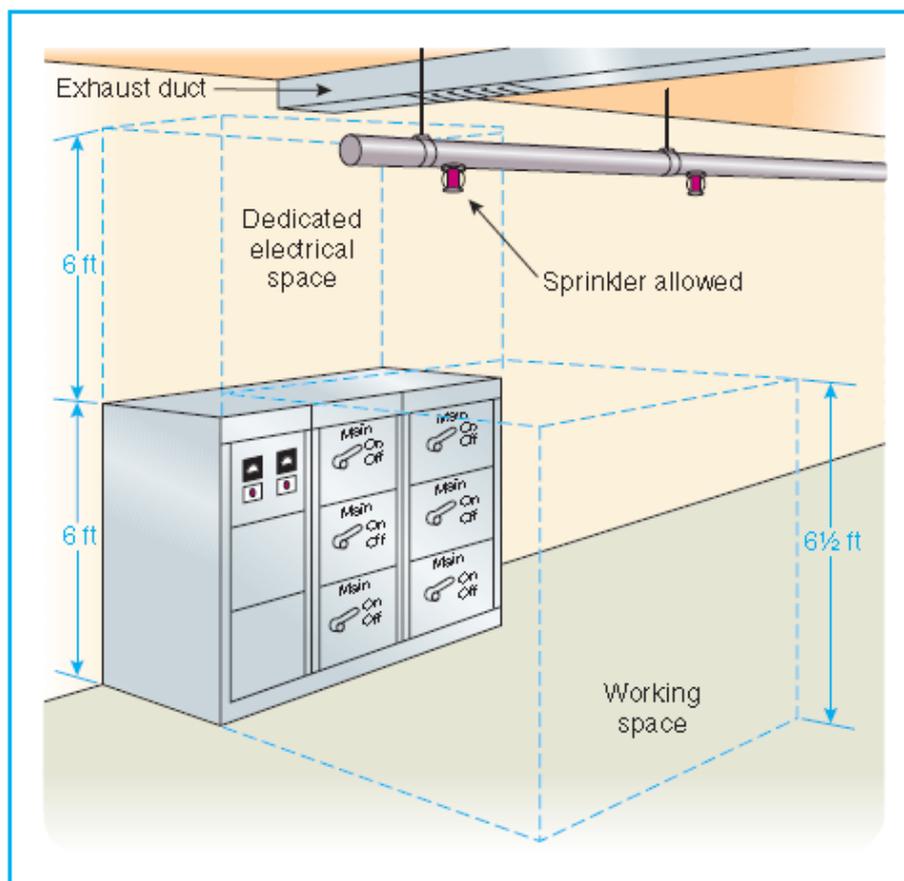


Figura 12.- Los dos espacios de instalación interior diferentes exigidos en las secciones 110.26(a) “espacio de trabajo” y 110.26(f) “espacio dedicado a la instalación eléctrica”. Tomado de la Fig. 110.16 Manual del NEC 2005.-

En nuestra ciudad se han observado ambas situaciones en algunas industrias o edificaciones. Además es común que los arquitectos o proyectistas no consideren el espacio necesario para una correcta instalación. De igual forma también es común encontrar cuartos de distribución con cajas o elementos almacenados en el interior, que obstaculizan el trabajo o al trabajador.

Método de control:

Verificar que el espacio de trabajo este dimensionado de acuerdo a lo establecido por el artículo 110.26 del NEC.

5.1.2 ¿Qué pasa si el tablero se encuentra ubicado en un sitio de acceso público?

Los tableros ubicados en zonas de acceso público presentan un gran riesgo, sobretodo porque pueden prestarse a manipulaciones por parte de personal no calificado. El peligro de electrocución en tableros de distribución está presente siempre que la alimentación de energía esté presente. Se debe indicar mediante señales de advertencia y peligro ubicadas en las entradas a cuartos o en el frente de los tableros instalados en lugares públicos sobre el riesgo presente como lo exige la norma **NEMA PB2-2006 Tableros de Distribución de Frente muerto** en la **Sección 3 Marcado del producto**, el tablero debe mostrar de manera clara la siguiente información:

- a) Nombre o Marca del constructor
- b) Número de catalogo o tipo de designación
- c) Rango de corriente
- d) Rango de Voltaje
- e) Número de fases
- f) Rango de la corriente de Cortocircuito
- g) Rango de temperatura de los conductores

El NEC en su artículo **110.27 (a) Resguardo de partes Energizadas**, hace hincapié en la necesidad de que los equipos eléctricos deban ser instalados en cuartos, bóvedas o encerramientos accesible solo a personal calificado.

El código **NFPA 70-E** repite el enunciado del artículo y todo su contenido en el **artículo 400.16** se indica además que se debe tener en cuenta las aberturas para ventilación, las mismas que deben ser construidas y ubicadas de manera que no se permita acceso a partes energizadas y de que no sea probable que las personas entren en contacto accidental con las partes energizadas o pongan objetos conductores en contacto con las mismas.

La parte C de este mismo artículo indica la necesidad de utilizar señales de advertencia visibles que prohíban la entrada a personal no calificado.

Método de Control:

- a) Los tableros de distribución deben tener señales de advertencia o peligro que indiquen el riesgo presente. **NEMA PB2 sección 3**
- b) El interior de los tableros no debe ser accesible a personal no calificado restringiendo el acceso a los mismos por medio de cerraduras o candados, en los tableros o en los cuartos eléctricos.

- c) Las aberturas de ventilación presentes en un tablero deben ser protegidas de manera que no sea posible hacer contacto con las partes vivas desde afuera.

5.1.3 ¿Qué pasa si el tablero no tiene buena iluminación?

La falta de iluminación hacia el interior del tablero de distribución puede también derivar en contactos directos involuntarios del electricista. Esto va a depender fundamentalmente de el nivel de iluminación, tipo de ambiente (limpio o polvoso) y también de la edad del operador.

El NEC en su artículo **110.26 (d) espacios alrededor del equipo eléctrico: iluminación**, indica que debe haber iluminación suficiente en todos los espacios de trabajo alrededor de los equipos eléctricos, entre ellos, los tableros de distribución. El término “iluminación suficiente” se presta a varias interpretaciones por lo que debemos asegurar y fijar los límites del mismo.

Para ello recurrimos al Manual (Handbook) publicado por la Sociedad Norteamericana de Ingeniería en Iluminación (IESNA por sus siglas en inglés) que en su novena edición presenta la tabla de niveles de iluminación recomendados para habitaciones según la importancia de la tarea a ejecutar.

En dicho manual se establece que en ambientes industriales donde se realizan mantenimientos, se recomienda tener 500 luxes de nivel de iluminación a la altura de trabajo que podemos establecer como promedio de un metro.

Método de control:

Verificar que el nivel de iluminación medido a un metro desde el piso sea de 500 luxes.

5.1.4 ¿Qué pasa si el tablero está ubicado en el exterior?

El solo hecho de que un tablero esté ubicado en el exterior no es una causa de contacto eléctrico directo o indirecto. Sin embargo, como analizamos al responder las preguntas anteriores, los artículos 110.26 y 110.27 del NEC, indican claramente que los equipos eléctricos instalados en el exterior, deben proveer seguridades como cerradura y medios para cubrir aberturas, de tal manera que se evite el acceso a estas áreas a personal no calificado. Además se indica que se debe proveer protección contra tráfico vehicular o contra fugas o escapes de sistema de tuberías.

Método de Control:

Para guiarnos sobre el cumplimiento de la norma se deberá establecer:

- a) Que el tablero sea construido para instalación en el exterior cumpliendo alguno de los grados de protección indicados en el capítulo anterior. Por lo menos NEMA 4 o IP55
- b) Que el sitio en el que está instalado el tablero tenga acceso restringido a personal calificado únicamente, y que se presenten las señalizaciones y advertencias de peligro pertinentes.
- c) Si llegara a darse el caso de que el tablero está instalado en una zona de tráfico vehicular, el área debe presentar los obstáculos y protecciones necesarias para evitar los impactos.

5.2 Respuestas a las preguntas “¿Qué pasa si...?” con respecto al mal diseño del tablero y sus componentes.

Una vez analizados las características externas propias del entorno en que se instala un tablero, debemos ahora analizar al tablero y sus componentes. Como explicamos en el capítulo anterior al referirnos al término “mal diseño del tablero”, nos referimos a las características constructivas del tablero de distribución tales como materiales, dimensiones, disposición interna y de los elementos que los componen, etc. Utilizando la subdivisión propuesta en el capítulo anterior, responderemos las preguntas respetando el orden sugerido:

- Carcasa o envolvente
- Interruptor principal
- Barras de distribución y aisladores
- Interruptor(es) o seccionador(es) secundario(s)
- Cables y puesta a tierra

5.2.1 Respuestas a las preguntas “¿Qué pasa si..?”, respecto a la carcasa o envolvente del tablero.

La envolvente del tablero tiene una función muy importante que es la de impedir la exposición de las partes vivas a el o los usuarios, además de albergar a los dispositivos como son seccionadores o disyuntores propios del sistema.

En el diseño de la envolvente interviene aspectos como material, dimensiones internas, dimensiones externas, señalización. Las dimensiones de la envolvente serán el resultado de la selección de la cantidad y características de los elementos que se van a incluir en el tablero. Algunos fabricantes indican las distancias de separación que deben respetarse al momento de montar un disyuntor; distancias como separación entre partes

activas, separaciones entre disyuntores, separación entre carcasa y disyuntor, etc.

Para responder a las preguntas planteadas, nos basaremos nuevamente en el NEC y complementaremos las respuestas con normas de fabricante de equipos.

5.2.1.1 ¿Qué pasa si los espacios internos del tablero no cumplen las dimensiones requeridas?

Los espacios en el interior del tablero son muy importantes y en ocasiones encontramos que al dimensionar el tamaño del tablero, no siempre se considera el espacio necesario para el conexionado de cables alimentadores, lo cual deriva en espacios estrechos para el conexionado de los cables, lo que implica agrupamiento de cables, generación de calor y con el transcurrir del tiempo deterioro del aislamiento de conductores. Además se produce reducción de los espacios para maniobrar en los mantenimientos.

Estos factores pueden producir contactos indirectos, por el deterioro del aislamiento de cables o contactos directos del operador con las partes activas por el poco espacio libre para realizar los trabajos. El manual del NEC

en el **artículo 408 Tableros de distribución y paneles de distribución**, en su parte **408.18 Distancias de seguridad** hace alusión a la sección 110.26.

La parte II del artículo 312 nos muestra las especificaciones de construcción de gabinetes, cajas de corte y encerramientos. El **artículo 312.11 Espaciamiento**, indica los requisitos que se deben cumplir dentro de los gabinetes y cajas de corte, que pueden ser aplicados a tableros de distribución.

El análisis se puede resumir en el siguiente cuadro:

Generalidades:	<p style="text-align: center;">Base</p> <p>Espacio libre de 1/16" (1.59 mm) como mínimo entre la base del dispositivo y la pared de cualquier gabinete</p>
<p>Espaciamiento suficiente para proporcionar lugar abundante para la distribución de los alambres y cables colocados y para la separación entre partes metálicas de los dispositivos montados.</p>	<p style="text-align: center;">Puertas</p> <p>Espacio libre de 1 pulgada como mínimo entre cualquier parte metálica energizada, incluidas las partes energizadas de los fusibles</p> <p style="text-align: center;">Partes energizadas</p> <p>Para menos de 250V: Espacio libre de 1/2" como mínimo entre las paredes, puerta y la puerta expuesta energizada más próxima a los dispositivos montados en el gabinete</p> <p>Para 251 a 600 V: Espacio libre de 1" como mínimo entre las paredes, puerta y la puerta expuesta energizada más próxima a los dispositivos montados en el gabinete</p>
Espacio para los interruptores	
<p>Los gabinetes y cajas de corte deben de ser de profundidad suficiente para que se puedan cerrar las puertas cuando los interruptores estén en cualquier posición.</p>	
Espacio para los cables	
<p>Los gabinetes y cajas de corte deben tener un espacio posterior o uno o más espacios laterales de alambrado, canaletas laterales o compartimientos para cables.</p>	
Espacio para los cables - encerramientos	
<p>Los espacios laterales para alambrado, las canaletas laterales o compartimientos laterales deben ser herméticos mediante el uso de tapas o barreras o separadores que vayan desde la base hasta la puerta, bastidor o laterales del gabinete.</p>	

Cuadro 11.-Resumen del Art. 312.11 Espaciamiento partes (a1, a2 y a3) (b), (c), (d). No incluye las excepciones. Tomado del NFPA 70 National Electric Code NEC 2005.

Método de control:

- a) Comprobar el cumplimiento de los espacios mínimos requeridos de acuerdo a los artículos nombrados.
- b) Comprobar que los conductores que entran a un tablero de distribución cumple con las distancias de seguridad enunciadas en la tabla 408.5 del art. 408.5 del NEC.
- c) Además el espacio interior del tablero de distribución debe permitir el doblado de cables por lo que deberá cumplir con los requisitos de la sección 312.6

5.2.1.2 ¿Qué pasa si el tablero no requiere llave para su apertura?

La falta de llaves o cerraduras para abrir un tablero de distribución, constituye un grave riesgo de contacto directo, dependiendo del sitio en el cual se encuentre ubicado el tablero de distribución. Cualquiera sea el caso, esta falta o falla representa una clara violación a la disposición **420.4** del código **NFPA 70-E**, el cual estipula que *“los tableros de distribución que tengan alguna o algunas partes energizadas expuestas....deberán ser accesibles solo a personas calificadas”*.

Esta medida pretende eliminar el riesgo de contactos directos con personas no calificadas, por lo tanto un tablero sin cerradura constituye un grave riesgo para el contacto directo de las personas.

Método de control:

- a) Observar si el sitio en el cual se encuentra instalado el tablero es de acceso público.
- b) Observar que el tablero de distribución tenga cerraduras y que las mismas permanezcan cerradas con llave.

5.2.2 Respuestas a las preguntas “¿Qué pasa si...?” con respecto al interruptor principal

La mayoría de los sistemas eléctricos de distribución pueden durante una falla a tierra o un cortocircuito, entregar grandes niveles de corriente a componentes del sistema tales como conductores o equipos de servicio. Estos componentes no son capaces de manejar estos niveles de corriente durante un tiempo prolongado y pueden ser dañados o destruidos. Si el dispositivo de protección no ha sido correctamente seleccionado o no está operando en condiciones adecuadas, se pueden producir graves daños en la instalación.

Conocer el aporte al cortocircuito en un punto de la instalación es una condición necesaria para elegir un interruptor automático. La magnitud de la lcc es independiente de la carga, y sólo responde a las características del sistema de alimentación y distribución. El valor de I_n está determinado por el consumo que experimenta la instalación o máquina conectada aguas abajo.

En función de los datos disponibles se proponen dos alternativas para la determinación de la lcc:

- Por cálculo
- Por tabla

En ambos casos, las hipótesis sobre las cuales se basan los cálculos están hechas para el peor de los casos, es decir que la lcc real estará, normalmente, por debajo de la lcc calculada.

5.2.2.1 ¿Qué pasa si los terminales del interruptor principal no están bien ajustados?

Si esto sucede entonces no va a existir un buen contacto en los terminales, lo cual provoca que aumente el consumo de corriente y se genere calentamiento excesivo que va a deteriorar tanto al dispositivo interruptor

como al conductor, en el caso de este último el aislante puede agrietarse y ocasionar un cortocircuito entre fases o una falla a tierra lo cual ocasiona riesgo de contacto indirecto.

En la Publicación de la **NEMA PB 2.1-2002 “Instrucciones Generales Para El Manejo, Instalación, Operación Y Mantenimiento Correcto De Tableros De Distribución De Frente Muerto Hasta 600 Volts Nominales O Menos”** en la sección 9.4.2 se indica lo siguiente:

Inspeccione visualmente todos los conductores y las conexiones para cerciorarse de que están limpias y apretadas. Las conexiones flojas y/o contaminadas incrementan la resistencia eléctrica, lo que puede causar sobrecalentamiento. Este sobrecalentamiento se observa en el descoloramiento o descamación del aislamiento y/o partes metálicas. Las marcas o derretimiento de las superficies conectores es un signo de arco eléctrico debido a una conexión floja o deficiente. Las partes que muestren signos de sobrecalentamiento o que estén flojas se deben limpiar o cambiar si están dañadas. Apriete los tornillos y las tuercas en las uniones de las barras colectoras a las especificaciones de torsión del fabricante.

Cuadro 12.- Enunciado de la sección 9.4.2 de la publicación NEMA PB 2.1-2000, sobre procedimiento de mantenimiento de tableros.

En el manual del NEC, el artículo 110.14 hace referencia al torque máximo de apriete en los terminales, indicando que se deberá aplicar la sección 110.3 (B) que dice: *“Instalación y uso.- Equipo listado o etiquetado, será instalado y usado de acuerdo a las instrucciones incluidas en la lista o etiquetas”*, y continua en el 110.14 *“para el caso en que el fabricante no haya asignado otro valor apropiado para el diseño, las tablas explicativas desde la*

1.2 a la 1.5 proveen datos sobre el torque de apriete que los laboratorios UL usan. Estas tablas deberán ser usadas como guía únicamente, si no hay disponible ninguna información sobre el apriete en un terminal específico”.

Método de control:

- a) Utilizando un torquímetro, verificar si los terminales están ajustados adecuadamente de acuerdo a lo indicado en la tablas 1.2 a 1.5 del NEC.
- b) Verificar que el tablero de distribución se encuentre dentro de un programa anual de mantenimiento.

5.2.2.2 ¿Qué pasa si los terminales están sulfatados?

Se presentan deficiencias similares que en el caso anterior y puede ser provocado por el uso de materiales disímiles o por mal ajuste. Se debe seguir la indicación de la NEMA PB2.1 2002 en el inciso 9.4.2 y nuevamente la norma 110.14 del NEC. Para lo cual indica: “Debido a las diferentes características del cobre y del aluminio, deben usarse conectadores o uniones a presión y terminales soldables apropiados para el material del conductor e instalarse adecuadamente. No deben unirse terminales y conductores de materiales distintos, como cobre y aluminio, a menos que el dispositivo esté identificado (aprobado conforme con lo establecido en 110-2)

para esas condiciones de uso. Si se utilizan materiales como soldadura, fundentes o compuestos, deben ser adecuados para el uso y de un tipo que no cause daño a los conductores, sus aislamientos, la instalación o a los equipos”.

Método de control: Verificar que no se use materiales disímiles, o que tenga la identificación de estar aprobados para ese uso.

5.2.2.3 ¿Qué pasa si luego de hacer pruebas se diagnostica que el interruptor está en mal estado?

En este caso es necesario establecer el defecto que presenta el interruptor porque de acuerdo a esto se presentan diferentes riesgos:

1. Si uno de los contactos del interruptor no se desconecta puede llegar a ocurrir un contacto directo al manipular un dispositivo y realizar maniobras en un equipo que debería estar desenergizado y no lo está.

La norma NEMA PB 2.1 2002 indica lo siguiente:

1.3.1 Operación Satisfactoria

La operación satisfactoria de los tableros de distribución depende del manejo, instalación, operación y mantenimiento adecuados. Si se descuidan ciertos requisitos fundamentales de instalación y mantenimiento, pueden sufrirse lesiones personales graves o muerte, y dañarse el equipo eléctrico u otros bienes.

1.3.2 Personal calificado

La instalación, operación y mantenimiento de los tableros de distribución las debe hacer únicamente personal calificado.

Método de control:

- a) Verificar que existen las políticas adecuadas de seguridad de tal manera que se cumplan con los artículos 1.3.1 y 1.3.2 de la NEMA PB2.1
- b) Verificar que el tablero de distribución se encuentre dentro de un programa anual de mantenimiento.
- c) Si los terminales están en mal estado. Pregunta contestada en el literal 5.2.2.2

5.2.2.4 ¿Qué pasa si el interruptor principal está sobredimensionado?

En este caso hay que poner de manifiesto que la pregunta se hace con respecto a la ampacidad del conductor o barras que estén conectados al

interruptor. Porque el interruptor puede estar sobredimensionado con respecto a la carga que tenga que alimentar, pero su dimensionamiento ser adecuado para el conductor que esté alimentando en este caso debe haber una correcta coordinación de las protecciones.

Respondiendo a la pregunta, lo que pasaría es que el conductor no estaría protegido y siendo así en caso de que el conductor se vea sometido a sobrecarga se deterioraría rápidamente su aislante y esto podría provocar un cortocircuito entre fases o una falla a tierra que conlleva un riesgo de contacto indirecto.

