ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“EFECTOS PELIGROSOS EN PRESENCIA DE ARCOS

ELÉCTRICOS EN TABLEROS DE DISTRIBUCIÓN”

INFORME DE MATERIA DE GRADUACION

PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACION ELECTRONICA Y AUTOMATIZACION INDUSTRIAL

Presentado por:

Carlos Fernando Carrasco Segovia

José Luis Cruz Pilozo

Guayaquil - Ecuador

Año: 2010

A G R A D E C I M I E N T O

A Dios por darme salud para poder alcanzar esta meta.

A mis queridos padres por brindarme su apoyo incondicional día a día.

A mi hermano y mis seres queridos por su motivación y su empuje en mis trayectos difíciles.

Carlos F. Carrasco Segovia

A G R A D E C I M I E N T O

A Dios que me dio la oportunidad de vivir y de regalarme una familia maravillosa. Con mucho cariño para mis padres que me dieron la vida y a mi abuelita que me han respaldado y ayudado en todo momento. Gracias por todo papá, mamá y abuelita por darme una carrera para mi futuro.

José Luis Cruz Pilozo

DEDICATORIA

Este trabajo de tesis va dedicado a:

A Dios por ser la luz de mi vida.

Mis padres y mi abuelita por su constante apoyo, esfuerzo y confianza, por brindarme la oportunidad de ser un profesional en la vida.

Mis hermanos, por ser motivo de crecer y poder darles un ejemplo valedero.

José Luis Cruz Pilozo

DEDICATORIA

A mis queridos padres por brindarme su apoyo incondicional día a día.

Carlos F. Carrasco Segovia

TRIBUNAL DE SUSTENTACION

Ing. Juan Gallo

PROFESOR DE LA MATERIA DE GRADUACION

Ing. Alberto Larco Gómez

PROFESOR DELEGADO DEL DECANO

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado nos corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Carlos Carrasco S.

José Luis Cruz P.

RESUMEN

El presente trabajo realizará un análisis cuantitativo de los riesgos de arcos eléctricos en tableros de distribución como implementación de Seguridad Eléctrica Industrial, enfocándonos en datos reales de los equipos y elementos eléctricos de la Planta Procesadora de Acero IPAC S.A.

El análisis técnico se hizo a través de un estudio de las corrientes de corto circuito y sus repercusiones en el tablero eléctrico de distribución principal de la Planta # 2 de IPAC S.A.

La obtención de datos de los equipos y elementos eléctricos se lo hizo directamente en planta y con información del Dpto. de Mantenimiento de la Empresa.

Apegándonos siempre a lo establecido en las normas del NFPA 70E, IEEE Std, 1584 – 2002 evaluaremos los niveles de seguridad en los que un trabajador debería permanecer cuando está expuesto a una corriente de falla dentro de un tablero de distribución.

Al final de este trabajo se espera concluir con datos reales cuales son los daños que pueden ocasionar los arcos eléctricos de un tablero de

distribución en una persona cuando no se tienen las señalizaciones requerías por las normas eléctricas y por la falta de capacitación en el personal que trabaja como técnico eléctrico en la Empresa.

ÍNDICE GENERAL

CAPITULO III

EVALUACIÓN DE RIESGOS DEL ARCO ELÉCTRICO

CAPITULO IV

CONTROLES Y DEFENSAS PARA PROTECCION

ÍNDICE DE FIGURAS

INTRODUCCION

Recientemente con el incremento de los daños, pérdidas humanas y pérdidas económicas que son causadas por el arco eléctrico, se ha puesto especial interés en los equipos que operan a diferentes niveles de voltaje donde la energía incidente producida por el arco eléctrico es directamente proporcional al tiempo de duración del arco.

Reducir el tiempo de exposición del arco eléctrico tiene un beneficio muy bueno en la reducción del nivel del equipo de protección personal (PPE) y de los daños directos y colaterales de los equipos.

Este criterio es el que detallaremos en nuestro análisis de arco eléctrico en el tablero de distribución principal de la Planta #2 **IPAC S.A** ubicado en el Km 10.5 vía Daule. Se trata de un sistema de alimentación en media tensión de 13.8 KV, con secundario entregando 380V. Esta planta tiene 7 años de estar constituida y hemos encontrado algunos riesgos evidentes al no contar con especificaciones de etiquetado de advertencia, normas de seguridad que se detallan mas adelante en el análisis de esta tesis.

CAPITULO I

Efectos de un Arco Eléctrico

1.1 Normas Aplicadas para evitar los riesgos de arco eléctrico

El objetivo de las normas de seguridad del arco eléctrico es mantener a los trabajadores, técnicos y operadores de la planta, libres de los riesgos de shock, electrocución y quemaduras causadas por un arco eléctrico.