El manual del NEC en el artículo 110.9 indica que los dispositivos de protección en caso de falla deben tener una corriente de interrupción suficiente para la tensión y corriente nominales del circuito. En el artículo 110.10 el NEC señala de manera muy clara que el propósito básico de la protección contra sobrecorriente es abrir el circuito antes que el aislamiento del conductor o conductores sea dañado cuando una condición de sobrecorriente ocurra.

La sección 240.4 del NEC “Protección de Conductores” indica como seleccionar el dispositivo de protección adecuado de acuerdo a la ampacidad del conductor esta ampacidad se establece de acuerdo a la sección 310.15 del NEC, la sección 240.6 del NEC indica los amperios nominales estándar de los dispositivos de protección.

Método de control:

Verificar que el dispositivo de protección esté dimensionado de acuerdo a la ampacidad del conductor que está alimentando, según se determine en las secciones 240.4 y 240.6 del NEC.

5.2.2.5 ¿Qué pasa si el interruptor no está correctamente asegurado?

Si el interruptor principal no esta correctamente asegurado podría dar lugar a vibración del dispositivo lo cual podría afectar a los terminales o incluso al mismo dispositivo que podría perder uno o mas de sus pernos de sujeción y salir de posición provocando una condición insegura con peligro de un cortocircuito o una falla a tierra que provoca un riesgo de contacto indirecto.

Método de control:

Verificar que el dispositivo de protección este correctamente asegurado.

5.2.2.6 ¿Qué pasa si luego de analizar la red, el rango de Icc del interruptor es menor al requerido?

En caso de que el rango de corriente de cortocircuito del dispositivo de protección sea excedido el equipo será destruido o dañado. Por lo tanto se genera un riesgo de explosión o de arco llamarada.

El manual del NEC en el artículo 110.16 Protección contra arco llamarada, indica lo siguiente:

Tableros de distribución, paneles, tableros industriales de distribución, tableros de medidores y centros de control de motores que estén en otras ubicaciones que no sean viviendas y sea probable que requieran revisión, ajuste, servicio o mantenimiento mientras están energizados serán marcados para advertir al personal calificado del peligro potencial de arco llamarada. La marca será colocada de manera que sea visible al personal calificado antes de la revisión, ajuste servicio o mantenimiento del equipo.
--

Cuadro 13.- Enunciado de la sección 110.16 del manual del NEC. Protección contra arco llamarada.

En el anexo 1 al final de la tesis se presenta las formulas para realizar un análisis de arco llamarada y también se incluye dos muestras de etiquetas con los datos requeridos sobre el arco llamarada.

El estudio de cortocircuito para un sistema eléctrico de distribución es muy importante dentro del análisis y se lo emplea para:

- Verificación de capacidades interruptivas.
- Comprobar que los equipos destinados a interrumpir las corrientes de cortocircuito, tengan la capacidad adecuada para soportar dichas corrientes.
- Selección de rangos y ajustes de los dispositivos de protección.

El manual del NEC 2005 en el artículo 110.10 señala que: “Los dispositivos de protección por sobrecorriente deben ser seleccionados y coordinados de tal manera que el rango de corriente de cortocircuito de los componentes del sistema no sea excedido durante un cortocircuito o una falla tierra de grandes proporciones”.

El artículo 240.12 del NEC señala que: se permite un sistema de coordinación cuando se requiera una interrupción ordenada para minimizar el riesgo o riesgos para las personas y para el equipo.

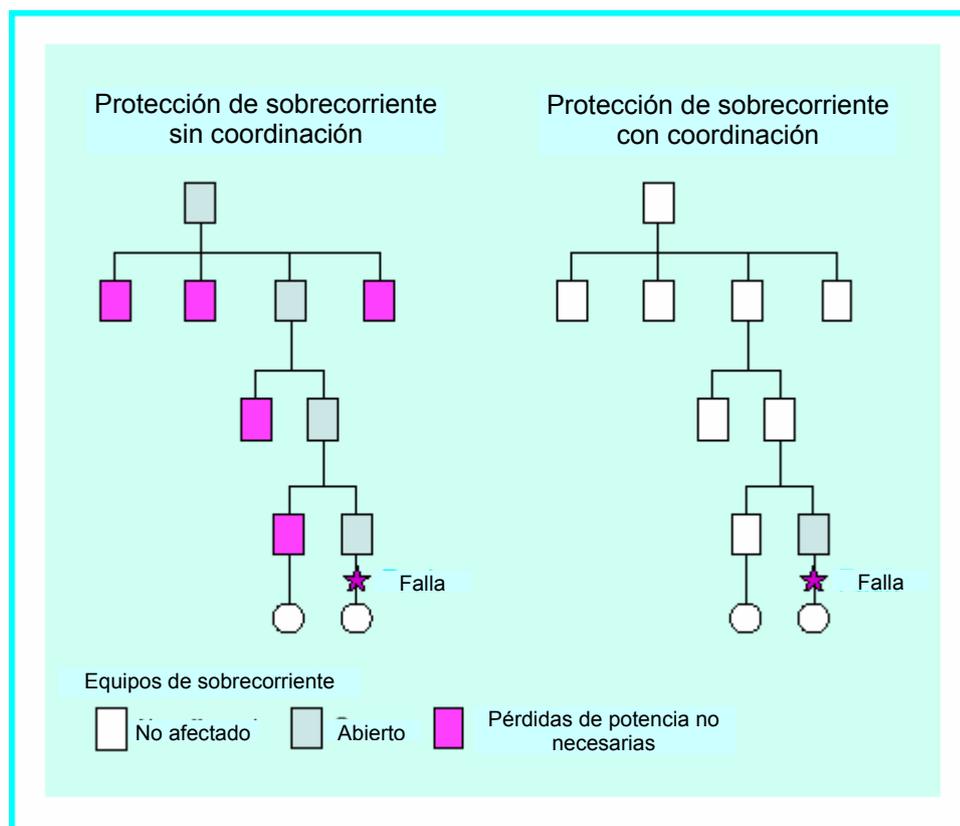


Figura 13.- Esquema de sistemas de protección por sobrecorriente sin coordinación y con coordinación de los dispositivos. Tomado de la sección 240.3 del manual del NEC 2005

Entonces es necesario para el análisis de la red que además del estudio de cortocircuito se realice también un estudio de coordinación de protecciones, este estudio será empleado para:

- Asegurar la operación durante condiciones normales de operación.
- Asegurar que el sistema se mantenga en equilibrio durante las sobrecorrientes normales de operación, como son; corrientes de

magnetización en transformadores y corrientes de arranque en motores.

- Asegurar la operación selectiva de los dispositivos de protección.
- Asegurar que únicamente salga de operación la parte del sistema en la cual ocurra una falla y dejar el resto del sistema en operación.

Con lo anterior se asegura que el sistema eléctrico de distribución tendrá la máxima continuidad de servicio eléctrico.

Determinación de la ICC por cálculo

El método, tomado de la publicación “Distribución en Baja Tensión” de Schneider Electric consiste en:

- 1- Hacer la suma de las resistencias y reactancias situadas aguas arriba del punto considerado.

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

$$X_T = X_1 + X_2 + X_3 + \dots$$

- 2- Calcular:

$$I_{cc} = \frac{U_0}{\sqrt{3} \sqrt{R_T^2 + X_T^2}}$$

donde:

U_0 = Tensión entre fases del transformador en vacío, lado secundario de baja tensión, expresada en Voltios (V).

R_T y X_T = Resistencia y reactancia total expresadas en miliohmios ($m\Omega$)

Parte de la instalación	Valores a considerar ($m\Omega$)	Reactancias ($m\Omega$)
Red aguas arriba	$R_1 = Z \cos\varphi \cdot 10^{-3}$ $Z_1 = \frac{U^2}{P}$ $P = P_{cc}$ de la red aguas arriba en MVA $\cos\varphi = 0,15$ $P = P_{cc}$	$X_1 = Z_1 \sin\varphi \cdot 10^{-3}$ $\sin\varphi = 0,98$
Transformador	$R_2 = \frac{W_c \cdot U^2 \cdot 10^{-3}}{S^2}$ W_c = Pérdidas en el Cu S = Potencia aparente transformador (kVA)	$X_2 = \sqrt{Z_2^2 - R_2^2}$ $Z_2 = \frac{U_{cc} \cdot U^2}{100 \cdot S}$ U_{cc} = Tensión de cortocircuito del transform.
En cables	$R_3 = \frac{\rho L}{S}$ $\rho = 22,5$ (Cu) $L = m$ $S = mm^2$	$X_3 = 0,08L$ (cable trifásico) $X_3 = 0,12L$ (cable unipolar) L en m
En barras	$R_3 = \frac{\rho L}{S}$ $\rho = 36$ (AL) $L = m$ $S = mm^2$	$X_3 = 0,15L$ L en m

Cuadro 14.- Detalle de las fórmulas y los pasos para encontrar la resistencia y reactancia de cada punto en la instalación. Tomado de la Publicación “distribución en Baja Tensión” de Schneider Electric

Potencia del transformador MT/BT (en kVA)	≤ 630	800	1000	1250	1600	2000
Tensión de cortocircuito u_{cc} (en %)	4	4,5	5	5,5	6	7

Tabla V.- Esta tabla muestra la relación del voltaje de cortocircuito respecto a la potencia del transformador. Tomado del cuaderno técnico #158 de Schneider Electric

Método de control:

- a) Verificar que el dispositivo de protección sea el adecuado para soportar la corriente de cortocircuito del sistema
- b) Verificar que exista un sistema coordinado de protecciones de tal manera que se asegure el funcionamiento correcto de las protecciones.

5.2.3 Respuestas a las preguntas “¿Qué pasa si...?” con respecto a las barras y aisladores

Las capacidades de las maquinarias y plantas eléctricas de hoy en día son tales que sus sistemas de control se ven sometidos a fuerzas muy grandes, las barras al igual que los otros equipos en el sistema tienen que ser capaces de resistir estas fuerzas sin daño. Por lo tanto es esencial que el material usado en su construcción tenga las mejores propiedades mecánicas posibles, y estar diseñadas para operar dentro de los límites de temperatura establecidos.

La capacidad de transporte de corriente de una barra es normalmente determinada por la temperatura máxima a la cual la barra esta permitida de operar, según como está definido por las normas la ANSI C37.20 permite una elevación de temperatura de 65°C sobre un ambiente máximo de 40°C siempre que terminales con recubrimiento de plata (u otra alternativa

aceptable) y fijados con pernos sean usados. Si no, una elevación de temperatura de 30°C es permitida. La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC por sus siglas en inglés), norma IEC 60439-1 en la tabla 2 del artículo 7.3 indica los parámetros a tener en cuenta para los límites de elevación de temperatura bajo operación normal de una barra, que son:

- Resistencia mecánica del material conductor
- Posible efecto en equipos adyacentes
- Límite de temperatura admisible del material aislante en contacto con el conductor
- El efecto de la temperatura del conductor sobre los aparatos conectados a él
- Para contactos enchufables, tratamiento de la superficie del material de contacto

5.2.3.1 ¿Qué pasa si la sección transversal de las barras de distribución está subdimensionada?

El efecto inmediato que se observaría en una barra que este subdimensionada sería un calentamiento excesivo y una rápida oxidación del material conductor especialmente donde existan uniones y/o terminales. Este efecto deteriorante de los elementos que estén conectados a la barra daría

lugar a un cortocircuito o una falla a tierra debido al agrietamiento del aislante de los conductores y se podría producir un contacto indirecto.

Para determinar correctamente la cantidad de corriente que puede transportar una barra se debe tomar en cuenta los siguientes factores:

- Temperatura ambiente y máxima temperatura de operación
- Efecto piel
- Calentamiento por corrientes de cortocircuito, y
- Esfuerzos mecánicos entre los mas importantes

La siguiente fórmula tomada de la publicación Cobre para barras del 22 de junio de 1996 de la Asociación para el desarrollo del cobre (CDA por sus siglas en inglés COPPER DEVELOPMENT ASSOCIATION), puede ser usada para obtener aproximadamente el rango de corriente DC para una barra de sección rectangular. La ecuación es también aproximadamente real para corriente alterna siempre que el radio de los efectos de superficie y proximidad permanezcan cercanos a uno, la fórmula ha sido determinada para una elevación de temperatura de 50°C por arriba de una temperatura ambiente de 40°C. El valor para corriente alterna se encuentra dividiendo el

valor dc de la corriente para la raíz cuadrada del efecto piel, mismo que más adelante se mostrará como se obtiene.

$$I = 7.73 \sqrt[2]{A} p^{0.39}$$

Donde:

I = corriente, A

A = sección transversal, mm²

p = perímetro del conductor, mm

En la misma publicación de Cobre para barras de la CDA se encuentran unas tablas muy completas con los cálculos de corriente para tamaños comerciales de barras.

El efecto piel o efecto superficie es la tendencia de la corriente a fluir en las capas mas externas del conductor, este efecto es provocado por el paso de una corriente alterna en el conductor. El valor de la resistencia del cobre en el caso de un sistema de barras d.c es calculado directamente dividiendo el valor de resistividad del conductor para la sección transversal de la barra. Cuando se trata de un sistema a.c. la resistencia es incrementada debido al efecto piel.

El efecto piel (S) se calcula como el ratio entre los valores a.c. y d.c. de resistencia. Este valor es uno para un sistema d.c. pero se incrementa con la frecuencia y el tamaño físico de la barra.

$$S = \frac{R_f}{R_0}$$

Donde R_0 = Resistencia d.c. por unidad de longitud W/mm

R_f = Resistencia a.c. efectiva del conductor W/mm

La magnitud y la importancia del efecto se incrementa con la frecuencia, tamaño, forma y espesor del conductor y es más notorio en conductores de gran sección transversal, pero es independiente de la magnitud de corriente que fluya.

El efecto piel en una barra de sección rectangular es función del espesor y el ancho, y se incrementa conforme aumenta el espesor de la barra, por lo tanto una pletina o una barra delgada es más eficiente como conductor de corriente alterna. La siguiente figura puede usarse para encontrar el valor del efecto piel en barras de sección rectangular.

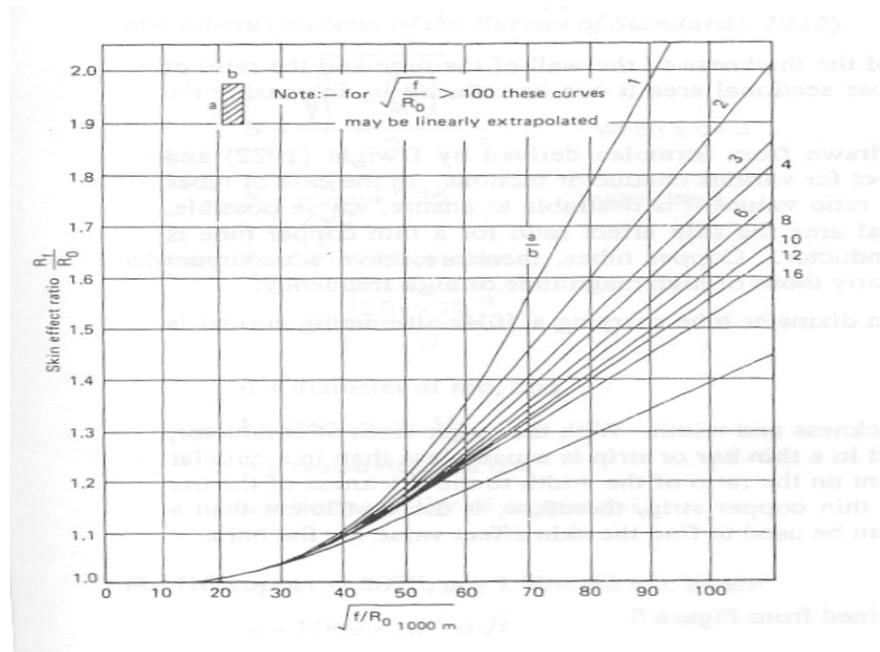


Figura 14.- Efecto piel para conductores rectangulares. Se ilustra las curvas para diferentes relaciones de altura y espesor. Tomado de la publicación “Copper for Busbars” de la CDA

Solicitud térmica

En la mayoría de los sistemas de potencia una corriente de cortocircuito tiene que ser soportada, estas corrientes son muy frecuentemente 10 a 20 veces el rango continuo de corriente y por lo tanto el efecto de calentamiento transitorio debe ser tomado en cuenta. Este efecto puede, en muchos casos, llevar a un sobrecalentamiento peligroso, particularmente donde pequeños conductores forman parte de un gran sistema de corriente, y debe ser considerado cuando se determina el tamaño del conductor.

En la norma IEC 60439-1 Anexo B, indica que se debe usar la siguiente fórmula para determinar la sección transversal de un conductor necesaria para resistir el aumento de temperatura debido a una corriente de cortocircuito:

$$A = \frac{\sqrt{tI^2}}{k}$$

Donde:

t = máximo tiempo de cortocircuito, s

A = sección transversal del conductor, mm²

I = corriente de cortocircuito del conductor, A

k = Factor que involucra tipo de material, tipo de aislante, y temperaturas inicial y final

Despejando para t podremos determinar si la sección transversal de la barra puede resistir la corriente de cortocircuito el tiempo necesario para que opere la protección, La tabla B-1 mostrada a continuación nos indica los posibles valores de k

	Aislante del conductor		
	PVC	XLPE EPR Conductores Desnudos	Goma Butílica
Temperatura final	160°C	250°C	220°C
	Factor k		

Material del conductor:

Cobre	143	176	166
Aluminio	95	116	110
Acero	52	64	60

Nota: La Temperatura inicial del conductor es asumida en 30°C

Tabla VI.- B-1.- Valores del factor K para conductores aislados o conductores desnudos. Tomado del Anexo B de la norma IEC 60439-1

El valor de t obtenido debería siempre ser mayor que el tiempo requerido para resistir el cortocircuito, de acuerdo a lo establecido en el artículo 4.3 de la IEC 60439-1 el tiempo más corto que el conductor tiene que resistir un cortocircuito es 1 segundo, a menos que el fabricante especifique otro valor; en caso de que el tiempo sea menor de 1 segundo la sección de la barra sería insuficiente y tendría que ser aumentada.

Solicitud electrodinámica

Cuando un conductor transporta corriente crea un campo magnético, el cual interactúa con cualquier otro campo magnético presente para producir una fuerza. Cuando las corrientes fluyendo en dos conductores adyacentes son

en la misma dirección, la fuerza es de atracción y cuando las corrientes son en direcciones opuestas se produce una fuerza de repulsión.

En la mayoría de los sistemas de barras los conductores que transportan corriente son usualmente rectos y paralelos uno al otro. La fuerza producida por los dos conductores es proporcional al producto de sus corrientes. Normalmente en la mayoría de los sistemas de barras las fuerzas son muy pequeñas y pueden ser despreciadas, pero bajo condiciones de cortocircuito la corriente llega a unos picos de hasta 30 veces su valor normal, cayendo después de unos pocos ciclos a 10 veces su valor inicial y deben ser tomadas en cuenta junto con los esfuerzos en la estructura del material conductor cuando se diseña los aislantes de la barra y los soportes asociados para garantizar factores de seguridad adecuados. Estadísticamente la falla que se produce con más frecuencia es el cortocircuito unipolar a tierra. No obstante, es el cortocircuito tripolar en el que generalmente se establecen las corrientes de cortocircuito de mayor intensidad en el punto defectuoso considerado. Por lo tanto este valor es decisivo a la hora de dimensionar las instalaciones.

Las fórmulas usadas a continuación fueron tomadas de la publicación Cobre para Barras de la CDA, la siguiente fórmula nos da la condición de fuerza máxima resultante sobre una fase en un sistema trifásico:

$$F_{max} = 0.866 \left(2 \frac{I^2}{s} \times 10^{-4} \right)$$

Donde:

F_{max} = la fuerza máxima sobre un conductor, N/m

I = corriente pico asimétrica, A

s = separación interlinear entre los conductores, mm

La corriente pico asimétrica obtenida durante un cortocircuito varía con el factor de potencia del circuito.

Factor de Potencia	Factor de multiplicación para obtener I pico
0	2.828
0.07	2.55
0.2	2.2
0.25	2.1
0.3	2
0.5	1.7
0.7	1.5
1.0	1.414

Tabla VII.- Valor por el que se debe multiplicar la corriente simétrica para obtener la corriente pico en función del factor de potencia. Tomado de la publicación “Copper for Busbars” de la CDA.