Cuatro estándares de la industria establecen independientemente las prácticas para la prevención de incidentes de arco eléctrico: Hay cuatro principales reglamentos que rigen la seguridad eléctrica y del arco eléctrico:

1. Normas de OSHA 29-CFR, Parte 1910. Seguridad y salud. 1910 parte Sub S (eléctrico) Número normalizado 1910,333 específicamente normas para las prácticas profesionales y de NFPA 70E. OSHA 29 CFR 1910.335 (a) (1) (i) requiere el uso de equipo de protección cuando se trabaja en un peligro potencial eléctrico y 29 CFR 1910.132 (d) (1), que obliga al empleador a evaluar el lugar de trabajo para disminuir peligros y de la necesidad de equipos de protección personal. OSHA es requerido por la construcción de cualquier planta o instalación.

2. La National Fire Protection Association (NFPA), Norma 70-2002 "El Código Eléctrico Nacional (NEC), artículo 110.16 contiene los requisitos para las etiquetas de advertencia de los equipos.

NFPA 70 indica que se llevará a cabo un análisis de riesgos se antes de trabajar en equipos eléctricos. La Agencia Nacional de Protección contra Incendios es el autor de la NFPA 70, también conocido como el Código Eléctrico Nacional (NEC).

3. La Agencia Nacional de Protección contra Incendios NFPA 70E proporciona da una orientación sobre la aplicación de las prácticas de trabajo apropiadas que se requieren para proteger a los trabajadores de lesiones cuando trabajan en o cerca de conductores eléctricos expuestos, o partes de circuitos que podría energizarse.

ARTÍCULO 130 Trabajos que impliquen riesgos de electrocución

ARTÍCULO 350 Relacionadas con la seguridad, requisitos de Trabajo

4. El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) desde 1584 hasta 2002. IEEE 1584-2002 fue desarrollado para ayudar a proteger a las personas de los peligros de arco eléctrico y provee una guía para los cálculos de los niveles de energía incidentes y distancias de trabajo segura [1].

1.2 Qué es un arco eléctrico

Un arco eléctrico es una corriente eléctrica que fluye a través de un arco, fuera de su camino normal, donde el aire se convierte en el conductor de una elevada energía térmica (más de 5.000 grados Celsius) y genera un plasma de alta conductividad. Un arco eléctrico obtendrá toda la energía disponible y generará un aumento del volumen de gases explosivos que dispersará las puertas de un sistema eléctrico. Siempre hay un evento de disparo, que casi siempre implica la intervención humana. [2]

Fig. 1 Ejemplo de arco eléctrico en panel de distribución

Fuente:members.cox.net/seguridadelectrica.com

1.2.1 Causas del arco eléctrico.

Las causas típicas que podemos enfocar y los factores que contribuyen a un arco eléctrico son:

- El contacto accidental con partes energizadas
- Dimensionamiento insuficiente para un corto circuito
- Seguimiento de aislamiento a través de las superficies
- Herramientas de caer en las partes energizadas
- Errores de cableado
- La contaminación, como el polvo en superficies aislantes
- La corrosión de las piezas y los contactos
- Los procedimientos de trabajo inadecuadas

La gran mayoría de las fallas de arco se producen cuando la puerta del panel de distribución está abierta o se está abriendo. [3]. Debido a que se esta realizando cualquier movimiento físico dentro de un equipo eléctrico o fuera del panel eléctrico.

Fig. 2 Ejemplo de Corto circuito por corrosión de las piezas y contactos

Fuente: Engineering for Optimun Performance, Publish by Harrys Group Inc.

1.3 Análisis del arco eléctrico

El análisis del arco eléctrico determinará, el potencial de la energía incidente en el disyuntor "breaker" principal del tablero de distribución eléctrica, en este caso para nuestro análisis será el disyuntor principal del tablero de distribución de la planta #2 IPAC S.A. Este potencial de la energía incidente definirá los Riesgo a Peligros y categoría de EPI que el empleado está obligado a llevar en el desempeño de cualquier trabajo cuando se activan las partes a que están expuestos.

Fig. 3 Cuarto de Distribución de la Planta # 2

Fig. 4 Tablero de 380V

Fuente: Planta Procesadora de Acero IPAC S.A.