En la fórmula anterior se asume conductores infinitamente largos. Esta suposición generalmente no lleva a grandes errores en las fuerzas calculadas del cortocircuito. Esto sin embargo no es verdad, en los extremos de los conductores hay un gran cambio en el flujo comparado con el campo magnético uniforme sobre la mayor parte del conductor. Cuando el conductor es relativamente corto este efecto puede ser considerable, para este caso se debe usar la siguiente fórmula:

$$F_{tot} = 1.732I^2 \left[\left(\frac{1000L}{s} \right) - 1 \right] \times 10^{-7}$$

Donde:

F_{tot} = fuerza total en el conductor, N

L = longitud del conductor, m

Esta fórmula será usada para cuando la relación $\left(\frac{1000L}{s}\right)$ tenga valores entre 20 y 4, si esta relación es mayor que 20 se usará la fórmula anterior.

Las fórmulas anteriores han sido desarrolladas para conductores redondos, pero estas mismas fórmulas sirven para el cálculo de conductores rectangulares al ser multiplicadas por el factor de proximidad K, el valor de este factor K será encontrado usando la siguiente curva:

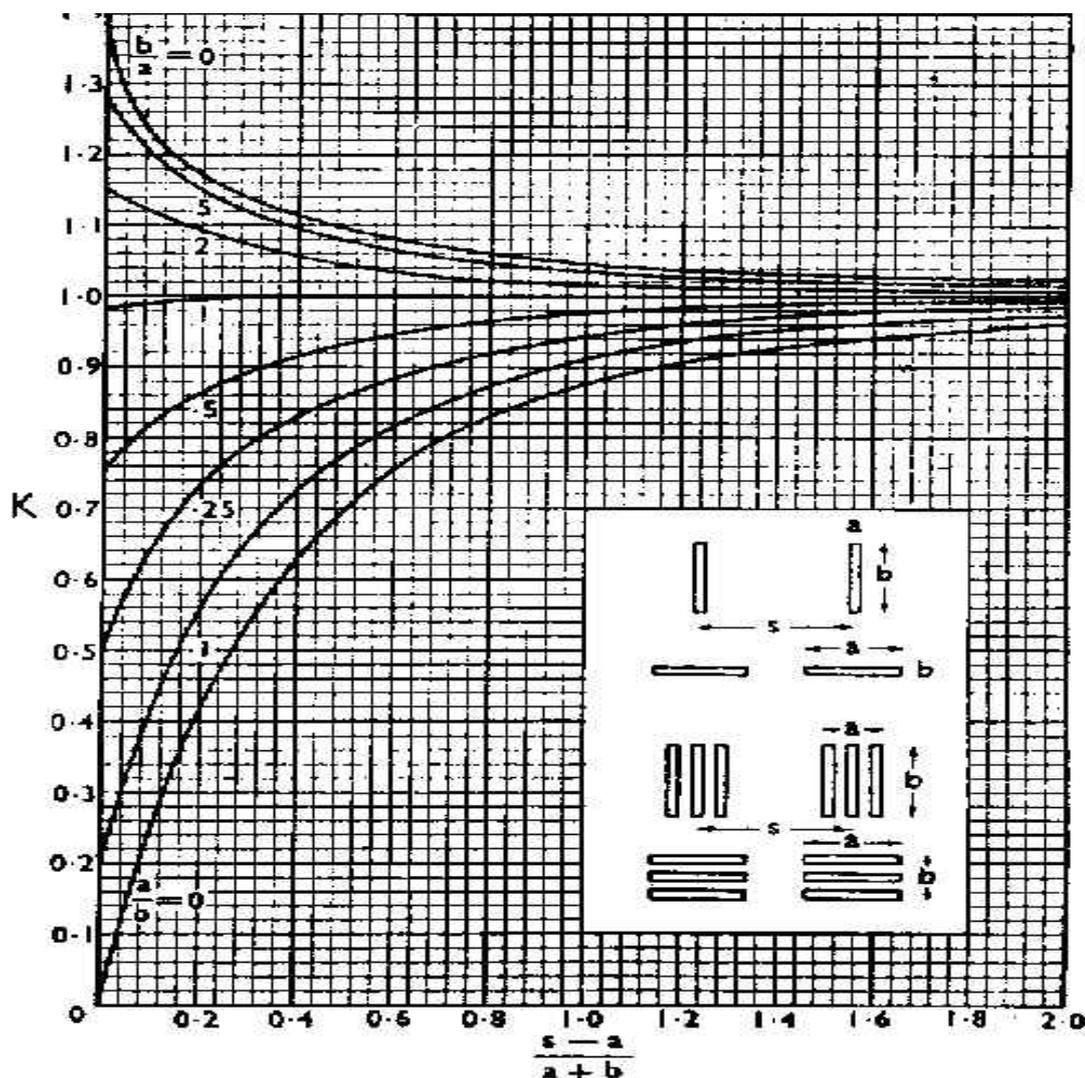


Figura 15.- Juego de curvas para calcular el factor de proximidad para conductores rectangulares de cobre. Tomado de la publicación "Copper for Busbars" de la CDA.-

Se calcula primero el valor de $\frac{s-a}{a+b}$ luego K es leído de la curva para el radio

apropiado $\frac{a}{b}$ de las curvas se puede ver que el efecto de la forma de los

conductores decrece rápidamente con el incremento del espacio.

Usando las fuerzas de cortocircuito obtenidas de las formulas precedentes se calculará los requerimientos de fuerza mecánica de las barras.

Las Fórmulas usadas a continuación fueron tomadas del Manual del Ingeniero Mecánico de Baumeister, Avallon y Baumeister III, la máxima deflexión de una barra transportando una corriente uniformemente distribuida y con sus extremos rígidamente asegurados en una posición horizontal esta dada por la siguiente fórmula:

$$\Delta = \frac{FL^3}{384EI}$$

Donde:

Δ = máxima deflexión, mm

F = Fuerza total en la barra, N/mm

L = Longitud entre los soportes de la barra, mm

E = modulo de elasticidad ($124 \times 10^3 \text{N/mm}^2$)

I = momento de inercia de la sección transversal de la barra, mm^4

En la fórmula anterior el momento de inercia I para la sección de la barra tiene que ser calculado sobre el eje neutral el cual corre paralelo a la barra

donde la barra tiene fuerza extensible cero. En la mayoría de los casos el mismo eje del centro de la sección transversal.

Para una sección rectangular de alto H y ancho B en mm:

$$I = \frac{BH^3}{12}$$

El máximo esfuerzo en el conductor puede entonces ser calculado usando la siguiente fórmula:

$$f = \frac{M}{Z}$$

Donde:

f = máximo esfuerzo, N/mm²

M = máximo momento de curvatura, N/mm

Z = Modulo de la sección, mm³

El máximo momento de curvatura para una barra sencilla de longitud L (mm) con carga uniforme y con los extremos rígidamente asegurados es:

$$M = \frac{FL}{12}$$

Donde:

F = Fuerza total en la barra, N/mm

L = intervalo, mm

Para una sección rectangular de altura H tenemos:

$$Z = \frac{BH^2}{6}$$

Entonces el esfuerzo máximo permisible quedaría de la siguiente forma:

$$f = \frac{FL}{2BH^2}$$

El esfuerzo máximo permisible depende del material conductor, temperatura, etc., pero no debe exceder el esfuerzo de prueba del material o una deformación permanente ocurrirá. Para una barra hecha de cobre duro el valor es aproximadamente 245 N/mm².

De la fórmula anterior se puede obtener que el esfuerzo es directamente proporcional a la fuerza total actuando sobre la barra y por lo tanto inversamente proporcional a la distancia interlineal s entre las barras, es decir que al aumentar la distancia entre las barras disminuye el esfuerzo sobre esta.

El esfuerzo es directamente proporcional a la longitud del intervalo L , es decir al aumentar la longitud del intervalo aumentará el esfuerzo sobre la barra y viceversa.

El esfuerzo es inversamente proporcional a la altura y el espesor de la barra, es decir que al aumentar las dimensiones de la barra el esfuerzo sobre la misma será menor.

Método de control:

- a) Verificar si el rango calculado de la barra esta de acuerdo con la carga que debe manejar.
- b) Verificar que la temperatura de la barra no excede lo indicado en la norma IEC 60439-1 en la tabla 2 del artículo 7.3.
- c) Verificar si la sección transversal de la barra es suficiente para la sollicitación térmica de acuerdo a la corriente de cortocircuito.
- d) Verificar si la sección transversal de la barra es suficiente para resistir el esfuerzo mecánico provocado por las fuerzas de cortocircuito

5.2.3.2 ¿Qué pasa si el espacio de separación entre las barras es menor al mínimo requerido?

Si el espacio de separación entre las barras es menor al requerido entonces existe un riesgo de producirse un arco, lo cual podría ocasionar un cortocircuito o una falla a tierra.

El manual del NEC en su artículo 408.56 establece que la distancia entre las partes metálicas desnudas, barras, etc. no será menor a la especificada en la tabla 408.56. que se muestra a continuación.

Voltaje	Polaridad opuesta cuando están montadas en la misma superficie		Polaridad opuesta cuando están al aire libre		Entre las partes vivas y tierra	
	mm	in.	mm	in.	mm	in.
No mas de 125 voltios, nominales	19.1	3/4	12.7	1/2	12.7	1/2
No mas de 250 voltios, nominales	31.8	1 1/4	19.1	3/4	12.7	1/2
No mas de 600 voltios, nominales	50.8	2	25.4	1	25.4	1

Tabla VIII.- Espacios mínimos entre partes metálicas desnudas. Tomada del artículo 408 del manual del NEC 2005 (Tabla 408.56)

Método de control:

- a) Verificar que la separación entre las barras sea mayor o igual a establecida en la tabla 408.56

- b) Verificar que la separación entre las barras sea la adecuada para no sobrepasar el esfuerzo máximo sobre la barra.

5.2.3.3 ¿Que pasa si la longitud de la barra obliga a tener soportes adicionales y no los tiene?

Todos los sistemas de barras tienen que ser diseñados para resistir las fuerzas mecánicas a las cuales ellos pueden estar sujetos, ya sean estas debido a su propio peso o las fuerzas de cortocircuito. Estas fuerzas llegan a ser más onerosas con el incremento del voltaje y decremento de la corriente debido respectivamente a aislantes más grandes y conductores más pequeños.

El conductor por si mismo deberá tener suficiente dureza de material bajo todas las condiciones de operación. Debe ser capaz de soportar por si mismo sin deflexión excesiva bajo condiciones normales de trabajo, y no sufrir daño permanente bajo condiciones anormales.

En casos donde existe probabilidad de vibración con corrientes normales o cuando sometido a fuerzas de cortocircuito se cause daño al conductor, lo siguiente puede ser usado para reducir o eliminar el efecto:

- a) Reducir el intervalo entre los soportes aislantes.
- b) Decrementar la flexibilidad del conductor.

Método de control:

- a) Verificar que el intervalo entre los soportes sea el adecuado para resistir el esfuerzo máximo sobre la barra debido a las fuerzas de cortocircuito

5.2.3.4 ¿Que pasa si el aislador esta subdimensionado?

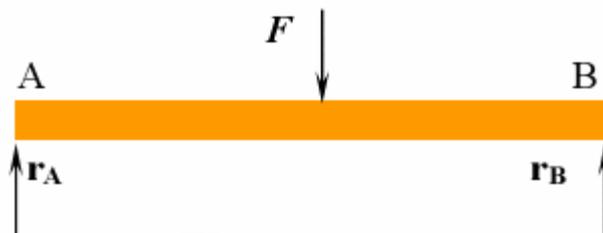
Los aisladores son los elementos cuya finalidad consiste en separar eléctricamente el conductor de la línea de apoyo que lo soporta. Al emplearse los conductores, se precisa que los aisladores posean buenas propiedades dieléctricas ya que la misión fundamental de este es evitar el paso de la corriente del conductor hacia tierra.

En la fabricación de aisladores eléctricos se debe utilizar materiales que posean alta resistividad, y gran resistencia mecánica, entre otras cualidades necesarias para el buen desempeño del aislador, durante las corrientes de cortocircuito las fuerzas que soporta el aislador son muy grandes, la rotura

del aislador al soportar una fuerza mayor para la que está dimensionado provocaría un cortocircuito de mayores dimensiones o una falla a tierra.

Hemos determinado la fuerza máxima y también el esfuerzo máximo sobre una barra rígidamente asegurada, dicha fuerza se considera aplicada al centro de la barra por lo tanto los soportes tendrán que soportar la mitad del esfuerzo generado y constituyen la reacción a la misma, como se muestra en la siguiente figura las fuerzas r_A y r_B equilibran a la fuerza F .

A y B son los puntos de sujeción de la barra y deberán resistir el esfuerzo de corte que le impone la fuerza F y las reacciones r_A y r_B



Método de control:

Verificar que las características mecánicas del aislador le permitan soportar el esfuerzo cortante ocasionado por las fuerzas de cortocircuito.

5.2.3.5 ¿Que pasa si los pernos de sujeción de la barra al aislador están flojos?

Esto provocaría una condición insegura de trabajo, porque al estar flojos estos elementos que transportan gran cantidad de energía, se incrementa el riesgo de cortocircuito o falla a tierra.

Método de control:

- a) Verificar que todos los elementos estén correctamente asegurados.
- b) Verificar que el tablero de distribución se encuentre dentro de un programa anual de mantenimiento.

5.2.4 Respuestas a las preguntas “¿Qué pasa si...?” con respecto a los conductores y alimentadores

Un conductor debe tener una sección tal que la corriente que por él circula no produzca un calentamiento inadmisibles en el mismo, ni produzca una caída de tensión excesiva entre el origen de la instalación y el punto de utilización. Deberá tener además una resistencia mecánica adecuada.

El conductor deberá además dimensionarse teniendo en cuenta las corrientes de cortocircuito y la duración de las mismas; que pueden afectar seriamente su aislamiento.

5.2.4.1 ¿Que pasa si el aislamiento del conductor está deteriorado?

El aislante es el material que previene que el flujo de electricidad entre dos puntos de diferente potencial en un sistema eléctrico sea posible. La falla del sistema de aislamiento es una de las causas más comunes de problemas en las instalaciones eléctricas. Un aislante deteriorado podría ocasionar un cortocircuito o una falla a tierra lo que genera a su vez un riesgo de contacto indirecto.

La integridad del aislamiento debe ser mantenida durante condiciones de sobrecorriente. Los dispositivos de sobrecorriente deben ser seleccionados y coordinados asegurar que el punto de daño de un conductor aislado nunca será alcanzado. La temperatura nominal de operación del conductor debe ser respetada, esto será explicado con más detalle en el literal 5.5.3

Las pruebas de aislamiento son desarrolladas sobre instalaciones nuevas y existentes para determinar la calidad o condición del aislamiento del equipo y los conductores. Las principales causas de las fallas de aislamiento son el calor, humedad, suciedad, y daño físico (abrasión, grietas o cortes) que pueden ocurrir durante y después de la instalación.

La publicación PB 2.1 de la NEMA detalla la prueba de resistencia de aislamiento eléctrico; con el neutro aislado de la tierra y los breakers en posición abierta, se debe realizar pruebas de fase a fase, fase a neutro, de fase a tierra y de neutro a tierra. La lectura tiene que ser mayor de 1 megaohm, caso contrario hay que revisar y determinar la causa del problema.

El aislamiento puede también fallar debido a ataque químico, la luz del sol y debilitamiento debido a excesivos voltajes. A este respecto debe cumplirse con los artículos 110.7, 110.12 (c) y 300.4 del NEC donde se indica la protección contra daño físico y durante la instalación de los conductores.

Método de control:

- a) Verificar que no exista conductores con el aislamiento deteriorado o con signos de envejecimiento de acuerdo a los artículos 110.7, 110.12(c) y 300.4
- b) Realizar una prueba de resistencia de aislamiento y verificar que las lecturas obtenidas no sean menores de 1 megaohm. Para asegurar la integridad del aislamiento.

5.2.4.2 ¿Que pasa si los radios de curvatura en el interior del tablero son muy pequeños?

Si los radio de curvatura de los conductores son muy pequeños, entonces el aislante de ese conductor estaría propenso a dañarse con el tiempo y se podría producir un arco o una falla a tierra.

La norma NEMA PB2.1-2002 en su artículo 5.6 indica que se deben colocar los conductores en el tablero de tal manera que: no sufran daño, no sobrecalienten, asegurados de tal manera que resistan un cortocircuito y con los radios de curvatura lo mas amplios posibles.

El Reglamento de Baja Tensión español, en su Instrucción Técnica Complementaria ITC-BT-20, indica:

Se evitará curvar los cables con un radio demasiado pequeño y salvo prescripción en contra fijada en la Norma UNE correspondiente al cable utilizado, este radio no será inferior a 10 veces el diámetro exterior del cable

Método de Control:

Verificar que los radios de curvatura de los conductores sean mayores a 10 veces el diámetro exterior del cable.

5.2.4.3 ¿Que pasa si el calibre del conductor que alimenta una carga está subdimensionado?

Si un alimentador se encontrase subdimensionado, el primer efecto que se observaría es el calentamiento del conductor y el rápido deterioro del aislante lo cual generaría un riesgo de cortocircuito o falla a tierra y consecuentemente un riesgo de contacto indirecto.

Como se indicó en el capítulo referente a las barras, la capacidad máxima de transporte de corriente de un conductor esta directamente ligada a la temperatura de operación, el NEC en el artículo 310-10 se refiere a los límites de temperatura de los conductores y nos indica que “ningún conductor debe utilizarse de modo que su temperatura de operación supere la designada para el tipo de conductor aislado al que pertenezca”. En la tabla 310.13 se puede encontrar la temperatura nominal, de acuerdo al tipo de aislante que tenga el conductor.

Para poder determina si el tamaño del conductor que se encuentra bajo análisis es el correcto debemos calcular su valor según lo indicado en la sección 310.15 (B) del NEC, donde se indica el uso de tablas y factores de corrección de acuerdo a la temperatura de operación y la cantidad de cables

por circuito. En nuestro caso las tablas mas usadas serán la 310.15 (B)(2)(a) y la 310.16.

Hasta aquí se ha determinado la ampacidad correcta de los conductores bajo condiciones normales de operación pero aún tenemos que realizar el análisis bajo condiciones de cortocircuito. Para lo cual se usara lo establecido por la IEC 60439-1 Anexo B tal como se aplicó en la sección 5.2.3.1

El tamaño del conductor del electrodo de puesta a tierra no será menor que lo requerido por el manual del NEC en la sección 250.66 en la tabla de este artículo, así mismo el tamaño del conductor de puesta a tierra del equipo deberá estar dimensionado de acuerdo a lo requerido en la sección 250.122 en la tabla de este mismo artículo del NEC.

De acuerdo a la PB 2.1 de la NEMA los conductores de tamaño 1/0 AWG o mayores pueden colocarse en paralelo, conforme a los requerimientos de la sección 310.4 del NEC.

Método de control:

- a) Verificar que la temperatura de operación de los conductores se encuentra dentro de los parámetros establecidos en la tabla 310.13 del NEC
- b) Aplicar el artículo 215.2 y artículo 220 en sus partes III y IV, del manual del NEC para establecer el tamaño del conductor del alimentador.
- c) Verificar el dimensionamiento del conductor del electrodo de puesta a tierra de acuerdo a la tabla 250.66 del NEC y dimensionamiento del conductor de puesta a tierra de equipo según la tabla 250.122 del NEC
- d) En caso de que el alimentador cuente con conductores en paralelo, verificar que se cumpla lo establecido en la sección 310.4 del NEC
- e) Verificar que el calibre de los conductores sea el suficiente para alimentar la carga calculada.
- f) Verificar que la sección transversal del conductor sea la suficiente para resistir un cortocircuito.

5.2.4.4 ¿Que pasa si el tablero no tiene protección a tierra?

Se explican las razones de una puesta a tierra haciendo distinción entre la puesta a tierra del sistema y la puesta a tierra del equipo. El NEC 100 define

tierra eléctrica como una conexión entre el circuito eléctrico y tierra (puesta a tierra del sistema) o entre el equipo y tierra (puesta a tierra del equipo). La puesta a tierra del sistema de alimentación eléctrica consiste en unir al sistema de electrodos uno de los conductores de la acometida o uno de los conductores que salen del secundario de un transformador; a este conductor se le conoce como conductor puesto a tierra.

También es necesario hablar de las fallas a tierra por arco eléctrico, la impedancia del arco puede variar de alta a baja, depende de la longitud del arco, metal vaporizado, medioambiente y otros factores. Como resultado de todos estos factores, la corriente puede ser de nivel alto o bajo y puede crecer o disminuir en tanto el arco persista.