CAPITULO II

Identificación de Peligros de un Arco Eléctrico

2.1 Peligros del arco eléctrico

Los principales peligros que la energía eléctrica presenta son: el choque eléctrico (electrocución) y la explosión de arco (quemaduras). El arco eléctrico no habría sido definido sino hasta el 1982 [4]. Tomando así 100 años descubrir este peligro y 121 años definirlo como se lo conoce hoy. Se suele generalizar como accidente por choque eléctrico sin saber realmente de qué trata este fenómeno o si no, se le llama con otros nombres (entre ellos: flamazo, corto circuito, arco voltaico). Es por esta razón, que por varios años no se protegió a los trabajadores adecuadamente de este peligro especifico era algo inesperado causando así serios accidentes y considerables muertes todos los días a trabajadores en todo el mundo.

La explosión de arco es la liberación de distintos tipos de energía concentrada como resultado de una falla. Se presenta irradiando intensamente (ráfaga de arco, segunda fase del fenómeno) luz ultra violeta, infra roja, ruido a altos decibeles, partículas de metal fundido y una onda con gran presión, que impactan de distintas formas sobre el cuerpo humano. En estos eventos no existe el contacto directo, sino que es toda radiación. Estos fenómenos de arcos eléctricos pueden causar lesiones por la exposición a salpicaduras de metales fundidos, quemaduras de 3er grado por encendido, derretimiento de vestimenta y/o incendios secundarios (Ej.: transformadores de aceite), traumatismos físicos debido a la fuerza de explosión, daños en la audición y en la visión.

Los efectos directos de una explosión de arco son con frecuencia catastróficos. [4]

2.1.1 Identificación de los Peligros en las personas

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, la impedancia del cuerpo humano está compuesta por tres impedancias, las cuales se pueden clasificar en 2 grupos: la impedancia interna del cuerpo y la impedancia de la piel. [5]

La zona de peligro para las condiciones del flash del arco es diferente para los diferentes tipos de equipos y se ha establecido en parte por la tensión del sistema. Normalmente, cuanto mayor sea el voltaje, mayor será la zona de peligro. Para facilitar las instalaciones para determinar la zona de peligro - identificado como el límite de protección de Flash - para cada pieza de equipo. [6].

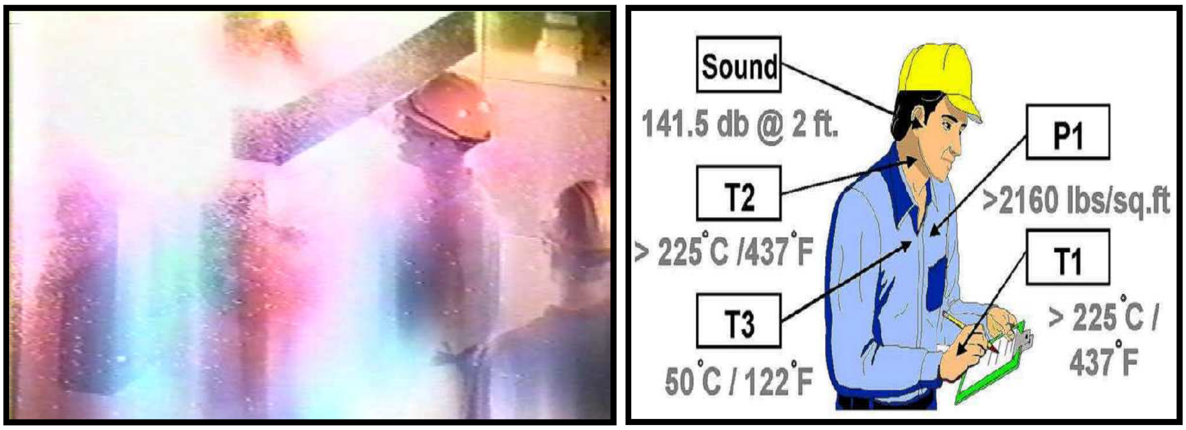


Fig. 5 Niveles de energía por arco eléctrico.

Fuente: www.maintenanceworld.com/Articles/crnkodyrnes/arcingflash.pdf

2.1.2 Análisis de Peligros

Un análisis de peligros Flash es "un método para determinar el riesgo de lesiones personales como resultado de la exposición a la energía incidente en un flash arco eléctrico", según la definición en el estándar IEEE 1584. Se lleva a cabo con el propósito de la prevención de lesiones y la determinación de prácticas seguras de trabajo y selección de los niveles adecuados de protección personal (PPE) de acuerdo con NFPA 70E, el artículo 100.

El Análisis de Peligros de los arcos eléctricos proporciona los siguientes resultados del cálculo para cada ubicación:

- La energía incidente en cal/cm2
- PELIGRO / categorías de riesgo (equipo de protección personal de la categoría que se requiere, clase PPE)
- Límite de protección de Flash

La base para hacer los análisis de riesgos de arco eléctrico son los niveles de corto circuito, los tiempos de retardo de protección de dispositivos y sistemas de información. Con base en esta información, el riesgo de lesiones personales se determina como resultado de la exposición a la energía incidente.

NFPA 70E exige a los propietarios las facilidades para realizar un análisis de riesgos flash antes de permitir a un trabajador trabajar en equipo energizado.

El análisis es necesario para determinar la distancia limite de protección de flash (arco) y el tipo de protección personal necesario. Para establecer esta información, un cálculo de la energía incidente es generalmente necesario.

NFPA 70E no exige específicamente o excluir cualquier método de análisis. Las tablas y las directrices de la norma de proporcionar información suficiente para realizar el análisis sin material de otra fuente.

El estándar IEEE 1584 establece nueve pasos en el proceso de análisis:

- Recoger datos del sistema y la instalación.
- Determinar los modos de operación.
- Determinar corriente de falla.
- Determinar el arco de corriente de falla.
- Encontrar la duración y características del dispositivo de arco de protección.
- Documentos de Tensiones del sistema y la categoría de equipo.
- Seleccione distancias de trabajo.
- Cálculo de la energía incidente.
- Calcule el límite de protección de flash. [7]

2.2 Clases de corto circuito y de contactos eléctricos

2.2.1 Clases de Corto Circuito

Para que se produzca un choque eléctrico en una persona, ésta debe poner en conexión dos puntos de su cuerpo a puntos de distinto potencial eléctrico. Este cierre de circuito se puede producir de las siguientes causas:

• Se cortocircuitan dos conductores activos (fase y fase ó fase y neutro).

• Se cortocircuitan conductores activos y tierra.

• El cuerpo queda sometido a la diferencia de potencial existente entre dos masas o elementos conductores sometidos a potenciales distintos. [8]

2.2.2Clases de Contactos Eléctricos

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 cuál sería la tensión de contacto del individuo afectado, esta 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). La intensidad de contacto vendrá determinada por la relación entre la tensión de contacto (tensión compuesta o de línea, simple o de fase o la tensión de contacto que produzca el defecto) y la (resistencia) impedancia de cierre del defecto (resistencia corporal o del circuito de defecto). La tensión de contacto puede ser efectiva y supuesta. [8]

La tensión de contacto efectiva es la tensión entre dos partes conductoras tocadas simultáneamente por una persona y puede verse sensiblemente afectada por la resistencia (impedancia) de la persona en contacto con esas partes conductoras.

La tensión de contacto supuesta es la tensión que aparece entre las partes conductoras simultáneamente.

La intensidad o corriente de contacto es la corriente que pasa a través del cuerpo humano cuando está sometido a la tensión de contacto. [9]

2.2.2.1 Contactos directos

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

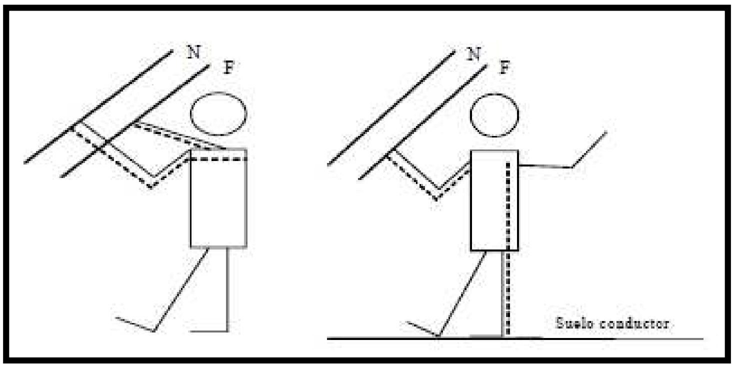


Fig. 6 Ejemplo de Contacto Directo de una persona

Cuando hablamos de contacto eléctrico directo, nos referimos al contacto que sufre una parte del cuerpo con un elemento activo de una instalación eléctrica, denominándose elemento activo a aquel que en condiciones normales se encuentra en tensión; ejemplos de elementos activos de una instalación eléctrica pueden ser los cables de fase o los contactos de un interruptor. [10]

2.2.2.2 Contactos indirectos

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.