La necesidad básica para la protección por falla a tierra puede ser mejor entendida si nos referimos a las curvas tiempo-corriente de los dispositivos de protección por sobrecorriente aplicados a un sistema de distribución, estos dispositivos están diseñados para reconocer corrientes en el rango de sobrecargas y cortocircuitos. La naturaleza del bajo nivel de las fallas a tierra por arco eléctrico hace que su detección sea impracticable por los

dispositivos convencionales, a menos que un dispositivo de protección por falla a tierra esté instalado

El NEC en el artículo 230.95 señala la inclusión de un dispositivo de protección por falla a tierra, para sistemas en Y sólidamente aterrizados de más de 150 voltios a tierra y no más de 600 voltios entre fases, para cada desconectador de 1000 amperios o más. En este caso cabe hacer la aclaración que este dispositivo es únicamente para la protección de equipos, con un ajuste máximo de 1200 amperios y el máximo tiempo de retardo es de 1 segundo para fallas a tierra, mayores o iguales a 3000 amperios.

Protección diferencial

Principio de funcionamiento: Hoy en día, los Interruptores Diferenciales están reconocidos en el mundo entero como un medio eficaz para asegurar protección de personas contra los riesgos de la corriente eléctrica en baja tensión, como consecuencia de un contacto indirecto o directo. Estos dispositivos están constituidos por varios elementos: El captador, el bloque de tratamiento de la señal, el relé de medida y disparo y el dispositivo de maniobra. En el caso del captador el más comúnmente usado es el transformador toroidal. Los relés de medida y disparo son clasificados en 3 categorías tanto según su modo de alimentación como su tecnología:

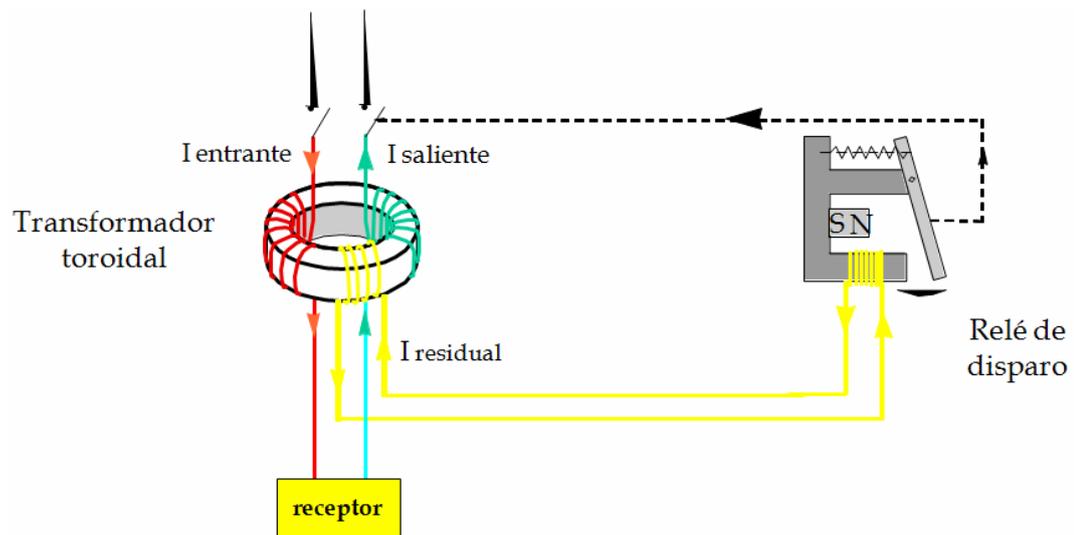


Figura 16.- Esquema que ilustra el principio de funcionamiento de un Interruptor Diferencial

- A propia corriente: Es un aparato en donde la energía de disparo la suministra la propia corriente de defecto:
 - Clase AC (dispositivos estándar)
 - Clase A (toroidal mejorado, bloque electrónico de detección de corrientes rectificadas o pulsantes)
 - Clase A superinmunizados (toroide aún más mejorado y un bloque de filtrado electrónico muy enriquecido).
- Con alimentación auxiliar: La energía de disparo necesita de un aporte de energía independiente de la corriente de defecto.

Sistemas de puesta a tierra

Los sistemas de alimentación se ponen a tierra para:

- a) limitar los sobrevoltajes transitorios debidos a descargas atmosféricas, a maniobras con interruptores.
- b) para limitar los voltajes en caso de contacto accidental del sistema de alimentación con líneas de voltaje superior, y
- c) para estabilizar el voltaje del sistema de alimentación con respecto a tierra durante operación normal.

Puesta a tierra de equipos. Los materiales conductores (tuberías y gabinetes metálicos) que contienen conductores y equipo eléctricos se ponen a tierra para limitar el voltaje a tierra entre estos materiales

Los conductores de puesta a tierra de equipo se unen al conductor puesto a tierra para proporcionar una trayectoria de baja impedancia a la corriente de falla, lo que facilitará la operación de las protecciones de sobrecorriente bajo condiciones de falla a tierra. La puesta a tierra de equipos tiene dos propósitos:

- a) limitar el voltaje de los materiales metálicos no portadores de corriente con respecto a tierra, y
- b) que en caso de falla a tierra, opere la protección de sobrecorriente.

Las figuras 2a y 2b ilustran un alambrado correcto y la forma en que opera la protección de sobrecorriente evitando que el chasis se ponga a un voltaje peligroso. La figura 2 c) muestra la forma en que la falta de la puesta a tierra pone en riesgo la vida

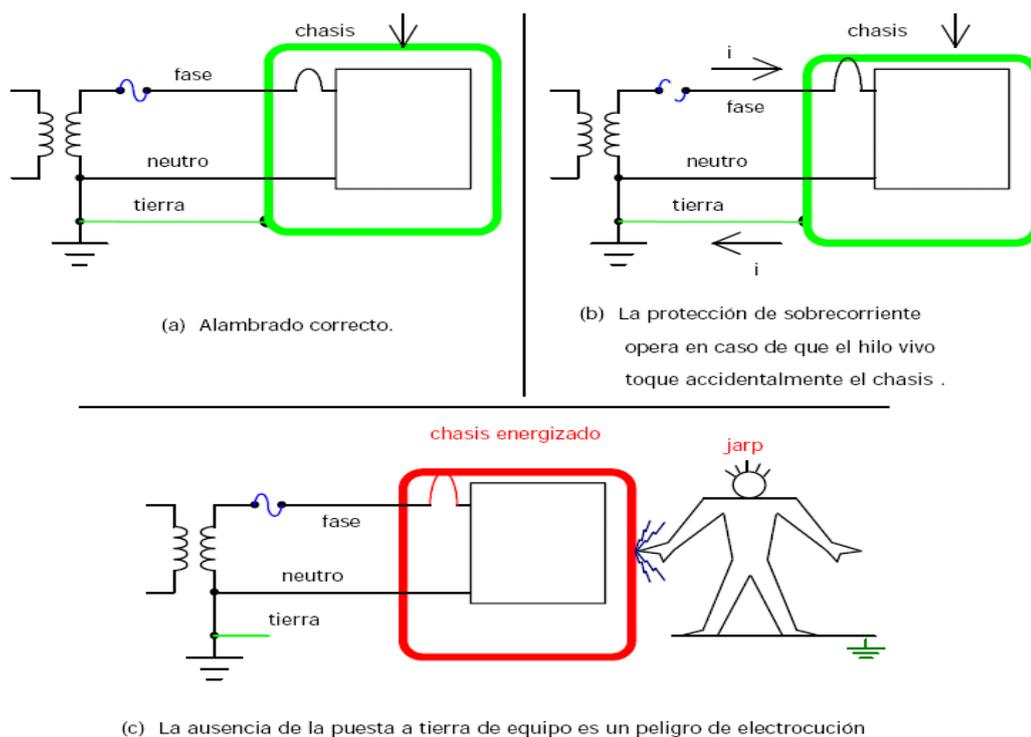


Figura 17.- Puesta a Tierra de equipo. Tomado de la publicación "Tierras Eléctricas" de A. Llamas y Jorge de los Reyes P. del Tecnológico de Monterrey, la figura (a) se refiere a un alambrado correcto en condiciones normales de operación la (b) un alambrado correcto en condiciones de una falla a tierra y la (c) un alambrado incorrecto.

Para una correcta puesta a tierra del sistema y de equipos, se debe referir al artículo 250 del NEC, donde se hace una extensa explicación y se detalla las posibles variantes que pueden existir de acuerdo al tipo de sistema y características propias de cada instalación.

Método de control:

- a) Identificar el tipo de puesta a tierra existente, o si el sistema no esta conectado a tierra
- b) Verificar que la puesta a tierra esté hecha de acuerdo a lo establecido en el artículo 250 del NEC
- c) Verificar si existe interruptor de protección diferencial.

5.3 Respuestas a las preguntas “¿Qué pasa si...?” con respecto al riesgo durante la operación y el mantenimiento del tablero.

En esta tercera parte, analizaremos los riesgos durante la operación del tablero o durante su mantenimiento. Es quizá en esta parte donde más accidentes ocurren y es por lo que profundizaremos nuestro análisis en los procedimientos establecidos en la norma.

En todo momento se debe dar cumplimiento al “Reglamento de Seguridad del Trabajo contra Riesgos en Instalaciones de Energía Eléctrica” (RSTRIEE), el cual indica en su artículo 1, que en toda instalación de utilización de energía eléctrica, tanto de carácter permanente como provisional, así como las ampliaciones y modificaciones deben ser

ejecutadas por personal calificado, con material adecuado y con aislamiento apropiado.

Debido a esto es indispensable contar con políticas en las empresas en las cuales se garantice el pleno cumplimiento de esta disposición para poder establecer condiciones seguras para la ejecución de trabajo en los tableros de distribución.

La norma NEMA PB 2.1-2002 la cual ha sido citada en varias ocasiones en este documento, indica en el artículo 1.3 que en todo momento se deben seguir las normas de seguridad en el trabajo descritas en la Parte II de la norma NFPA 70 E.

5.3.1 ¿Qué pasa si el personal encargado de dar mantenimiento o de operar los tableros no ha sido debidamente entrenado?

El capítulo II del RSTRIEE, en el artículo 11 se establece que toda persona que intervenga en operación y mantenimiento de instalaciones eléctricas debe:

- Tener una credencial que acredite su conocimiento técnico y de seguridad industrial y,
- Estar autorizado por la empresa o institución en la cual presta sus servicios para ejecutar el trabajo asignado.

La norma NFPA 70-E en el artículo 110.6 (D)(1), profundiza en la definición e indica que para que una persona sea considerada calificada debe *“recibir entrenamiento para llegar a ser conocedora de la construcción y operación de equipos o un método de trabajo específico y recibir entrenamiento para reconocer y evitar los peligros eléctricos que se puedan presentar con respecto a ese equipo o método de trabajo”*. Además se recalca la importancia de que la persona calificada esté familiarizada con técnicas de prevención especiales, equipos de protección personal, materiales aislantes y de blindaje, herramientas y equipos de ensayo aislado.

Los trabajos de operación se realizan siempre con presencia de tensión, sin embargo los trabajos de mantenimiento se pueden efectuar con presencia o en ausencia de tensión. Cualquiera sea el caso, siempre se deberá contar con una **condición de trabajo eléctricamente segura** según se establece en el artículo 120 de la NFPA 70E. En caso de que no se pueda realizar un

corte de energía, la misma norma indica que se debe justificar el trabajo (Art. 130.1 Justificación del trabajo) y establecer un permiso de trabajo eléctrico energizado (Art. 130.1 (A) Permiso de trabajo eléctrico energizado).

Método de control: Para conocer si el personal encargado del mantenimiento ha sido calificado se deberá verificar:

1. Las credenciales que acrediten el conocimiento técnico de él o los individuos que realizan los trabajos eléctricos
2. Que dichos individuos hayan recibido la acreditación, por parte de la empresa en la que se labora, sobre los riesgos presentes, uso de equipos de seguridad y disposición de los equipos en los que se va a realizar el trabajo.
3. En caso que lo amerite, permiso de trabajo eléctrico energizado.

5.3.2 ¿Qué pasa si el personal encargado de mantenimiento u operación no utiliza equipos de protección personal?

Durante los trabajos de operación en tableros eléctricos, existen tareas que requieren la utilización de equipos de protección personal y otras que no lo requieren. Los equipos de protección personal constituyen una barrera para

evitar contactos eléctricos directos o indirectos y a la vez ayudan a proteger la vida del operario.

El art. 130-7 del NFPA 70-E, señala que se debe proveer a los empleados los equipos de protección personal (EPP's) a los empleados que trabajan en áreas donde hay peligros eléctricos, pero además recalca que estos equipos deberán ser utilizados por el usuario. En resumen el patrono debe proveer los EPP's a los empleados y estos deben utilizarlos.

Dependiendo de la tarea a realizar, la tabla 130.7(c)(9)(a) de la NFPA 70-E muestra la categoría peligro / riesgo de la tarea y los equipos que se deben utilizar. (PAG 31 y 32)

Método de control:

- a) Verificar que la empresa entregue los equipos de protección necesarios y adecuados para las tareas a realizar.
- b) Verificar que se haga uso de las herramientas entregadas por la empresa.

5.3.3 ¿Qué pasa si no se utilizan las herramientas adecuadas o las mismas en mal estado?

Durante los trabajos de operación en tableros eléctricos, se deben utilizar herramientas apropiadas para realizar los trabajos, las mismas que impidan al trabajador el contacto accidental con partes energizadas.

Además, el art. 130-7(B) Cuidado del equipo, indica que los EPP's y también las herramientas, se mantendrán en condiciones seguras y confiables y que se deben inspeccionar visualmente los EPP's y herramientas antes de realizar los trabajos.

Método de control:

Establecer políticas para la revisión de los equipos y herramientas, previo al procedimiento de ejecución.

5.3.4 ¿Qué pasa si no se realizan mantenimientos preventivos?

La falta de mantenimientos preventivos en los cuadros eléctricos podría constituir un riesgo de contacto eléctrico directo o indirecto, dependiendo del estado de las conexiones en el tablero, su nivel de cortocircuito, su nivel de carga, etc.

En la Sección 9.3 de la norma NEMA PB2.1, se indica la obligatoriedad de inspeccionar un tablero una vez por año o después de un cortocircuito muy serio. La norma indica en qué consisten las pruebas y lo que se debe inspeccionar como barras, terminales y todos los conductores y conexiones.

En la sección 9.2 de la misma norma se establece que si el tablero ha trabajado por lo menos tres horas antes de la inspección, “se debe probar tocando con la palma de las manos las superficies del frente muerto de los interruptores automáticos, desconectores, guarniciones interiores, puertas y lados de la envolvente. Si la temperatura de estas superficies no le permite mantener el contacto por lo menos durante tres segundos, esta puede ser una indicación de algún problema”, por lo que sería preciso investigar la causa de éste.

Método de control:

- a) Establecer si existe un programa de mantenimiento preventivo, debiendo realizarse un mantenimiento al tablero de distribución de la menos una vez por año

5.4 Elaboración de guía para implementar métodos de control y defensas en tableros industriales

A continuación se presenta el formulario que se ha elaborado en base a las preguntas y respuestas que se han desarrollado dentro de este capítulo, Este formulario nos permitirá evaluar de manera rápida los tableros que vayan a ser objeto de un análisis de riesgo.

La primera página llevará los datos de la empresa, de las personas que participan en la evaluación, los valores nominales del sistema, corriente de cortocircuito, valores para arco llamarada y resistencia de aislamiento. Es un requerimiento indispensable que antes de empezar la evaluación se haya reunido toda esta información ya que en esto nos basaremos para poder cuantificar el nivel de consecuencias para cada evento en caso de que se encuentren fallencias y pudiesen dar a lugar a un accidente o incidente.

FORMULARIO PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGOS EN UN TABLERO DE DISTRIBUCIÓN			
NOMBRE DE LA EMPRESA:			
EVALUADORES:	FIRMA	RESPONSABLE EN OBRA	FIRMA
		FECHA:	
Los campos que se listan a continuación deben ser llenados obligatoriamente para poder empezar la evaluación del tablero, porque en base a estos datos se podrá estimar el nivel de consecuencias en cada una de las preguntas.			
Voltaje Nominal			
Corriente Nominal			
Corriente de Cortocircuito			
Resistencia de aislamiento			
Arco Llamada			
	Herramientas y EPP	SI	NO
La empresa entrega al personal los EPP necesarios y adecuados para su trabajo			
El personal que realiza los trabajos eléctricos hace uso correcto de las EPP			
Se revisa el buen estado de las herramientas y EPP antes de la ejecución de los trabajos			
NIVEL DE DEFICIENCIA (ND), VALORES ENTRE 2 Y 10 NIVEL DE EXPOSICIÓN (NE), VALORES ENTRE 1 Y 4 NIVEL DE CONSECUENCIAS (NC), VALORES ENTRE 10 Y 100 NIVEL DE RIESGO Y DE INTERVENCIÓN (NR), VALORES ENTRE 20 Y 4000			

Preguntas	ND 2-10	NE 1 - 4	NC 10-100	NR = ND.NE.NC	Método de Control	Observaciones
1 El espacio de trabajo cumple con el mínimo requerido					Verificar que se cumple con lo requerido en la sección 110.26 del NEC, si no establecer las acciones a tomar para corregir.	
2 Existe señalización en el tablero.					Verificar que existe la señalización mínima requerida, aplicar NEMA PB2 sección 3, sino elaborar la respectiva señalización	
3 El acceso al interior del tablero es permitido solo para personal calificado					Verificar si el acceso es restringido y quienes están autorizados, sino restringir el acceso, autorizando solo a personal calificado	
4 El acceso al interior del tablero está protegido por medio de cerradura					Verificar que las puertas cuenten con cerradura. Sino colocar cerraduras en las puertas	
5 Las aberturas para ventilación están protegidas para que no sea posible el contacto con partes vivas					Verificar si existen aberturas para ventilación y si es posible el contacto con partes vivas. Caso contrario corregir	
6 El nivel de iluminación a un metro desde el piso es mayor o igual a 500 luxes					Determinar el nivel de iluminación. Si no se cumple con el mínimo colocar más luminarias	
7 Si el tablero está ubicado en zona de tráfico vehicular, tiene las protecciones debidas para evitar impactos					Verificar que se cumpla con lo establecido por la norma, sino tomar medidas correctivas necesarias	

Preguntas	ND 2-10	NE 1 - 4	NC 10-100	NR = ND.NE.NC	Método de Control	Observaciones
8 Si el tablero está ubicado en el exterior, cumple con el grado de protección NEMA requerido.					Verificar que se cumpla con la norma, sino tomar medidas correctivas necesarias	
9 Los espacios internos del tablero cumplen con los requerimientos mínimos					Verificar que se cumpla con lo establecido en la sección 312.11 del NEC, sino determinar las acciones necesarias para corregir	
10 Las distancias de los conductores cumplen con el mínimo requerido					Verificar que se cumpla con lo establecido en la tabla 408.5 del NEC. Sino tomar medidas correctivas	
11 Los terminales del dispositivo de protección y de las barras están correctamente ajustados.					Verificar el ajuste de los terminales por medio de un torquímetro de acuerdo a las tablas 1.2 a 1.5 del manual del NEC	
12 El tablero se encuentra incluido en un programa anual de mantenimiento					Incluir al tablero dentro de un programa anual de mantenimiento	
13 Se usa materiales disímiles en las conexiones					Verificar que únicamente se utilice materiales aprobados para este uso o que no sean disímiles	
14 El dispositivo de protección está dimensionado de acuerdo a la ampacidad del conductor que alimenta.					Verificar aplicando los artículos 240.4 y 240.6 del NEC. Sino corregir de acuerdo a la norma	
15 El dispositivo de protección está correctamente asegurado					Verificar que el dispositivo se encuentre asegurado con firmeza, sino corregir	

Preguntas	ND 2-10	NE 1 - 4	NC 10-100	NR = ND.NE.NC	Método de Control	Observaciones
16 La lcc del dispositivo de protección está acorde con la lcc del sistema					Verificar que lcc del dispositivo sea mayor que la lcc del sistema disponible en sus terminales, sino cambiar el dispositivo	
17 Existe un sistema coordinado de protecciones					Verificar que existe un sistema coordinado de protecciones, sino implementar uno	
18 La ampacidad de la barra está de acuerdo con la carga que debe manejar					Verificar determinando la ampacidad de las barras, sino cumple se debe aumentar la sección.	
19 La temperatura de la barra no sobrepasa la de los elementos conectados a ella					Medir la temperatura, de ser necesario implementar ventilación ó aumentar sección de las barras.	
20 La sección de la barra es suficiente para resistir el aumento de temperatura en caso de un cortocircuito					Verificar de acuerdo la fórmula y tabla dada, de ser necesario aumentar sección de la barra	
21 La separación entre las barras cumple con el mínimo requerido.					Verificar que cumple con lo establecido en la tabla 408.56 del NEC. Sino aumentar dicha separación	
22 La sección y distribución de las barras es suficiente para resistir el esfuerzo mecánico provocado por un cortocircuito					Verificar de acuerdo a la fórmula dada, de ser necesario aumentar la separación ó la sección de las barras	

Preguntas	ND 2-10	NE 1 - 4	NC 10-100	NR = ND.NE.NC	Método de Control	Observaciones
23 El intervalo entre los soportes de la barra es el adecuado para resistir las fuerzas de cortocircuito					Verificar de acuerdo a la fórmula dada, de ser necesario disminuir el intervalo entre los aisladores.	
24 Las características técnicas del aislador son las adecuadas para soportar las fuerzas de cortocircuito					Verificar las características de los aisladores, de ser necesario cambiarlos por unos adecuados	
25 La barra está correctamente asegurada					Verificar que la barra este asegurada con firmeza, de ser necesario corregir.	
26 Existen conductores con el aislamiento deteriorado o con signos de envejecimiento					Si es necesario, limpiar y cubrir con material aislante los conductores. Si esto resulta insuficiente, cambiar los conductores.	
27 Las lecturas de resistencia de aislamiento son mayores a $1M\Omega$					Identificar puntos de fuga y corregir si es posible, sino cambiar los elementos defectuosos.	
28 Los radios de curvatura de los conductores son menores a 10D (D= diametro exterior del cable)					Reacomodar los cables y aumentar su radio de curvaturasi su longitud lo permite. Sino cambiar los conductores.	
29 La temperatura de operación de los conductores es la correcta					Verificar el valor medido con la tabla 310.13 del NEC. Implementar ventilación al tablero si no la tuviere, si ya existiese y/o no fuera suficiente, aumentar sección de los conductores.	

Preguntas	ND 2-10	NE 1 - 4	NC 10-100	NR = ND.NE.NC	Método de Control	Observaciones
30 El calibre de los conductores de alimentación es el adecuado					Verificar la amparidad de los conductores, aplicar tablas de la sección 310.15 (B)	
31 En caso de conductores en paralelo, se cumple con la sección 310.4 del NEC					Realizar los correctivos necesarios para cumplir con la norma	
32 La sección del conductor es suficiente para resistir un cortocircuito (aplicar anexo B de la norma IEC 60439-1)					Verificar de acuerdo a la fórmula y tabla dadas, aumentar la sección de los conductores de ser necesario.	
33 Existe conductor de puesta a tierra					Si no existe, realizar estudio de puesta a tierra e implementar	
34 Existe un estudio de puesta a tierra					Verificar que esté implementado, sino implementar	
35 El sistema de puesta a tierra es equipotencial					Verificar que los puntos del sistema de puesta a tierra sean equipotenciales, sino corregir	
36 El calibre del conductor del electrodo de puesta a tierra es el adecuado					Verificar que cumple con lo establecido en la tabla 250.66 del NEC. Sino aumentar sección del conductor	
37 El calibre del conductor de puesta a tierra del tablero es el adecuado					Verificar que cumple con lo establecido en la tabla 250.122 del NEC. Sino aumentar sección del conductor	

Preguntas	ND 2-10	NE 1 - 4	NC 10-100	NR = ND.NE.NC	Método de Control	Observaciones
38 El conductor de puesta a tierra esta de acuerdo a las condiciones particulares del sistema					Identificar el tipo de sistema de puesta a tierra, corregir si no cumple con lo establecido en el artículo 250 del NEC	
39 Existe dispositivo de interrupción diferencial					Si no existe determinar el más adecuado para el sistema e implementarlo	
40 Existen políticas de seguridad en la empresa					Si no existe implementar las políticas de seguridad debidas en la empresa.	
41 El personal que realiza trabajos eléctricos posee las credenciales que acrediten su conocimiento técnico					Las políticas de seguridad deben contemplar la exigencia de credenciales que otorguen un nivel mínimo de conocimientos técnicos del personal	
42 El personal que realiza trabajos eléctricos ha sido instruido sobre los riesgos presentes, uso de equipos de seguridad y disposición de los equipos					Las políticas de seguridad deben contemplar la capacitación sobre estos temas del personal propio o foráneo que realice trabajos eléctricos en la empresa	
43 Se usa "permiso de trabajo eléctrico", para trabajos en caliente					Si no es usado, implementar un procedimiento que contemple esta medida de seguridad.	
44 Existe un procedimiento que establezca la obligatoriedad de revisar el tablero luego de un cortocircuito					Si no es usado, implementar un procedimiento que contemple esta medida de seguridad.	

6 Aplicación de formulario de evaluación y control de riesgos en un tablero de distribución

En las páginas siguientes se llevará a cabo la evaluación de un tablero de distribución de una industria local, sirviéndonos del formulario desarrollado en capítulo anterior.

El uso del formulario será en todo momento respaldado por todo el contenido de la tesis especialmente las normas citadas y las tablas como herramientas de verificación, para cotejar los datos existentes en el sistema que sea sometido a evaluación.

6.1 Selección de sistema a ser evaluado

El sistema seleccionado pertenece a la Industria “Artes Gráficas Senefelder”, ubicada en el Km 4 1/2 de la vía Durán – Tambo.

Se trata de un sistema de alimentación en Media tensión 13.8 KV, con secundario entregando 208/120, en el anexo E se muestra el diagrama unifilar. Es una instalación prácticamente nueva pues Senefelder tiene un poco más de cuatro años de haber iniciado sus operaciones en esta planta. El tablero cuenta con seis años de antigüedad y aproximadamente cuatro de haber sido puesto en estas nuevas instalaciones. Sin embargo y como vamos a evidenciarlo más adelante existen riesgos presentes debido a que no se cumple con ciertos requisitos mínimos señalados en este documento.



Figura 18.- Puerta de acceso al interior del cuarto donde esta ubicado el tablero de distribución de Senefelder



Figura 19.- Tablero de distribución de Senefelder, sistema 208/120 (foto tomada sin flash)



Figura 20.- Interior del tablero de distribución de Senefelder.

6.2 Tabulación de datos obtenidos y resultado

En el capítulo anterior presentamos el formulario con las medidas de control que se tomaría, para minimizar los riesgos, en caso de que la probabilidad de que se presente alguno así lo requiera.

En este capítulo se mostrará el formulario luego de la evaluación, mostrando la calificación del riesgo cuando éste se presente, el método de control para minimizar el riesgo presente y las observaciones pertinentes a cada pregunta.

Antes de incluir el formulario se detallarán los cálculos realizados: de cortocircuito, arco llamarada, corrientes nominales y esfuerzos.

Cálculo de corriente de cortocircuito

Se presentará a continuación una tabla con los datos del sistema y los cálculos realizados:

Determinar resistencias y reactancias del sistema		
Parte de la instalación	Resistencias	Reactancias
Red aguas arriba Pcc = 107 MVA	$R_1 = \frac{208^2}{107} 0.15 \times 10^{-3}$ $R_1 = 0.0606$	$X_1 = \frac{208^2}{107} 0.98 \times 10^{-3}$ $X_1 = 0.3962$
Transformador Potencia = 1 MVA Wc = 6500 Ucc = 5 % U = 208	$R_2 = \frac{6500 \times 208 \times 10^{-3}}{1000^2}$ $R_2 = 0.2812$	$X_2 = \sqrt{\left(\frac{5}{100} \frac{208^2}{1000}\right)^2 - 0.2812^2}$ $X_2 = 2.1448$
Unión del transformador al breaker del tablero cables de Cu por fase Sección: 3(5 x 253.4 mm ²) Longitud: 7 metros	$R_3 = \frac{22.5 \times 7}{253.4 \times 5}$ $R_3 = 0.1243$	$X_3 = 0.12 \times \frac{7}{5}$ $R_3 = 0.168$
Interruptor principal	$R_4 = 0$	$X_4 = 0$
Barras (Cu) 1(80 x 10) mm ² x fase Longitud = 1 metro	$R_5 = \frac{22.5 \times 1}{800}$ $R_5 = 0.0281$	$X_5 = 0.15 \times 1$ $X_5 = 0.15$
	$R_T = 0.4942$	$X_T = 2.859$
$I_{cc} = \frac{208}{\sqrt{3} \sqrt{0.4942^2 + 2.859^2}} = 41.39 \text{ KA}$		

El dato de la potencia de cortocircuito fue proporcionado por el departamento de planeación de EMELGUR.

Calculo de Arco Llamada

El primer paso en la aplicación del método presentado en el anexo A es determinar la corriente de arco:

$$I_{a1} = 10^{\left[\frac{-0.097 + 0.662(\log 41.39) + 0.0966(208) + 0.000526(32) +}{0.5588(208)(\log 41.39) - 0.00204(32)(\log 41.39)} \right]}$$

$$I_{a1} = 15.72 \text{ KA}$$

$$I_{a2} = 15.72(0.85) = 13.36 \text{ KA}$$

Una vez determinada la corriente de arco, calculamos la energía incidente hay que tomar como uno de los datos más importantes determinar el tiempo de apertura del breaker para la corriente I_a calculada.

El dispositivo de protección con que cuenta Senefelder es un Breaker termo-magnético marca Siemens, de la serie Sentron, modelo RXD63B160, I nominal de 1600 A, Icc de 65 KA a 240 V. cuya curva característica tiempo-corriente se muestra a continuación, pero antes hay que indicar que las cantidades de corriente que aparecen en el eje de las X son múltiplos del valor nominal de corriente del breaker, en este caso 1600 amperios:

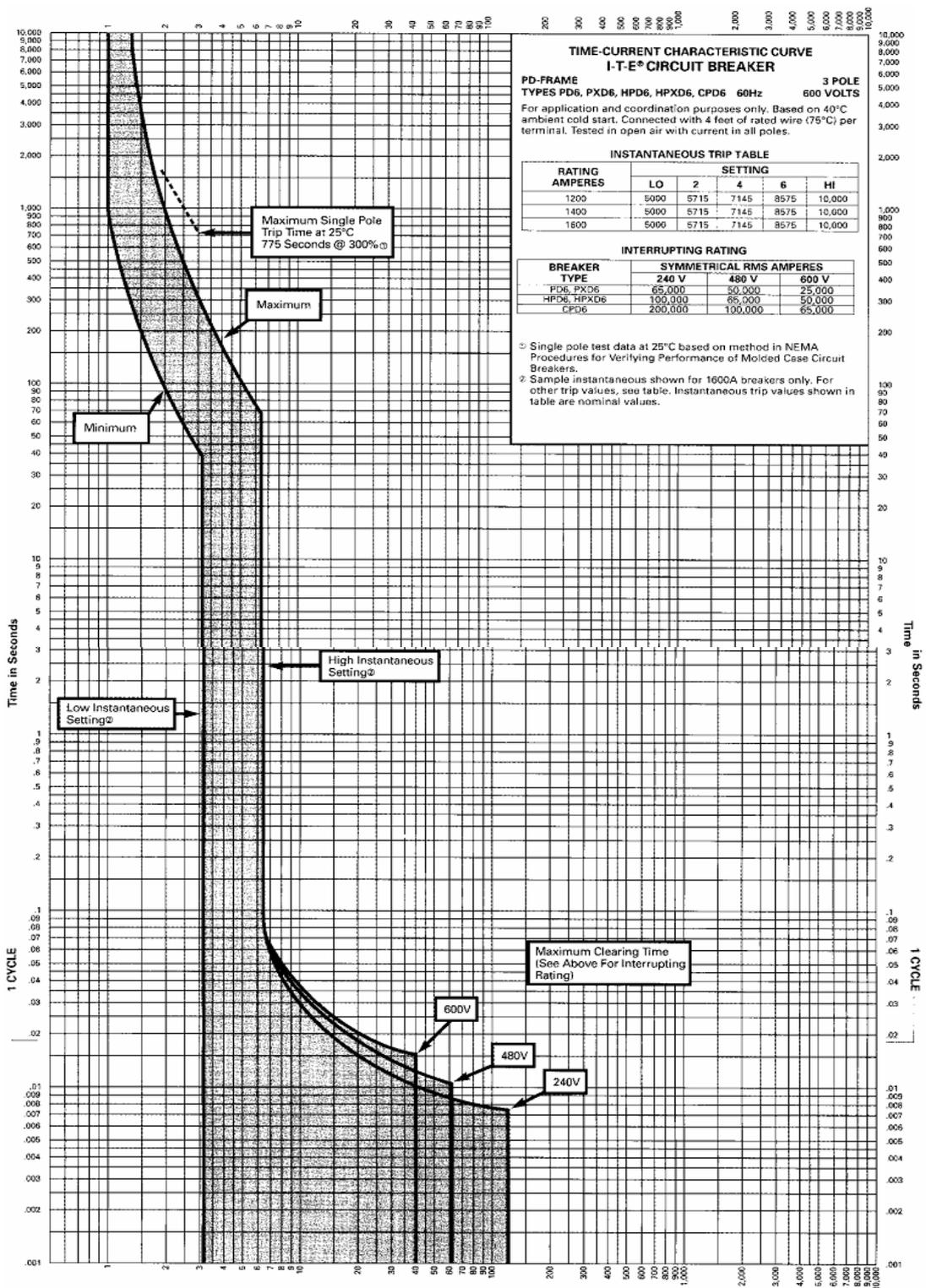


Figura 21.- Curva tiempo-corriente del breaker principal de Senefelder, tomado del boletín IPIM-0275B de Siemens

De la curva se obtienen los siguientes valores de tiempo de respuesta del breaker:

- 1) Para I_{a1} el valor de t_1 es 0.030 segundos
- 2) Para I_{a2} el valor de t_2 es 0.038 segundos

Reemplazando para los valores de I_{a1} y de t_1 primero y luego I_{a2} y t_2 , tomando como distancia de trabajo 500 mm, se obtienen los siguientes valores:

$$E_1 = (1.5)10^{[-0.555-0.113+1.081(\log 15.72)+0.0011(32)]} \left[\frac{0.030}{0.2} \right] \left[\frac{610^{1.473}}{500^{1.473}} \right]$$

$$E_1 = 1.38 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2}$$

$$E_2 = (1.5)10^{[-0.555-0.113+1.081(\log 13.36)+0.0011(32)]} \left[\frac{0.038}{0.2} \right] \left[\frac{610^{1.473}}{500^{1.473}} \right]$$

$$E_2 = 1.47 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2}$$

Por lo tanto tendremos para las dos condiciones un riesgo de categoría 1, según la tabla 130.7(c)(11) del NFPA 70-E, y la ropa apropiada adecuada sería pantalón y camisa resistente a la llama o un overol resistente a la llama.

Finalmente se calcula los límites de arco llamarada

$$D_{B1} = \left\{ (1.5)10^{\left[\begin{array}{c} -0.555 - 0.113 + 1.081(\log 15.72) \\ + 0.0011(32) \end{array} \right]} \left[\frac{0.030}{0.2} \right] \left[\frac{610^{1.437}}{1.2} \right] \right\}^{\frac{1}{1.473}}$$

$$D_{B1} = 1163.27 \text{ mm}$$

$$D_{B2} = \left\{ (1.5)10^{\left[\begin{array}{c} -0.555 - 0.113 + 1.081(\log 13.36) \\ + 0.0011(32) \end{array} \right]} \left[\frac{0.038}{0.2} \right] \left[\frac{610^{1.437}}{1.2} \right] \right\}^{\frac{1}{1.473}}$$

$$D_{B2} = 1423.07 \text{ mm}$$

En resumen podemos ver que para el valor de corriente de arco I_{a2} la distancia límite para el arco llamarada es mayor que el determinado para I_{a1} a pesar de I_{a2} ser menor, esto debido al mayor tiempo que le toma al dispositivo de protección despejar la falla, por lo tanto se tomará esta como la peor condición para la distancia de arco llamarada.

A continuación se presenta la etiqueta que debería estar presente en el tablero indicando las fronteras de aproximación, energía incidente a la distancia de trabajo, distancia de alcance de la llamarada, categoría del riesgo.

 ADVERTENCIA 	
RIESGO DE CHOQUE ELÉCTRICO Y ARCO LLAMARADA	
SE REQUIERE EPP APROPIADO	
1163.27 mm	Frontera de Peligro de Llamarada
1.38 cal/cm ²	Peligro de Llamarada a 500 mm
Categoría 1	Camisa y Pantalón Resistente a la Llama
208 VAC	Peligro de Choque Eléctrico cuando la cubierta es removida
0	Usar guantes según el voltaje de trabajo
1070 mm	Acercamiento Limitado (circuito fijo)
304.8 mm	Acercamiento Restringido
25.4 mm	Acercamiento Prohibido
Tablero de distribución A.G. Senefelder	
Análisis: Escuela Superior Politécnica del Litoral	
Realizado:	29 de abril de 2008
Advertencia: Los cambios en los parámetros del equipo ó en la configuración del sistema invalidan los valores calculados y los requerimientos de EPP	

Figura 22:- Etiqueta de advertencia para arco llamarada, para Senefelder.

Cálculos Generales

Ampacidad de las barras

Datos de las barras, Temperatura ambiente 30°C, Temperatura medida 38°C, espesor de 10 mm, altura de 80 mm, Intervalo entre los soportes 870 mm, distancia entre barras 70 mm

$$I_{DC} = 7.73 \sqrt[3]{(80 * 10)(180)^{0.39}}$$

$$I_{DC} = 1656 A$$

A partir del valor de corriente DC se puede calcular la corriente AC dividiendo el valor DC para raíz cuadrada del efecto piel. Para obtener el valor del efecto piel usamos la figura 17 mostrada en el capítulo 5, previo tenemos que determinar el valor de R_0

$$R_0 = \frac{\rho}{A} = \frac{0.01724 [Wmm]}{800[mm^2]} = 21.55 \left[\frac{W}{mm} \right]$$

El valor de S leído de la curva es el siguiente:

$$S = \frac{R_f}{R_0} = 1.02$$

La ampacidad de las barras sería:

$$I_n = \frac{1656 A}{\sqrt{1.02}} = 1640 A$$

Solicitud térmica de las barras

A continuación calcularemos el área mínima necesaria para que las barras puedan resistir al menos durante un segundo la corriente de cortocircuito como indica la norma IEC, aunque como ya hemos visto durante el cálculo de arco llamarada la falla es despejada por el breaker en mucho menos que un segundo

$$A = \frac{\sqrt{1(44520)^2}}{176} = 253 \text{ mm}$$

Solicitud electrodinámica de las barras

Determinaremos el esfuerzo máximo sobre las barras en caso de cortocircuito con la formula presentada en el capítulo 5:

$$F = 1.732(44.52 * 1.414)^2 \left[\left(\frac{1000(.87)}{70} \right) - 1 \right] \times 10^{-7}$$

$$F = 7844 \text{ N}$$

A este valor hay que aplicarles el factor de corrección para conductores rectangulares que se obtiene de las curvas presentadas en la figura 18, el valor obtenido para este caso fue de 0.86

$$F_{tot} = 7844 * 0.86 = 6746 \text{ N}$$

Con este valor obtenemos el esfuerzo resultante sobre las barras

$$f = \frac{6746 * 870}{2 * 10 * 80^2} = 45.85 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Solicitud térmica del alimentador

De la misma manera que para las barras, calcularemos el área mínima necesaria para que los cables del alimentador puedan resistir al menos durante un segundo la corriente de cortocircuito como indica la norma IEC,

$$A = \frac{\sqrt{1(44520)^2}}{143} = 311.3 \text{ mm}$$

A continuación se adjuntan fotos del tablero enfocando elementos específicos o mediciones realizadas

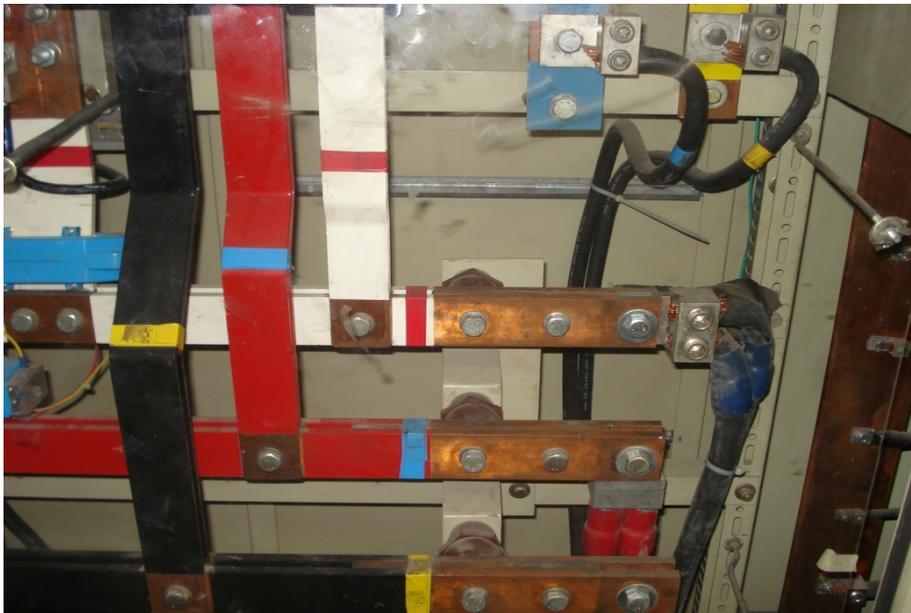


Figura 23.- Acercamiento del juego de barras, las barras y los breakers se encuentran detrás de una cubierta de acrílico.