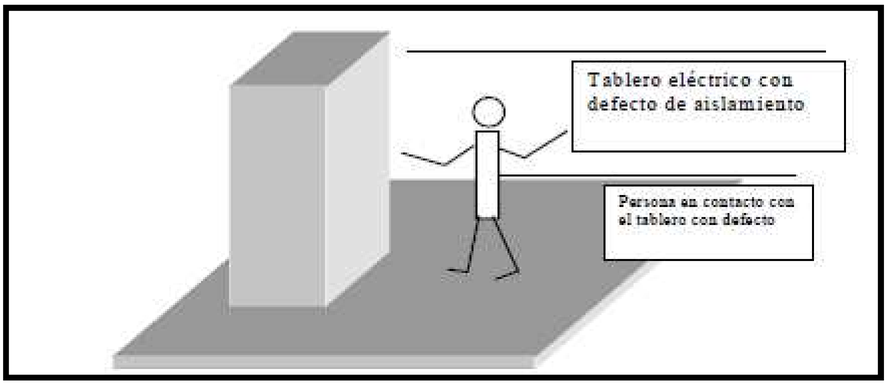


Fig. 7 Ejemplo de Contacto Indirecto

Los contactos indirectos son más comunes y difíciles de detectar a simple vista, se dice que se ha producido un contacto eléctrico indirecto, cuando una parte de un aparato o instalación que se encuentra bajo tensión debido a algún fallo de aislamiento o de otra índole, dicho de otra manera, que en condiciones normales de funcionamiento no debería estar en tensión.

Como se ha dicho al principio este tipo de contactos son más comunes que los directos y seguro que a todos nos ha pasado alguna vez que la carcasa metálica de algún electrodoméstico nos ha dado calambre, esto es un ejemplo de un contacto indirecto.

Los contactos eléctricos indirectos no son tan fáciles de prevenir como los directos, el medio más eficaz para prevenirlos es una buena toma de tierra asociada a una adecuada protección diferencial. Cuando se produce un contacto indirecto, la protección diferencial debe actuar dejando fuera de servicio parte o la totalidad de la instalación [10].

2.3 Consecuencias de un arco eléctrico

- **Impurezas y Polvo**

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

- **Corrosión**

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

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

- **Contactos Accidentales**

El contacto accidental con la exposición de las partes vivas puede ocasionar una falla y producir un arco eléctrico.

- **Caída de Herramienta**

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

- **Sobre-Voltajes a través de espacios estrechos**

Cuando el espacio de aire entre conductores de diferentes fases es muy estrecho (debido a la mala calidad o al daño de los conductores), el arco puede ocurrir durante el sobre-voltaje temporal. [11]

CAPITULO III

Evaluación de Riesgos del Arco Eléctrico

3.1 Definiciones estándares a aplicar en evaluación de riesgos

Existen varios métodos que se utilizan para la evaluación de riesgos, se clasifican en tres tipos:

Cualitativo: Usa palabras para describir la magnitud de consecuencias potenciales y la probabilidad de que eso ocurra.

Cuantitativo: Involucra el cálculo de probabilidad y algunas veces consecuencias, usando datos numéricos.

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.

Las normas y estándares para el análisis de los peligros del arco eléctrico que vamos a usar durante el desarrollo de esta tesis son de carácter ***cuantitativo*** ya que queremos identificar los valores de energía incidente, distancia segura de trabajo y corriente de corto circuito, según como se mencionó y se detalla en el capítulo 2.1.2, gracias a que tenemos a la mano datos con valores reales del tablero en análisis. Estos datos serán basados 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.

3.2 Evaluación de riesgos de arcos eléctricos en el tablero de distribución de 380V de la planta IPAC S.A.

Para hacer el análisis en los riesgos ocasionados en el tablero de alimentación principal de la planta #2 de la empresa **IPAC. S.A.** Fig. 8 - 9, nos basaremos en los cálculos de los niveles de corto circuito en dicho tablero, la energía térmica que produciría un arco eléctrico, así como los efectos de presión y de sonido de dicha onda explosiva.

Han pasado casi 20 años desde que Ralph Lee publicó lo que la mayoría de la gente considera la primera investigación que podría utilizarse para evaluar los riesgos asociados con arcos eléctricos. En su artículo "*The Other Electrical Hazard, Electric Arc Blast Burns"* El Sr. Lee fue el primero en describir los eventos térmicos asociados a un arco eléctrico y sus efectos en el cuerpo humano. El definió el "nivel de quemadura curable" en 1,2 cal / cm^2 (definido como el límite inferior de una quemadura de 3^{er} grado) que todavía se utiliza hoy y los cálculos para determinar las distancias de quemaduras curables de un arco eléctrico en el aire.

En el año 1987 Ralph Lee publicó otro artículo, *Pressures Developed from Arc*s, donde se describen los efectos de presión y sonido de un arco eléctrico en el aire. *Arc Flash Hazard Analysis and Mitigatión, by Christopher Inshaw.* [12]

La IEEE Std 1584-2002; contiene métodos de cálculo desarrollados para probar a través de varias fuentes que determinan las distancias del límite para el personal indefenso y la energía incidente a la distancia activa para personal calificado que trabaja en el equipo energizado. El nivel de energía incidente puede usarse para determinar el PPE apropiado y requerido para el personal. [13]

Fig. 8 Tablero de distribución principal de 380 V
Fuente: IPAC S. A.
El tablero cuenta con un medidor de energía marca SATEC en su parte externa.

Fig. 9 Disyuntor principal de 1000Amp
Fuente: IPAC S. A.
Disyuntor de marca SIEMEN VL 1250

3.2.1 La corriente de corto circuito (Icc).

El análisis de cortocircuito se fundamenta en el cálculo o determinación de las magnitudes de las corrientes de falla y los aportes de cada uno de los elementos a esta falla, características que permiten el diseño de interruptores, calibración y ajuste de los mecanismos de protección.

La corriente de cortocircuito del sistema, permite establecer las características de los elementos de protección que deberán soportar o cortar la corriente de falla, por lo que es necesario realizar el cálculo para cada uno de los niveles de tensión del sistema. Estas corrientes pueden producir daños térmicos o mecánicos, por lo que es necesario aislar lo más pronto posible la falla, mediante la apertura de los interruptores correspondientes.

Desde el punto de vista eléctrico, un cortocircuito es la conexión accidental o intencionada, mediante una resistencia o impedancia relativamente baja, de dos o más puntos de un circuito que está operando en condiciones normales a voltajes diferentes. Un cortocircuito origina aumentos bruscos en las corrientes que circulan por el sistema, ocasionando daños al equipamiento existente. Algunos de los incidentes más graves por cortocircuitos en la red eléctrica son debidos a la caída de un rayo en una línea de transmisión, el incendio de un transformador, la inundación de una subestación, etc.

Los valores de corriente de cortocircuito a considerar son:

- La corriente máxima de cortocircuito, que determina:
    - El dimensionamiento del equipo de protección.
    - El cálculo de ajuste de protecciones.
    - El dimensionamiento de puestas a tierra.

La corriente máxima de cortocircuito se obtiene cuando en el sistema se tiene el mayor número de fuentes de generación operando.

- La corriente mínima de cortocircuito, se utiliza para realizar verificaciones del ajuste de protecciones y se obtiene cuando en el sistema se encuentra operando el menor número de fuentes de generación.

Los resultados obtenidos del cálculo de cortocircuito son:

- La corriente de las diferentes componentes de falla.
- Los voltajes después de la falla en todas las barras del sistema eléctrico.

Para el cálculo de cortocircuito es conveniente efectuar las siguientes aproximaciones:

- El generador se modela como una fuente de tensión de valor 1.0 p.u, en serie con su impedancia.
- Todos los cálculos se deben realizar en por unidad.

- Las cargas se representan por su impedancia equivalente, independiente del nivel de voltaje.
- Todas las barras del sistema tienen un voltaje nominal de 1.0 p.u., respecto a tierra, de forma que no fluyen corrientes de prefalla en la red, pero respecto a la red nodal es cero.
- El sistema eléctrico se analiza como si estuviera en régimen estable.
- Se pueden despreciar todas las conexiones en paralelo desde las barras del sistema al nodo de referencia (neutro) en los circuitos equivalentes que representan a las líneas de transmisión y a los transformadores.

Al producirse un cortocircuito:

- Los voltajes caen. Los generadores se aceleran porque dejan de transmitir potencia activa y existe elevación del flujo de potencia.
- La corriente que fluye inmediatamente ocurrida la falla en un sistema eléctrico de potencia, se determina mediante las impedancias de los elementos de la red y de las máquinas sincrónicas. [14]

3.3 Descripción del método

Para el cálculo de los niveles de la corriente de corto circuito hemos decidido aplicar el “Método Punto a Punto”.

3.3.1 Método Punto a Punto

Utilizando este método, determinaremos la corriente de corto circuito con un grado razonable de exactitud, este procedimiento de la corriente de corto circuito está basado en la norma IE.E.E. Std 241- 1990 y lo detallaremos a continuación [Anexo c]:

Nosotros hallaremos la corriente de corto circuito en la línea principal del circuito de alimentación al disyuntor **Sentron VL 1250N** de 1000 Amp.

El punto de nuestro análisis estará en el lado del secundario del transformador de 500KVA.

Determinamos la corriente de carga total en amperes del transformador con la siguiente fórmula:

$$I_{Linea-Linea} = \frac{KVA\ x\ 1000}{V_{Linea-Linea}\ x\ 1.732}$$

Donde:

$I_{\text{Línea – Línea}}$: Corriente de carga en el secundario del transformador de 500KVA.

KVA: Capacidad del transformador en volts amperes.