Figura 24.- Se observa la excesiva curvatura de los cables conectados a la barra, se observa también acumulación de polvo sobre las barras

Figura 25.- Temperatura medida en los terminales de entrada del breaker del tablero



Figura 26.- temperatura medida en uno de los juegos de cables conectados a las barras.





Figura 27.- Valor de corriente medido en el momento de la evaluación, $I = 600 \text{ A}$

A continuación se incluye el formulario luego de la evaluación:

FORMULARIO PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGOS EN UN TABLERO DE DISTRIBUCIÓN			
NOMBRE DE LA EMPRESA: ARTES GRÁFICAS SENEFELDER			
EVALUADORES:	FIRMA	RESPONSABLE EN OBRA	FIRMA
MARCOS ELIZALDE A.			
JOAQUÍN NEGRETE A.			
		FECHA:	29 y 30 de Abril de 2008
Los campos que se listan a continuación deben ser llenados obligatoriamente para poder empezar la evaluación del tablero, porque en base a estos datos se podrá estimar el nivel de consecuencias en cada una de las preguntas.			
Voltaje Nominal	208/120 V		
Corriente Nominal	1600 A		
Corriente de Cortocircuito	La corriente de cortocircuito en las barras es de 41.39 KA		
Resistencia de aislamiento	No se pudo efectuar la prueba de resistencia de aislamiento.		
Arco Llamorada	Se requiere EPP categoría 1, frontera de llamorada 1163.27 mm, Energía a 500 mm de 1.38 cal/cm ²		
	Herramientas y EPP	SI	NO
La empresa entrega al personal los EPP necesarios y adecuados para su trabajo		X	
El personal que realiza los trabajos eléctricos hace uso correcto de las EPP		X	
Se revisa el buen estado de las herramientas y EPP antes de la ejecución de los trabajos		X	Algunas herramientas no son adecuadas para trabajos en caliente
NIVEL DE DEFICIENCIA (ND), VALORES ENTRE 2 Y 10			
NIVEL DE EXPOSICIÓN (NE), VALORES ENTRE 1 Y 4			
NIVEL DE CONSECUENCIAS (NC), VALORES ENTRE 10 Y 100			
NIVEL DE RIESGO Y DE INTERVENCIÓN (NR), VALORES ENTRE 20 Y 4000			

Preguntas	ND 2-10	NE 1 - 4	NC 10-100	NR = ND-NE-NC	Método de Control	Observaciones
1 El espacio de trabajo cumple con el mínimo requerido	-	-	-	-	-	OK
2 Existe señalización en el tablero.	6	1	25	150	Colocar la señalización según esquemas de la norma, sobres datos nominales del tablero y arco llamarrada	No se indica valores nominales del tablero
3 El acceso al interior del tablero es permitido solo para personal calificado	-	-	-	-	El acceso es restringido	OK
4 El acceso al interior del tablero está protegido por medio de cerradura	-	-	-	-	El acceso está protegido por cerradura	OK
5 Las aberturas para ventilación están protegidas para que no sea posible el contacto con partes vivas	-	-	-	-	No hay aberturas para ventilación	OK
6 El nivel de iluminación a un metro desde el piso es mayor o igual a 500 luxes	-	-	-	-	El nivel medido es de 550 luxes, mínimo requerido es de 500 luxes	OK
7 Si el tablero está ubicado en zona de tráfico vehicular, tiene las protecciones debidas para evitar impactos	-	-	-	-	-	No hay trafico vehicular en la zona del tablero
8 Si el tablero está ubicado en el exterior, cumple con el grado de protección NEMA requerido.	-	-	-	-	-	La ubicación es interior

Preguntas	ND 2-10	NE 1-4	NC 10-100	NR = ND.NE.NC	Método de Control	Observaciones
9 Los espacios internos del tablero cumplen con los requerimientos mínimos	-	-	-	-	Se verifica de acuerdo a la sección 312.11 del NEC	Espacios internos OK
10 Las distancias de los conductores cumplen con el mínimo requerido	-	-	-	-	Se verifica según la tabla 408.5 del NEC	OK
11 Los terminales del dispositivo de protección y de las barras están correctamente ajustados.	-	-	-	-	Se verifica el ajuste de los terminales por medio de un torquímetro	OK
12 El tablero se encuentra incluido en un programa anual de mantenimiento	-	-	-	-	El tablero y el banco de transformadores están dentro del programa de mantenimiento	OK
13 Se usa materiales disímiles en las conexiones	-	-	-	-	Se verifica los materiales usados en las conexiones	OK
14 El dispositivo de protección está dimensionado de acuerdo a la ampacidad del conductor que alimenta.	-	-	-	-	Acometida de 3(5x500 MCM) + (3x500 MCM) + 1x4/Ø, se aplica artículos 240.4 y .6 del NEC, AMPACIDA X FASE = 1600A	Corriente nominal del breaker 1600 A OK
15 El dispositivo de protección está correctamente asegurado	-	-	-	-	-	OK
16 La lcc del dispositivo de protección está acorde con la lcc del sistema	-	-	-	-	lcc en barras = 44.52 KA lcc del Breaker = 65 KA	OK
17 Existe un sistema coordinado de protecciones	-	-	-	-	-	OK

Preguntas	ND 2-10	NE 1 - 4	NC 10-100	NR = ND.NE.NC	Método de Control	Observaciones
18 La amplitud de la barra está de acuerdo con la carga que debe manejar	-	-	-	-	I calculada es 1640 A, en registros de la empresa, pues no se pudo obtener el valor de la demanda, el pico de consumo es de 950 A	OK
19 La temperatura de la barra no sobrepasa la de los elementos conectados a ella	-	-	-	-	Temperatura medida 38°C	OK
20 La sección de la barra es suficiente para resistir el aumento de temperatura en caso de un cortocircuito	-	-	-	-	Sección mínima requerida 253 mm, sección de las barras por fase 800 mm	OK
21 La separación entre las barras cumple con el mínimo requerido.	-	-	-	-	Mínimo requerido según tabla 408.56 del NEC 31.8 mm, valor actual 70 mm	OK
22 La sección y distribución de las barras es suficiente para resistir el esfuerzo mecánico provocado por un cortocircuito	-	-	-	-	Esfuerzo máximo permitido para el cobre duro 245 N/mm ² , valor calculado 45.85 N/mm ²	OK
23 El intervalo entre los soportes de la barra es el adecuado para resistir las fuerzas de cortocircuito	-	-	-	-	Se aplica la misma fórmula del esfuerzo	No es necesario ninguna corrección OK
24 Las características técnicas del aislador son las adecuadas para soportar las fuerzas de cortocircuito	-	-	-	-	-	OK

Preguntas	ND 2-10	NE 1 - 4	NC 10-100	NR = ND.NE.NC	Método de Control	Observaciones
25 La barra está correctamente asegurada	-	-	-	-	Se verifica que los pernos de sujeción de la barra estén ajustados	OK
26 Existen conductores con el aislamiento deteriorado o con signos de envejecimiento	-	-	-	-	El material aislante de los conductores se encuentra en buen estado	OK
27 Las lecturas de resistencia de aislamiento son mayores a $1M\Omega$	-	-	-	-	No se pudo realizar la prueba de resistencia de aislamiento	La empresa no se mostró dispuesta a dar el tiempo para realizar la prueba
28 Los radios de curvatura de los conductores son mayores a $10D$ (D = diámetro exterior del cable)	6	1	25	150	Existen algunos conductores con radios de curvatura mucho menor al requerido, es necesario corregir	-
29 La temperatura de operación de los conductores es la correcta	-	-	-	-	Temperatura máxima de operación $65^{\circ}C$, temperatura medida $36^{\circ}C$	OK
30 El calibre de los conductores de alimentación es el adecuado	-	-	-	-	El valor calculado aplicando tablas 310.16, 310.15 (B)(2)(a), B.310.11 es de 1600 A, requerido 1600 A	OK
31 En caso de conductores en paralelo, se cumple con la sección 310.4 del NEC	-	-	-	-	Los conductores instalados en paralelo cumplen con los requerimientos del NEC	OK
32 La sección del conductor es suficiente para resistir un cortocircuito (aplicar anexo B de la norma IEC 60439-1)	-	-	-	-	Sección mínima requerida 311 mm, sección de los conductores por fase 1267 mm	Ok
33 Existe conductor de puesta a tierra	-	-	-	-	Se verifica la existencia del conductor de puesta a tierra	OK

Preguntas	ND 2-10	NE 1-4	NC 10-100	NR = ND.NE.NC	Método de Control	Observaciones
34 Existe un estudio de puesta a tierra	-	-	-	-	Se verifica la existencia de un estudio de puesta a tierra	OK
35 El sistema de puesta a tierra es equipotencial	-	-	-	-	Se verifica la equipotencialidad del sistema de puesta a tierra	OK
36 El calibre del conductor del electrodo de puesta a tierra es el adecuado	-	-	-	-	Calibre mínimo requerido 3/Ø, existente es de 4/Ø	OK
37 El calibre del conductor de puesta a tierra del tablero es el adecuado	-	-	-	-	Calibre mínimo requerido 4/Ø, existente es de 4/Ø	OK
38 El conductor de puesta a tierra cumple con lo establecido en el artículo 250 del NEC, para las condiciones particulares del sistema	-	-	-	-	Sistema de puesta a Tierra TNC, el sistema esta instalado de acuerdo a lo requerido por el artículo 250	OK
39 Existe dispositivo de interrupción diferencial	6	1	60	360	No existe dispositivo de protección diferencial	
40 Existen políticas de seguridad en la empresa	-	-	-	-	La empresa cuenta con un comité de seguridad industrial	
41 El personal que realiza trabajos eléctricos posee las credenciales que acrediten su conocimiento técnico	6	4	100	2400	El personal que realiza los trabajos no posee credencial donde se acredite su conocimiento técnico	El personal cuenta con instrucción técnica
42 El personal que realiza trabajos eléctricos ha sido instruido sobre los riesgos presentes, uso de equipos de seguridad y disposición de los equipos	10	4	100	4000	El personal que realiza los trabajos eléctricos no ha recibido capacitación sobre estos temas	

Preguntas	ND 2-10	NE 1 - 4	NC 10-100	NR = ND.NE.NC	Método de Control	Observaciones
43 Se usa "permiso de trabajo eléctrico", para trabajos en caliente	10	1	100	1000	No se usa este tipo de permiso para la ejecución de trabajos en caliente	
44 Existe un procedimiento que establezca la obligatoriedad de revisar el tablero luego de un cortocircuito	10	1	100	1000	No esta implementado este procedimiento	

6.3 Evaluación de costos de implementación de mejoras

El análisis de riesgos nos ha permitido descubrir falencias en el sistema, algunas de las cuales pueden ser críticas. Hemos procedido a realizar un presupuesto para la implementación de las mejoras.

Item	Descripción	Unidad	CANT.	P. UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Señalización de tablero de acuerdo a esquemas de la norma, con datos nominales y arco llamarada	u	2	\$ 40.00	\$ 80.00
2	Readecuación de alimentadores de conductores de acometida con radio de curvatura prohibido	glb	1	\$ 369.29	\$ 369.29
3	Instalación y provisión de equipo de protección diferencial	glb	1	\$ 1,444.49	\$ 1,444.49
4	Capacitación de procedimientos de seguridad a personal de la planta. Incluye:	glb	1	\$ 3,500.00	\$ 3,500.00
4.1	Implementación de procedimiento "Candado - Etiqueta"				
4.2	Capacitación a personal técnico de la planta para evaluación de tableros luego de un cortocircuito				
Subtotal					\$ 5,313.78
Supervisión, Administración y Costos indirectos				16.41%	\$ 872.11
Subtotal sin IVA					\$ 6,185.88
IVA					\$ 742.31
TOTAL					\$ 6,928.19

Tabla IX.- Presupuesto de la implementación de mejoras para tablero de distribución de Artes Gráficas Senefelder.

Para realizar este presupuesto se han considerado las siguientes condiciones:

1. De acuerdo a lo indicado por el personal administrativo de la planta los trabajos deberían realizarse en día Domingo siempre que la planta no se encuentre en proceso de producción. Entonces:

- a. Los trabajos correctivos se realizarían en día Domingo por lo que el factor de rendimiento considera las horas extra para el personal
 - b. El análisis de costo no considera el valor de parada de planta pues los mantenimientos se realizarían durante paradas programadas
 - c. Es de exclusiva responsabilidad del oferente el personal a su cargo.
2. Luego de conversar con el personal de SENEFELDER, se consideró que para la capacitación del personal, el comité de seguridad de la empresa cree una comisión de 3 personas que estaría conformado por:
 - a. Representante de los supervisores de planta
 - b. Representante de Mantenimiento
 - c. Representante del comité de seguridad.
3. Las personas que integran esta comisión serían capacitadas como auditores líderes en una de las compañías certificadoras internacionales. El valor y contenido de este curso de capacitación se presenta en el **Anexo C**.

4. Como consecuencia del punto a anterior, el personal capacitado se encargará de instruir al personal de planta y administrativo en los procedimientos de seguridad.
5. El valor de los costos indirectos considera los siguientes rubros:

Póliza de Seguros	3,21%
Equipos de seguridad	3,00%
Utilidad	6,00%
Administración	3,20%
Imprevistos	1,00%
TOTAL INDIRECTO	16,41%

Por lo tanto el presupuesto para las mejoras en SENEFELDER queda así:

Item	Descripción	Unidad	CANT.	P. UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Señalización de tablero de acuerdo a esquemas de la norma, con datos nominales y arco llamarada	u	2	\$ 40.00	\$ 80.00
2	Readecuación de alimentadores de conductores de acometida con radio de curvatura prohibido	glb	1	\$ 369.29	\$ 369.29
3	Instalación y provisión de equipo de protección diferencial	glb	1	\$ 1,444.49	\$ 1,444.49
4	Capacitación de procedimientos de seguridad a personal de la planta.	glb	1	\$ 940.00	\$ 940.00
Subtotal					\$ 2,833.78
Supervisión, Administración y Costos indirectos				16.41%	\$ 465.08
Subtotal sin IVA					\$ 3,298.86
IVA					\$ 395.86
TOTAL					\$ 3,694.72

Tabla X.- Presupuesto de la implementación de mejoras para tablero de distribución de Artes Gráficas Senefelder.

6.4 Análisis costo/beneficio

Antes de iniciar el análisis costo/beneficio (ACB) debemos puntualizar que el principal objetivo de el análisis de riesgos y la implementación de mejoras, tal como se expreso en el capítulo 1, es el de salvaguardar la vida de las personas, sin embargo es necesario para la empresa justificar la inversión en las mejoras que puedan surgir como necesarias después del desarrollo del análisis de riesgo, para llegar a un punto adecuado entre inversión y

seguridad. Punto en el cual la empresa pueda garantizar que el nivel de riesgo se encuentre dentro de un parámetro tolerable.

Para el caso particular de Senefelder, tenemos inclusive, que las instalaciones son prácticamente nuevas y la empresa realizó ingentes gastos para el traslado de sus instalaciones a esta nueva planta en Durán, por lo tanto habrá mucha resistencia a efectuar gastos que la gerencia no considere absolutamente necesarios o cuyo costo sea muy elevado.

La técnica de ACB tiene como objetivo fundamental proporcionar una medida de la rentabilidad de un proyecto, mediante la comparación de los costos previstos con los beneficios esperados en la realización del mismo. En nuestro caso vamos a dar un enfoque particular al ACB, como un balance entre el costo de las medidas de control y el riesgo remanente luego de aplicarlas. No obstante es necesario indicar que el análisis Costo/Beneficio solamente es una ayuda para la toma de decisiones, y existen muchos factores más que al final influirán sobre las medidas que serán finalmente implantadas.

A continuación se revisará cada una de las medidas en cuanto a su costo de implementación y en que medida se reduce el riesgo.

1. La implementación de las etiquetas en el tablero es muy sencilla y de un costo realmente insignificante, las etiquetas a confeccionarse serían: una con los valores nominales y otra con los valores del análisis de arco llamarada, la inclusión de estas es indicada tanto en el NEC como en la NEMA. De acuerdo al método utilizado se asignó un nivel de riesgo para cada falencia encontrada, en este caso el nivel de riesgo es 150, lo cual nos da un nivel de intervención II (corregir y adoptar medidas de control). Para nuestro ACB tomaremos este nivel de riesgo como nuestro beneficio.
2. La readecuación de los conductores con radio de curvatura menor al mínimo, tiene un costo de \$ 118.40, el nivel de riesgo encontrado es de 150, que nos da un nivel de intervención II.
3. La instalación y provisión de equipo de protección diferencial tiene un costo de \$ 1444.49, el nivel de riesgo encontrado es de 360, lo que nos da un nivel de intervención II.
4. De acuerdo al **anexo C**, el costo de capacitar al personal sobre sistemas de gestión de seguridad y salud ocupacional es de \$ 940.00, el nivel de riesgo de cada uno de los puntos que sería cubierto por esta medida de control es de: 2400, 4000, 1000 y 1000, todos con

niveles de intervención I (situación crítica, corrección urgente). Estos niveles de riesgos tienen que ser sumados para la evaluación como beneficios producidos todos por la misma medida de control.

A continuación se muestra la tabla del ACB, la cual nos muestra que medidas de control podrían ser implementadas.

MÉTODO DE CONTROL	COSTO \$	BENEFICIO (NR)	$\frac{\text{COSTO}}{\text{BENEFICIO}}$	DESEABLE	
				S	N
Etiquetas de señalización en el tablero	\$ 20.00	150	7.5	S	
Readecuación de conductores con radio de curvatura muy pequeño	\$ 118.40	150	1.27	S	
Provisión e instalación de equipo de protección diferencial	\$ 1444.49	360	0.25		N
Capacitación del personal en sistemas de gestión de seguridad y salud ocupacional.	\$ 940.00	7400	7.87	S	

Tabla XI.- Análisis Costo/Beneficio de medidas de control para determinar cuales son las más convenientes a implementarse

Del análisis realizado hay tres medidas de control que claramente se destacan como las más “rentables”, la primera de la tabla con una relación costo/beneficio de 7.5, la tercera con 1.27 y la última medida en 7.87 que hemos calificado como deseable aunque su relación costo/beneficio es de 0.72 menor que 1, sin embargo debemos recordar que esta medida cubre tres debilidades encontradas dentro del análisis y por lo tanto recibe la calificación de deseable.

Conclusiones

La cultura de seguridad es muy pobre en nuestro país, se necesita promover más esta cultura, mostrar los beneficios que no solamente se circunscriben al trabajador sino que nos ayudan a tener instalaciones y procesos con mayor fiabilidad, lo cual redundará en una mayor productividad.

Hemos dividido nuestras conclusiones en dos partes: el primero considera las conclusiones de la investigación y el segundo considera las conclusiones con respecto al análisis realizado en Senefelder.

PARTE I:

- De nuestro análisis desechamos el paradigma que indica que la seguridad es antieconómica por obligar a unos gastos que no se rentabilizan, pues una vez conocidos las consecuencias de los

peligros presentes podemos advertir que los gastos que se producen en un incidente tienen repercusiones en la planta mucho más caras que la simple implementación de políticas de seguridad.

- Las normas muestran claramente los estudios a realizar y los métodos a implementar, como barreras y defensas, para impedir los contactos eléctricos directos o indirectos.
- Al analizar estas normas, notamos la importancia del análisis de cortocircuito, estudio de coordinación de protecciones, cálculo de energía incidente y de fronteras de seguridad de arco llamada y recomendación de utilización de equipos de protección personal.
- Por otra parte es importante capacitar al personal que labora en las empresas, creando conciencia del peligro presente tanto en los tableros eléctricos, como en cualquier instalación en la que exista electricidad. Se debe capacitar al personal tanto en los peligros presentes, como en la correcta utilización de equipos y herramientas.
- Como hemos visto, el incumplimiento de estas normas, puede llevar a la destrucción de los sistemas de energía, acompañado de lesiones graves o la muerte inclusive de las personas que realizan trabajos en estas áreas.
- Se hace imprescindible la obligatoriedad de los ingenieros proyectistas a calcular la tensión de contacto de tal manera que se garantice la seguridad de las personas en el sistema diseñado.

- La falta de datos estadísticos nos obligó a utilizar métodos cualitativos para el análisis de riesgo. En este caso el método denominado “¿Qué pasa si...?” se ajustó a las circunstancias de nuestro medio. No obstante, para la valoración del riesgo, fue necesario el uso de un método complementario como el INSHT.
- Si bien la información que nos aporta el método INSHT es orientativa, nos permite cuantificar la magnitud de los riesgos existentes y, en consecuencia, jerarquizar racionalmente su prioridad de corrección.

PARTE II:

- En la empresa estudiada, SENEFELDER, se observó que algunas de las herramientas que poseía el personal no era adecuada o no estaba en buen estado.
- La primera medida observada se refiere a la falta de señalización en los siguientes puntos:
 - En las puertas del cuarto eléctrico en el que se encuentra el tablero analizado, existe una señal de advertencia de riesgo eléctrico. Sin embargo, no se indica de ninguna forma el tipo de equipamiento que se debe utilizar para ingresar en dicho cuarto.
 - Se observó la simbología de riesgo de descarga eléctrica pero no existen las señales ni la información suficiente para conocer

el tipo de equipos de protección personal que son necesarios utilizar para realizar las labores de manera segura.

- El tablero eléctrico analizado no posee información de carácter obligatoria como es el nombre del fabricante, año de manufactura, tensión de operación, tensión de aislamiento, corriente nominal, corriente de cortocircuito, energía incidente y la etiqueta del resultado del análisis de arco – llamarada, etc.
- Además hace falta delimitación de zonas seguras para personal no apto y la implementación de barreras.
- El nivel de riesgo existente es de 150 lo cual está dentro de los valores que implican que se debe tomar una acción correctiva. El índice costo-beneficio resultó ser de 7,5 por lo que se recomendó realizar esta inversión pequeña.
- La empresa cuenta con los planos y diagramas unifilares de la planta. Sin embargo no cuenta con la memoria técnica eléctrica, por lo que no fue posible verificar los cálculos de dimensionamiento de las cargas, como referencia de la carga se adjunta en el anexo D una copia de la planilla de consumo de energía eléctrica de septiembre de 2008.
- En la copia de planilla adjunta, se registra un factor de potencia de “1”
- Pese a que el personal que labora en la empresa analizada ha recibido instrucción técnica, el mismo no ha sido capacitado en cuanto a los riesgos eléctricos presentes en el trabajo, por lo que se

considera que no conocen la magnitud del peligro y riesgos presentes. El valor del nivel de este riesgo, de acuerdo a este estudio, es de 4000, lo cual implica tomar acciones correctivas urgentes. Las medidas tomadas por la empresa, e indicadas en este estudio, garantizan la capacitación correcta del personal y permitió ahorrar un valor significativo.

- Como consecuencia de esta capacitación se deberán implementar procedimientos de revisión de las instalaciones y tableros luego de un cortocircuito y en general para toda actividad a realizar.
- Al analizar el nivel de riesgo que ocurre por no poseer un equipo de protección diferencial, observamos que dicho valor está en 360. Pero en el análisis de Costo- Beneficio, se observa que resulta como una inversión no deseable.
- Concluimos que para asegurar completamente el sistema, es necesario realizar una inversión de aproximadamente US \$ 3,694.72 (tres mil seiscientos noventa y cuatro con 72/100 dólares).
- Ha sido interesante esta conclusión pues se analizó una empresa cuyas instalaciones son relativamente nuevas. Sin embargo, fue posible demostrar que existen falencias y pese a que algunas de ellas no representan un peligro inminente, debemos dejar claro que los daños que pueden ocurrir en este tipo de instalaciones pueden ser fatales.

- Nuestro estudio permitió nutrirnos de varias normas y nuestro análisis concluye en un formulario de evaluación que permite evaluar el entorno de la instalación del tablero así como el tablero mismo, con lo que se cumple el objetivo planteado.
- Finalmente podemos concluir que este análisis permite evaluar los peligros inherentes a distintas etapas como diseño, construcción, montaje, operación y mantenimiento.

La empresa como tal debe proteger su inversión de acuerdo con su política de gerencia de riesgos, mientras que las autoridades públicas deben velar, sobre todo, por la salud y seguridad públicas así como de las personas profesionalmente expuestas a los riesgos laborales; siendo así, es necesario impulsar la creación de una norma donde se establezcan los requerimientos mínimos para contar con instalaciones eléctrica seguras, establecer los cambios necesarios en la ley para que el organismo que se elija como el encargado de velar por el cumplimiento de la norma pueda contar con las herramientas necesarias para realizar su cometido.

Recomendaciones

- Es necesario la implementación de políticas de seguridad y control por parte del estado.
- Vemos la necesidad imperiosa de que las empresas distribuidoras de energía eléctrica entreguen los datos de potencia de cortocircuito al aprobar los proyectos tanto industriales como comerciales. Esta necesidad se traslada a proyectos residenciales cuando los mismos requieren subestaciones de transformación.
- Al mismo tiempo se hace necesario obligar a los ingenieros proyectistas, incluir los cálculos de corriente de cortocircuito, distancia de arco llamarada, fronteras de aproximación y recomendación de utilización de equipos de protección personal para un proyecto en particular. Esta recomendación debe hacerse tanto para proyectos nuevos como proyectos existentes.
- Se hace necesario la creación de especializaciones en Ingeniería en Seguridad y la creación de un marco legal que obligue a las empresas a la implementación de dichas políticas a nivel nacional. Hemos podido observar que países vecinos como Colombia, Venezuela, Perú,

Argentina, Brasil, etc., poseen comités o sociedades Electrotécnicas, las cuales sirven de referentes a estas sociedades para la ejecución de instalaciones seguras.

- Estas políticas se deben difundir de tal manera que las empresas puedan implementarlas en sus instalaciones.
- Para el caso analizado, recomendamos la capacitación de los jefes de área en normas de seguridad.
- Como consecuencia de la capacitación de los jefes de área, se debería crear un comité de seguridad, conformado por ellos mismos, e implementar prácticas y procedimientos de ejecución de trabajos seguros.
- Para ello además, estos jefes de área deberían transmitir estos conocimientos a sus sub-alternos, de manera que puedan lograr la concientización de los peligros presentes y la aceptación de los procedimientos de trabajo.
- Recomendamos además que se debe solicitar al Ingeniero Eléctrico constructor del proyecto una copia de la memoria eléctrica del sistema así como una copia del estudio de puesta a tierra.
- Recomendamos implementar las etiquetas que se muestran en el anexo B, las cuales son resultado del análisis realizado. Dichas etiquetas se deben instalar en la parte frontal del tablero y en ellas se

indica el nivel de riesgo de explosión y de arco llamarada y la categoría de los EPP que se deben utilizar.

- Se recomienda delimitar permanentemente la zona para personal no calificado.

ANEXO A

Ecuaciones para la evaluación del arco llamada

El código NFPA 70-E en el artículo 130.3 indica que se debe realizar el análisis de peligro de arco llamada, el mismo que entregará como resultado la frontera de protección contra el arco y el equipo de protección personal que se deben utilizar dentro de esta frontera. El anexo C del código NFPA 70E presenta el gráfico de limites de aproximación y fronteras el cual se reproduce en el gráfico a continuación.

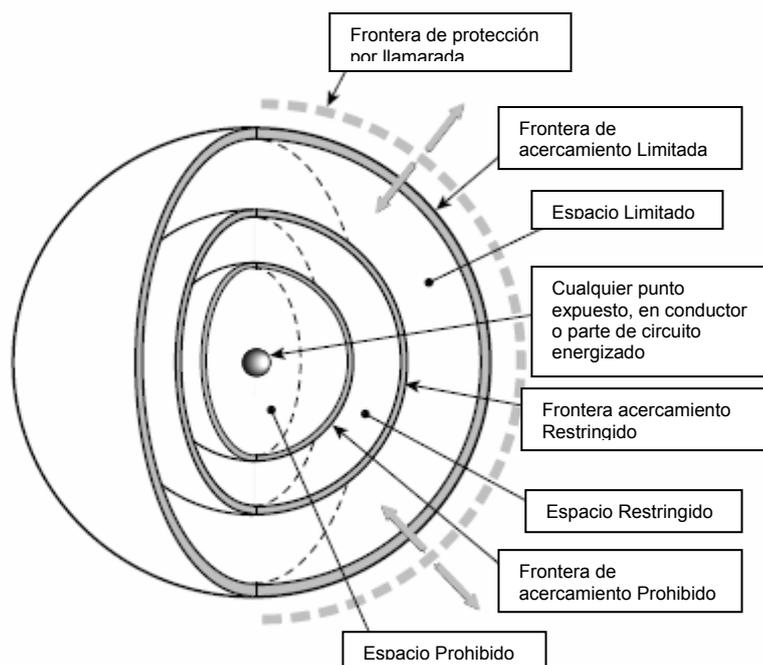


Figure C.1.2.4 Limits of Approach.

Figura 28.- Espacios y Fronteras, prohibidos, restringidos y de acercamiento. Figura C.1.2.4 tomado del NFPA 70-E Edición 2004.

El código NFPA 70-E establece los límites de aproximación (también conocidas como fronteras) a los conductores o partes de circuitos energizados expuestos en el artículo 130.2 “Fronteras de aproximación a partes energizadas”. Dichas fronteras se indican en la tabla 130.2 (c) del mismo código. En nuestro análisis consideramos las 4 filas que se muestran en el cuadro a continuación, pues son los rangos de voltaje que aplican a nuestro análisis:

(1)	(2) Frontera de aproximación limitada		(4)	(5)
Rango de la tensión nominal del sistema fase a fase	Conductor móvil expuesto	Parte de circuito fija expuesta	Frontera de aproximación restringida; incluye suma de movimiento inadvertido	Frontera de aproximación prohibida
Menos de 50	No especificado	No especificado	No especificado	No especificado
50 a 300	3.05 m	1.07 m	Evitar contacto	Evitar contacto
301 a 750	3.05 m	1.07 m	304.8 mm	25.4 mm
751 a 15 kV	3.05 m	1.53 m	660.4 mm	177.8 mm

Tabla XII.-Extracto de la tabla 130.2 (c) del NFPA 70-E. Fronteras de aproximación a partes energizadas para protección contra choque. (Todas las dimensiones son distancias desde partes energizadas al empleado)

Ralph Lee publicó en 1985 *El Otro Peligro Eléctrico, Quemaduras Por Explosión de Arco Llamada*, trabajo que la mayoría de las personas considera la primera investigación que podía ser usada para valorar los peligros asociados con el arco llamada. El Sr. Lee fue el primero en asociar el evento térmico asociado con un arco eléctrico y sus efectos en el cuerpo humano, definió el nivel curable de quemadura, 1.2 cal/cm^2 , definido como el límite inferior para una quemadura de tercer grado.

Las fallas por arco llamarada de bajo voltaje pueden producir una corriente de magnitud mucho menor que la máxima corriente de cortocircuito disponible. Naturalmente la energía incidente que se espera, deberá ser menor a magnitudes bajas de corriente; sin embargo en algunos casos puede suceder que la acción de despeje de los dispositivos de protección tome mucho tiempo, por lo tanto la liberación de energía incidente puede durar segundos o minutos como se indica el Anexo D.6 del NFPA 70-E 2004, y por lo tanto se recomienda que la energía incidente sea determinada para los valores máximo y mínimo de la corriente de cortocircuito.

A continuación se irán presentando las formulas necesarias para poder valorar el arco llamarada, tomadas del trabajo presentado por Christopher Inshaw (Emerson Process Managment Electrical Reliability Services Inc.) y Robert A. Wilson (ABB Inc.) el 20 de Octubre de 2004 a la Conferencia Oeste de protección por Relay, titulado *Análisis y Mitigación de Peligros por Arco Llamarada*

Las ecuaciones se basan en la norma IEEE 1584-2002 para valorar el arco llamarada, las fórmulas involucran: Corriente de cortocircuito disponible, voltaje, tiempo de despeje, tipo de equipo, conexión a tierra y distancia de trabajo.

1. Determinar la corriente de arco, la siguiente fórmula es para aplicaciones por debajo de 1000V

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

Calcular una segunda corriente de arco igual al 85% de I_a de tal manera que se pueda determinar una duración de arco diferente.

2. Determinar la energía incidente, esta ecuación será usada con los dos valores de I_a calculados

$$E = C_f 10^{K_1+K_2+1.081 \log I_a+0.0011G} \left[\frac{t}{0.2} \right] \left[\frac{610^x}{D^x} \right]$$

3. Determinar el límite para el arco llamada

$$D_B = \left\{ C_f 10^{K_1+K_2+1.081 \log I_a+0.0011G} \left[\frac{t}{0.2} \right] \left[\frac{610^x}{1.2} \right] \right\}^{\frac{1}{x}}$$

Donde:

- I_a es la corriente de arco (KA)
- K y 0.097 para configuraciones en caja
- K_1 es 0.555 para configuraciones en caja.
- K_2 es 0 para sistemas con alta resistencia a tierra o no aterrizados
es 0.113 para sistemas a terrizados
- I_{cc} es la corriente de cortocircuito trifásica (simétrica RMS)(KA)
- V es el Voltaje del sistema (KV)
- G es la separación entre conductores, (mm) (ver tabla a continuación)
- E es energía incidente (ca/cm²)
- C_f es un factor de cálculo, 1.5 para voltajes menores a 1000V
- T es el tiempo de arco en segundos
- D es la distancia desde el posible punto de arco a la persona en mm
- X es un factor de cálculo tomado de la tabla a continuación
- D_B es la distancia del límite desde el punto de arco en mm

Sistema de voltaje (KV)	Tipo de Equipo	Separación típica entre conductores (mm)	Factor de Distancia x
0.208 - 1	Aire Libre	10 – 40	2.000
	Tablero Distribución	32	1.473
	CCM y Paneles	25	1.641
	Cables	13	2.000

Tabla XIII.-Factores para clases de Voltaje y Equipo, tomado de Análisis y Mitigación de Peligros por Arco Llamada

Con las fórmulas presentadas se puede atender el requerimiento de la sección 130.3 del NFPA 70-E, determinar la frontera de protección para la energía incidente y los EPP que deberán usar las personas que estén dentro de la frontera de protección

La siguiente tabla nos muestra las combinaciones de vestimenta protectora de acuerdo a la categoría de riesgo

Categoría de riesgo	Sistemas típicos de Ropa Protectora (El número típico de capas de ropa es dado en paréntesis)	EPP para un mínimo de rango de arco (cal/cm ²)
0	Materiales inflamable, no fundentes (ejemplo algodón no tratado, lana, rayón o seda, o mezclas de estos materiales) con un peso de fabricación de al menos 4.5 oz/yd ² (1)	N/A (1.2)
1	Camisa y pantalón o un overol resistentes a la llama (1)	4
2	Ropa interior de algodón, más pantalón y camisa resistentes a la llama (1 ó 2)	8
3	Ropa interior de algodón más pantalón y camisas resistentes a la llama, más overol resistente a la llama, ó ropa interior de algodón más dos overoles resistentes a la llama (2 ó 3)	25
4	Ropa interior de algodón más pantalón y camisa resistentes a la llama y delantal multicapa resistente a la llama (3 ó más)	40

Tabla XIV.- Tabla 130.7 (C)(11) tomada del NFPA 70-E que muestra las características de la ropa de protección de acuerdo a la categoría de riesgo.

La energía incidente calculada debe ser comparada con combinación de EPP usada en las instalación a ser evaluada. El límite superior de evaluación es

40 cal/cm², pues a pesar de que los EPP están disponibles para valores de 100 cal/cm² o más, valores por arriba de 40 son considerados prohibidos debido a que las fuerzas de sonido, presión y choque más allá de estos niveles son más significativas que los valores térmicos. Información específica sobre el tipo de EPP, se obtienen en la sección 130.7 del NFPA 70-E.

A continuación se muestra dos ejemplos de etiqueta, con los datos obtenidos del análisis de arco, una de ellas indica la prohibición del trabajo debido a sobrepasar el límite superior de energía incidente.

		WARNING		
Arc Flash and Shock Hazard				
Appropriate PPE Required				
21 inch	Flash Hazard Boundary			
1.58 cal/cm²	Flash Hazard at 18 inches			
Class 1	FR Shirt & Pants			
480 VAC	Shock Hazard when cover is removed			
00	Glove Class			
42 inch	Limited Approach (Fixed Circuit)			
12 inch	Restricted Approach			
1 inch	Prohibited Approach			
Bus: 1DPB Prot: CB ATS-2 N				
 EMERSON Process Management		Electrical Reliability Services, Inc. 3150-B East Birch Street Brea, California 92821 (714)961-2888		
Job#: 300xxxx	Prepared on:	August 27, 2004		
Warning: Changes in equipment settings or system configuration will invalidate the calculated values and PPE requirements				

Figura 29.- Etiqueta de advertencia. Usa el color naranja como prevención e indica que debe usarse una protección clase 1

	DANGER	
NO PPE AVAILABLE		
ENERGIZED WORK PROHIBITED		
334 inch	Flash Hazard Boundary	
144 cal/cm ²	Flash Hazard at 18 inches	
Dangerous!!!	No FR Class Found	
480 VAC	Shock Hazard when cover is removed	
00	Glove Class	
42 inch	Limited Approach (Fixed Circuit)	
12 inch	Restricted Approach	
1 inch	Prohibited Approach	
Bus: MDS Prot: MDS MAIN		
 EMERSON Process Management	Electrical Reliability Services, Inc. 3150-B East Birch Street Brea, California 92821 (714)961-2888	
Job#: 300xxxx	Prepared on:	August 27, 2004
Warning: Changes in equipment settings or system configuration will invalidate the calculated values and PPE requirements		

Figura 30.- Etiqueta de restricción. Usa el color rojo, e indica la prohibición del trabajo, puesto que la energía incidente supera el límite permitido de 40 cal/cm²

ANEXO B

NTP 330: Sistema simplificado de evaluación de riesgos de accidente

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo Español

Redactores:

Manuel Bestratén Belloví
Ingeniero Industrial

Francisco Pareja Malagón
Ingeniero Industrial

CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO

El método que se presenta en esta Nota Técnica pretende facilitar la tarea de evaluación de riesgos a partir de la verificación y control de las posibles deficiencias en los lugares de trabajo mediante la cumplimentación de cuestionarios de chequeo.

Descripción del método

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.

La información que nos aporta este método es orientativa. Cabría contrastar el nivel de probabilidad de accidente que aporta el método a partir de la deficiencia detectada, con el nivel de probabilidad estimable a partir de otras fuentes más precisas, como por ejemplo datos estadísticos de accidentabilidad o de fiabilidad de componentes.

Las consecuencias normalmente esperables habrán de ser preestablecidas por el ejecutor del análisis.

Dado el objetivo de simplicidad que perseguimos, en esta metodología no emplearemos los valores reales absolutos de riesgo, probabilidad y consecuencias, sino sus "niveles" en una escala de cuatro posibilidades. Así, hablaremos de "nivel de riesgo", "nivel de probabilidad" y "nivel de consecuencias". Existe un compromiso entre el número de niveles elegidos, el grado de especificación y la utilidad del método. Si optamos por pocos niveles no podremos llegar a discernir entre diferentes situaciones. Por otro lado, una clasificación amplia de niveles hace difícil ubicar una situación en uno u otro nivel, sobre todo cuando los criterios de clasificación están basados en aspectos cualitativos.

En esta metodología consideraremos, según lo ya expuesto, que el nivel de probabilidad es función del nivel de deficiencia y de la frecuencia o nivel de exposición a la misma.

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

$$NR = NP \times NC$$

Nivel de deficiencia

Llamaremos nivel de deficiencia (ND) a la magnitud de la vinculación esperable entre el conjunto de factores de riesgo considerados y su relación causal directa con el posible accidente. Los valores numéricos empleados en esta metodología y el significado de los mismos se indica en el cuadro 3.

Cuadro 3: Determinación del 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 de medidas preventivas existentes respecto al riesgo no se ve reducida de forma apreciable.
Aceptable (B)	—	No se ha detectado anomalía destacable alguna. El riesgo está controlado. No se valora.