1000 = Constante de transformación a VA.

$V_{\text{Línea – Línea}}$ = Voltaje del circuito secundario del transformador, “380 Vac”

La corriente de corto circuito posible en el transformador, Isc, es igual a la corriente de carga en el secundario del transformador por un multiplicador *K*, [Anexo C]

$$\mathrm{I}_{\mathrm{S.C}} = \boldsymbol{I}_{\boldsymbol{Linea-Linea}} x\ K$$

Donde:

I_{SC}: Corriente de corto circuito en el secundario del transformador de 500KVA.

K: Es igual a $\frac{100}{\%Z}$.

%Z: Impedancia del Transformador. “De los datos de placa del transformador”, [Anexo A].

El disyuntor Sentron VL 1250N así como la mayoría de los elementos de protección, tiene un rango de protección de corriente de corto circuito expresada en la componente simétrica de la corriente de corto circuito total.

Para determinar esta componente simétrica de la corriente de corto circuito, $\boldsymbol{I}_{\boldsymbol{S.C.\ simetrica}}$, nos basaremos en la siguiente formula. [Anexo c]

$$I_{S.C.\ simetrica} = I_{S.C} x\ M$$

Donde:

$I_{S.C.\ simetrica}$: Componente simétrica de la corriente de corto circuito en el punto de análisis “punto de posible de falla”.

$I_{S.C}$: Corriente de corto circuito en el secundario del transformador de 500 KVA

M: Multiplicador del conductor igual a $\frac{1}{1+f}$, donde f, es un factor aplicado al conductor de alimentación del secundario del transformador al disyuntor principal.

f: $\frac{1.732 \text{ x L x } I_{S.C}}{\text{C x } V_{Linea-Linea}}$; donde,

L: Es la distancia en pies del conductor desde el secundario del transformador hasta el disyuntor principal Sentron VL 1250N.

C: Es un factor de multiplicación para conductores en paralelo según el calibre y el tipo de material Tabla 6. [Anexo C]

3.3.2 Distancias de trabajo seguras

La distancia de trabajo a la que una persona puede estar segura de no sufrir riesgos como quemaduras o lesiones físicas por el destello de un arco eléctrico fueron establecidas por el Sr. Ralph Lee e incorporados al NFPA 70E [12], quién se refirió a la distancia que una quemadura de arco eléctrico pueda ser curable e incurable desde la fuente de arco hasta la posición de la persona afectada.

$$\boldsymbol{Ds} = [\boldsymbol{2.65x\ MVA\ x\ t}]^{\frac{1}{2}}$$

$$\boldsymbol{Di} = [\boldsymbol{1.96x\ MVA\ x\ t}]^{1/2}$$

Donde:

$\boldsymbol{Ds}$ **:** Es la distancia en pies de la persona a la fuente del arco eléctrico para una quemadura curable

$\boldsymbol{Di}$ **:** Distancia en pies de la persona a la fuente del arco eléctrico para una quemadura incurable

MVA= 1.73 x $V_{\text{Línea-Línea}}$ x Componente simétrica de corriente de corto circuito x 10^{-6}.

t: Tiempo de exposición del arco en segundo, este tiempo lo determinaremos del catálogo del disyuntor **Sentron VL1250N**. Anexo D.

3.3.3 Calculo de la energía incidente de un arco eléctrico.

El nivel de energía incidente a causa de la explosión del arco eléctrico está determinada en cal/cm^2.

La siguientes fórmulas están basadas en la publicación "*Predicting Incident Energy to Better Manage the Electric Arc Hazard on 600 - V Power Sistribution Systems*, del 2000. [15]

$$\mathbf{EA} = 5271DA^{-1.9593}.T\,(0.0016F^2 - 0.0076F + 0.8939)$$

$$\mathbf{EB} = 1038{,}7DB^{-1.4738}.T\,(0.0093F^2 - 0.3453F + 5.9675)$$

Donde:

EA: Máxima energía incidente de un arco en un sistema al aire libre.

EB: Máxima energía incidente de un arco en un tablero o gabinete eléctrico.

DA: Distancia desde la persona hasta la fuente de arco eléctrico en pulgadas.

DB: Distancia desde la persona hasta la fuente de arco eléctrico, máximo 20 in de distancia.

T: Tiempo de interrupción del dispositivo de disparo que para nuestro análisis es el disyuntor VL 1250N.

F: Componente simétrica de la corriente de corto circuito para un rango de (16 a 50) KA. [16]

3.4 Aplicación del método de análisis de riesgos

De acuerdo a lo descrito anteriormente, determinaremos la componente simétrica de corriente de corto circuito así como la energía incidente y la distancia segura de trabajo del arco elétrico en el disyuntor principal del tablero de distribución trifásico de 380V. Fig.10 - 11

Fig. 10 Placa del tablero del distribución de 380V

Fig. 11 Valores de voltaje por fase del Tablero de distribución de 380v

Fuente: IPAC S.A.