Aunque el nivel de deficiencia puede estimarse de muchas formas, consideramos idóneo el empleo de cuestionarios de chequeo (ver [NTP-324](#)) que analicen los posibles factores de riesgo en cada situación.

Veamos a continuación un ejemplo de un cuestionario de chequeo tipo para controlar periódicamente el riesgo de golpes, cortes y proyecciones con herramientas manuales, en un centro de trabajo, y en donde se indican los cuatro posibles niveles de deficiencia: MUY DEFICIENTE, DEFICIENTE, MEJORABLE y ACEPTABLE, en función de los factores de riesgo presentes. Una respuesta negativa a alguna de las cuestiones planteadas confirmaría la existencia de una deficiencia, catalogada según los criterios de valoración indicados.

A cada uno de los niveles de deficiencia se ha hecho corresponder un valor numérico adimensional, excepto al nivel "aceptable", en cuyo caso no se realiza una valoración, ya que no se han detectado deficiencias.

En cualquier caso, lo destacable es que es necesario alcanzar en nuestra evaluación un determinado nivel de deficiencia con la ayuda del criterio expuesto o de otro similar.

Nivel de exposición

El nivel de exposición (NE) es una medida de la frecuencia con la que se da exposición al riesgo. Para un riesgo concreto, el nivel de exposición se puede estimar en función de los tiempos de permanencia en áreas de trabajo, operaciones con máquina, etc.

Los valores numéricos, como puede observarse en el cuadro 4, son ligeramente inferiores al valor que alcanzan los niveles de deficiencias, ya que, por ejemplo, si la situación de riesgo está controlada, una exposición alta no debiera ocasionar, en principio, el mismo nivel de riesgo que una deficiencia alta con exposición baja.

Cuadro 4: Determinación del nivel de exposición

Nivel de exposición	NE	Significado
Continuada (EC)	4	Continuamente. Varias veces en su jornada laboral con tiempo prolongado.
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 período corto de tiempo.
Esporádica (EE)	1	Irregularmente.

Nivel de probabilidad

En función del nivel de deficiencia de las medidas preventivas y del nivel de exposición al riesgo, se determinará el nivel de probabilidad (NP), el cual se puede expresar como el producto de ambos términos:

$$NP = ND \times NE$$

El cuadro 5.1, facilita la consecuente categorización.

Cuadro 5.1: Determinación del nivel de probabilidad

		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

En el cuadro 5.2 se refleja el significado de los cuatro niveles de probabilidad establecidos.

Cuadro 5.2: Significado de los diferentes niveles de probabilidad

Nivel de probabilidad	NP	Significado
Muy alta (MA)	Entre 40 y 24	Situación deficiente con exposición continuada, 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.

Dado que los indicadores que aporta esta metodología tienen un valor orientativo, cabe considerar otro tipo de estimaciones cuando se dispongan de criterios de valoración más precisos. Así, por ejemplo, si ante un riesgo determinado disponemos de datos estadísticos de accidentabilidad u otras informaciones que nos permitan estimar la probabilidad de que el riesgo se materialice, deberíamos aprovecharlos y contrastarlos, si cabe, con los resultados obtenidos a partir del sistema expuesto.

Nivel de consecuencias

Se han considerado igualmente cuatro niveles para la clasificación de las consecuencias (NC). Se ha establecido un doble significado; por un lado, se han categorizado los daños físicos y, por otro, los daños materiales. Se ha evitado establecer una traducción monetaria de éstos últimos, dado que su importancia será relativa en función del tipo de empresa y de su tamaño. Ambos significados deben ser considerados independientemente, teniendo más peso los daños a personas que los daños materiales. Cuando las lesiones no son importantes la consideración de los daños materiales debe ayudarnos a establecer prioridades con un mismo nivel de consecuencias establecido para personas.

Como puede observarse en el cuadro 6, la escala numérica de consecuencias es muy superior a la de probabilidad. Ello es debido a que el factor consecuencias debe tener siempre un mayor peso en la valoración.

Cuadro 6: Determinación del nivel de consecuencias

Nivel de consecuencias	NC	Significado	
		Daños personales	Daños materiales
Mortal o Catastrófico (M)	100	1 muerto o más	Destrucción total del sistema (difícil renovarlo)
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

Se observará también que los accidentes con baja se han considerado como consecuencia grave. Con esta consideración se pretende ser más exigente a la hora de penalizar las consecuencias sobre las personas debido a un accidente, que aplicando un criterio médico-legal. Además, podemos añadir que los costes económicos de un accidente con baja aunque suelen ser desconocidos son muy importantes.

Hay que tener en cuenta que cuando nos referimos a las consecuencias de los accidentes, se trata de las normalmente esperadas en caso de materialización del riesgo.

Nivel de riesgo y nivel de intervención

El cuadro 7.1 permite determinar el nivel de riesgo y, mediante agrupación de los diferentes valores obtenidos, establecer bloques de priorización de las intervenciones, a través del establecimiento también de cuatro niveles (indicados en el cuadro con cifras romanas).

Cuadro 7.1: Determinación del nivel de riesgo y de intervención

		NR = NP x NC			
		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	III 40 IV 20

Los niveles de intervención obtenidos tienen un valor orientativo. Para priorizar un programa de inversiones y mejoras, es imprescindible introducir la componente económica y el ámbito de influencia de la intervención. Así, ante unos resultados similares, estará más justificada una intervención prioritaria cuando el coste sea menor y la solución afecte a un colectivo de trabajadores mayor. Por otro lado, no hay que olvidar el sentido de importancia que den los trabajadores a los diferentes problemas. La opinión de los trabajadores no sólo ha de ser considerada, sino que su consideración redundará ineludiblemente en la efectividad del programa de mejoras.

El nivel de riesgo viene determinado por el producto del nivel de probabilidad por el nivel de consecuencias. El cuadro 7.2 establece la agrupación de los niveles de riesgo que originan los niveles de intervención y su significado.

Cuadro 7.2: Significado del nivel de intervención

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 un análisis más preciso lo justifique.

Contraste de los resultados obtenidos

Es conveniente, una vez tenemos una valoración del riesgo, contrastar estos resultados con datos históricos de otros estudios realizados. Además de conocer la precisión de los valores obtenidos podremos ver la evolución de los mismos y si las medidas correctoras, desde que se aplicaron, han resultado adecuadas.

Para ver cómo podría integrarse este método dentro de lo que sería una auditoría de seguridad, presentamos a continuación un ejemplo de aplicación del cuestionario del cuadro 2 a un puesto de trabajo en el que se han detectado determinados factores de riesgo.

Bibliografía

W.T. SINGLETON & JAN HOVDE **Risk and decisions** Chichester (U.K.), John Wiley and Sons, 1987

J. BESSIS **La probabilité et l'évaluation des risques** Paris, Masson, 1984

FINE W. **Mathematical evaluations for controlling hazards** Traducción: Evaluación Matemática Para el Control de Riesgos. Documento D-4-75 Barcelona, INSHT, 1975

VARIOS AUTORES **Evaluación de las condiciones de trabajo en pequeñas y medianas empresas** Barcelona, INSHT (en prensa)

ANEXO C



SERVICIO DE CAPACITACIÓN

INTRODUCCIÓN E INTERPRETACIÓN A LA NORMA OHSAS 18001:2007 SISTEMA DE GESTIÓN DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL (SISTEMA DE GESTIÓN DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL)



Introducción

La necesidad de estar a salvo y seguro, de acuerdo con la pirámide de necesidades jerárquicas de Abraham Maslow's, es lo más esencial OHSAS 18001 fue elaborado en respuesta a la demanda de las organizaciones de contar con un estándar universalmente aplicable y certificable en materia de la gestión de la Seguridad Industrial y la Salud Ocupacional.

Dirigido

Personal involucrado en auditorías bajo Sistemas de Seguridad Industrial, Salud Ocupacional - OHSAS 18001, gerentes, jefaturas, consultores, y personas relacionadas al sector industrial y petrolero que consideren indispensable evaluar el desempeño permitiendo la verificación de sus controles y prevención de pérdidas

Contenido

- Conceptos generales
- Requerimientos del Sistema de Administración de Seguridad y Salud Ocupacional
- Que no es un OHSAS 18001?
- Que es OHSAS 18001?
- Documentos de referencia en OHSAS 18001
- OHSAS 18002:2000 Guidelines for the implementation of OHSAS 18001.
- Modelo OHSAS 18001
- 1. Alcance
- 2. Publicaciones de Referencia
- 3. Términos y Definiciones
- 4. Requisitos del Sistema de Gestión OH&S
- 4.1 Requisitos Generales
- 4.2 Política de OH&S
- 4.3 Planificación (*Cláusula Revisada*)
- 4.4 Implementación y Operación (*Cláusula Revisada*)
- 4.5 Verificación y Acción Correctiva (*Cláusula Revisada*)
- 4.6 Revisión Gerencial (*Cláusula Revisada*)
- Sistemas de Seguridad y Salud Ocupacional
- Metas de la Gestión de Riesgo
- Obstáculos
- Integración de elementos.

Metodología

- Clases expositivas, con recursos audiovisuales
- Talleres grupales de aplicación
- Examen Final



SERVICIO DE CAPACITACIÓN

Material de Apoyo

- Se entregará una carpeta con los contenidos y talleres del curso
- Diploma de asistencia
- Incluye breaks

Instructor

Profesional y Auditor Líder con amplia experiencia en la realización de auditorías, parte del staff de auditores de SGS

Lugar, fecha:

Quito 15 y 16 de Febrero del 2008

Inversión

USD 280 más IVA por participante
(Pago de contado, aceptamos todas las tarjetas de crédito)

Duración: 16 horas (2 días)

Certificado Otorgado

SGS Ecuador extenderá certificado mundialmente reconocido de asistencia de Introducción e Interpretación de la Norma OHSAS 18001:2007.

SOLICITUD DE INSCRIPCIÓN

Nombre: _____ Empresa: _____
 CI: _____ RUC: _____
 Curso de Interés: _____
 Telf.: _____ Celular: _____
 E-mail: _____
 Dirección: _____

Nota: Se hará efectiva su participación, una vez que usted envíe la solicitud de inscripción a los correos electrónicos o faxes detallados.

Inscripciones al:

QUITO (02-2 252 300, Fax ext. 578)

Mariela Echeverría ext. 520, e – mail: ssc_ecuador@sgs.com

Rita Gamboa ext. 158 e – mail: rta.gamboa@sgs.com

GUAYAQUIL: (04-2 683 033, Fax ext 214)

Mariela Naranjo ext. 109, e – mail: mariela_naranjo@sgs.com,

Diana Ferrín ext. 183, e - mail : diana.ferrin@sgs.com

Carmen Pillasagua ext. 212, e - mail: carmen.pillasagua@sgs.com

www.sgs.com

ANEXO D

EMELGUR, EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL GUAYAS-LOS RÍOS S.A.
 Malecón Simón Bolívar N° 100 y Loja (Bloque 1 - Edif. ESPOL) Guayaquil - Ecuador
 CONTRIBUYENTE ESPECIAL SEGUN RESOLUCION N° 2239 DEL 7 DE MAYO DE 1996
 RUC 0990581975001
 Autorización SRI N° 1105956269
FACTURA N° 001-001- 1545566

Fecha de Emisión: 26/AGO/2008 Emisión: SEP/2008 Fecha de Vencimiento: 5/SEP/2008 MESES DE DEUDA

INFORMACIÓN DEL CONSUMIDOR
 Nombre: ARTES GRAFICAS SENEFELDER Planilla N°: 1012647368
 C.I./RUC: 0990004277001 Cuenta (Código): 254020
 Dirección de Notificación: Geocódigo: 0907509002-662
 Dirección del Servicio: KM. 4.5 VIA DURAN TAMBO Provincia-Cantón: GUAYAS-DURAN
 Sector: 90 CLIENTES TARIFA HORARIA / VIA DURAN-TAMBO Parroquia: ELOY ALFARO (DURAN)

Medidor N°: 29-39951698 Factor Multiplicador: 700 Tipo de Servicio: 120/480 V 4 HILOS
 Desde: 25/JUL/2008 Hasta: 25/AGO/2008 Días: 31
 Factor de Potencia (FP): 1.00 Factor corrección demanda: 0.953

SUMINISTRO DEL SERVICIO ELÉCTRICO

Descripción	Actual	Anterior	Consumo	Unidad	DÓLARES
Energía	6566	6344	155400	kWh	9,175.85
07h00-18h00	3664	3545	83300	kWh	5,239.57
18h00-22h00	1059	1024	24500	kWh	1,541.05
22h00-07h00	1843	1775	47600	kWh	2,395.23
Reactiva	177	174	2100	kWhr	
Demanda facturable	448.0			kW	
Máxima	448.0			kW	2,109.06
Máxima en Pico	427.0			kW	
Tarifa	MTCG (IDA)		Comercialización		
Consumo Transformador			Subsidio Cruzado		1.41
kWh			Penalización bajo factor de potencia		
kW			TOTAL SERVICIO ELÉCTRICO (1)		11,286.32
			OTROS CONCEPTOS POR SERVICIO DE ENERGÍA		DÓLARES

La Energía ya es de todos!

TOTAL OTROS CONCEPTOS (2)

CONSUMOS KILOVATIOS - HORA ULTIMOS 13 MESES

EL PORCENTAJE DE RETENCION DEL 1% EN LA FUENTE DE IMPUESTO A LA RENTA SE APLICA A ENERGIA, DEMANDA, CONSUMO NO FACTURADO, COMERCIALIZACION Y PENALIZACION BAJO FACTOR DE POTENCIA RESOLUCION NAC-DGER2008-0250

1/2

EMELGUR, EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL GUAYAS-LOS RÍOS S.A.
 Malecón Simón Bolívar N° 100 y Loja (Bloque 1 - Edif. ESPOL) Guayaquil - Ecuador
 CONTRIBUYENTE ESPECIAL SEGUN RESOLUCION N° 2239 DEL 7 DE MAYO DE 1996
 RUC 0990581975001
 Autorización SRI N° 1105956269
FACTURA N° 001-001- 1545566

Fecha de Emisión: 26/AGO/2008 Emisión: SEP/2008 Fecha de Vencimiento: 5/SEP/2008 MESES DE DEUDA

INFORMACIÓN DEL CONSUMIDOR
 Nombre: ARTES GRAFICAS SENEFELDER Planilla N°: 1012647368
 C.I./RUC: 0990004277001 Cuenta (Código): 254020
 Dirección de Notificación: Geocódigo: 0907509002-662
 Dirección del Servicio: KM. 4.5 VIA DURAN TAMBO Provincia-Cantón: GUAYAS-DURAN
 Sector: 90 CLIENTES TARIFA HORARIA / VIA DURAN-TAMBO Parroquia: ELOY ALFARO (DURAN)

Medidor N°: 29-39951698 Factor Multiplicador: 700 Tipo de Servicio: 120/480 V 4 HILOS
 Desde: 25/JUL/2008 Hasta: 25/AGO/2008 Días: 31
 Factor de Potencia (FP): 1.00 Factor corrección demanda: 0.953

VALORES DE TERCEROS

RUBROS	SUSTENTO LEGAL	DÓLARES
Tasa Alumbrado Público	Ordenanza Municipal	273.00
Contribución Bomberos	D.E. N° 2003-6 R.O. N° 99 del 9-jun-2003	12.00
Tasa Recolección Basura	Ordenanza Municipal	677.18
FERUM	D.E. N° 1659 R.O.-S N° 373 del 31-jul-1998	
TOTAL VALORES DE TERCEROS (3)		962.18
SUBTOTAL (1+2+3)		12,248.50
SUBTOTAL TARIFA 0%		11,286.32
SUBTOTAL TARIFA 12%		0.00
IVA TARIFA 0%		0.00
IVA TARIFA 12%		0.00
VALOR TOTAL EMISIÓN		12,248.50
ESTADO DE CUENTA		
DEUDA ANTERIOR		0.00
TOTAL DEL MES		12,248.50
TOTAL VALOR A PAGAR		12,248.50
DEUDA CONVENIO		
DEUDA TOTAL		12,248.50

La Energía ya es de todos!

2/2

BIBLIOGRAFIA

Código Nacional Eléctrico (NFPA 70), Manual del ingeniero, versión en español, National Fire Protection Association, año 1999.

National Electrical Code Handbook (NFPA 70), National Fire Protection Association, Décima Edición, año 2005.

Norma Italiana CEI EN 60439-1 Low-voltage switchgear and controlgear assemblies: Part 1: Type-tested and partially type-tested assemblies, Comité Electrotécnico Italiano, año 1999.

Standard para Seguridad Eléctrica en lugares de trabajo (NFPA 70-E), versión en español, National Fire Protection Association, año 2004.

NEMA Standards Publication PB 1.1-2002: Instrucciones Generales para la Instalación, Operación y el Mantenimiento Correcto de Tableros de Alumbrado y Control hasta 600 V nominales o menos, National Electric Manufacturer Association, Publication Book, año 2002, www.nema.org

NEMA Standards Publication PB 2.1 -2002: Instrucciones Generales para el Manejo, Instalación, Operación y Mantenimiento Correcto de Tableros de Distribución de Frente Muerto hasta 600 V nominales o menos, National Electric Manufacturer Association, Publication Book, año 2002, www.nema.org

NEMA Standards Publication PB 2.2-2004: Application Guide for Ground Fault Protective Devices for Equipment, publicado por: National Electrical Manufacturers Association, año 2004, www.nema.org

NEMA Standards Publication: A brief comparison of NEMA 250-Enclosures for Electrical Equipment (1000 Volts Maximum) and IEC 60529 Degrees of Protection Provided by Enclosures (IP Code), National Electric Manufacturer Association, Publication Book, año 2002

NEMA Standards Publication 250-2003: Enclosures for Electrical Equipment (1000 Volts Maximum), National Electric Manufacturer Association, Publication Book, año 2003

“La puesta a Tierra en Instalaciones Eléctricas” Ing. Rogelio García Márquez
Editorial PARANINFO, tercera edición año 1998

The Other Electrical Hazard: Electric Arc Blast Burns, Lee Ralph, Lee
Electrical Engineering, Inc., AVO Electrical Engineering Services, a Division
of AVO Training Institute, año 1985.

ELECTRICAL PLAN REVIEW Overcurrent Protection and Devices, Short-
Circuit Calculations, Component Protection, Selective Coordination, and
Other Considerations, Cooper Bussman, año 2002.

Instrucción Técnica Complementaria para Baja Tensión: ITC-BT-24
Instalaciones interiores o receptoras. Protección contra los contactos directos
e indirectos, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo,
Ministerio de Trabajo e Inmigración de España, año 2002.

Baumeister Theodore, Avallone Eugene A., Baumeister III Theodore, Manual
del ingeniero mecánico, octava edición, editorial MC Graw Hill, año 1982.

Bestratén Belloví Manuel, Pareja Malagón Francisco, NTP 330: Sistema
simplificado de evaluación de riesgos de accidente, Instituto Nacional de
Seguridad e Higiene en el Trabajo Español.

Copper for Busbars, COPPER DEVELOPMENT ASSOCIATION publication, año 2001.

Arc Flash Hazards, <http://www.alliantenergy.com/docs/groups/public/documents/pub/p015092.hcsp>, año 2008

Joy Jim Prof., NATIONAL MINERALS INDUSTRY SAFETY AND HEALTH RISK ASSESSMENT GUIDELINE, Minerals Industry Safety & Health Centre (MISHC), <http://www.mishc.uq.edu.au/NMIRAG/NMISHRAG.asp>, año 2005.

Ma Johnny and Oriel Lowell, Arc Flash safety, Electrical Products & Solutions, <http://www.epsmag.net/>, año 2004.

Llamas A. y de los Reyes Jorge, Tierras eléctricas, Publicación del Instituto Técnico Superior de Monterrey.

Reglamento de Baja Tensión Capítulo V: Agrupamiento de Accesorios de Protección de Tableros, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, Ministerio de Trabajo e Inmigración de España, año 2000.

ARC FLASH HAZARD ANALYSIS AND MITIGATION, Inshaw Christopher and Wilson Robert A., Emerson Process Management Electrical Reliability Services Inc. and Brea, CA ABB Inc Houston, año 2004.

Distribución en Baja Tensión Capítulo 1, Schneider Electric, año 2003.

Distribución en Baja Tensión Capítulo 3, Schneider Electric, año 2003.

Los Riesgos Eléctricos y su ingeniería de seguridad, Dr. Máximo López Toledo Ingeniero Industrial, publicado por Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid, año 2002.

GUÍA TÉCNICA: Metodología para el análisis de riesgos Visión general, DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL Y EMERGENCIAS de España, <http://www.proteccioncivil.org/centrodoc/> año 2006.