Datos:

Las características del transformador de voltaje de 500KVA son las siguiente:

Potencia: 500 KVA

Voltaje primario: 13.8KV

Amperaje primario: 20.92 Amp

Voltaje secundario: 380V.

Amperaje secundario: 759.69 Amp.

Impedancia de corto circuito (Z): 2.39

Clase: OA

Fig. 12 Transformador de 500KVA IPAC S. A.

Fuente: IPAC S.A.

Las características del disyuntor Sentron VL 1250N para nuestro análisis son las siguientes, Fig. 13:

El tiempo de retardo de desconexión **Tsd:** 0.4seg.

Capacidad de protección: 1000Amp

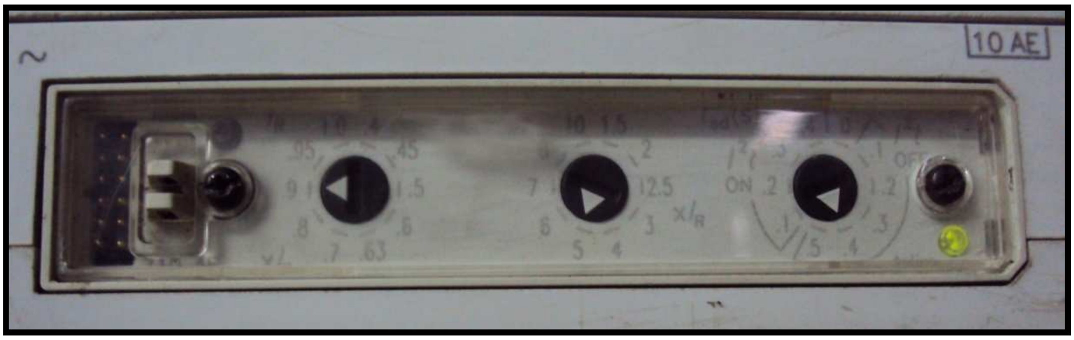


Fig [13] Disyuntor Sentron VL 1250 N

Fuente: IPAC S.A.

Hallaremos la componente simétrica de corriente de corto circuito mediante el método punto a punto en el disyuntor VL1250N como punto de análisis.

Corriente de carga en el secundario del transformador:

$$\boldsymbol{I_{Linea-Linea}} = \frac{\boldsymbol{KVA\ x\ 1000}}{\boldsymbol{V_{Linea-Linea}\ x\ 1.732}}$$

$$\boldsymbol{I_{Linea-Linea}} = \frac{500\ x\ 1000}{380\ x\ 1.732}$$

$$\boldsymbol{I_{Linea-Linea}} = 759.7A$$

La impedancia del transformador, dato de la placa del transformador de 500KVA; Z = 2.39

$$K = \frac{100}{2.39}\ ;\ \text{Multiplicador}$$

$$K = 41.84$$

Corriente de corto circuito en el secundario del transformador

$$I_{S.C} = \boldsymbol{I_{Linea-Linea}} x\ K$$

$$I_{S.C} = 759.7\ A\ x\ 41.84$$

$$\mathbf{I_{S.C}} = 31.78\ KA$$

El disyuntor se encuentra a 7 mt = 22.97 pies, del transformador “Dato medido en metros en la planta IPAC S.A.”.

Debemos determinar el factor f aplicado al conductor para determinar la componente simétrica de corto circuito en el punto de análisis.

$$\boldsymbol{f} = \frac{1.732 \text{ x L x } I_{S.C}}{\text{C x } E_{L-L}}$$

De los datos del diagrama unifilar, el calibre del cable de alimentación del transformador al disyuntor es: 500MCM, 3Líneas x fase.

De la tabla 6 Anexo C, el valor de **C**:

$$\text{C} = 3 \text{ x } 22185.$$

L= 22.97 pies

Entonces;

$$\boldsymbol{f} = \frac{1.732 \text{ x } 22.97 \text{ x } 31.78\text{K}}{3 \text{ x } 22185 \text{ x } 380}$$

$$\boldsymbol{f} = 0.0499$$

El valor multiplicador al conductor M nos quedaría:

$$M=\frac{1}{1+f}$$

$$M=\frac{1}{1+0.0499}=0.952$$

La componente simétrica de corriente de corto circuito es:

$$\boldsymbol{I}_{\boldsymbol{S.C.\ simetrica}}=\ \mathrm{I}_{\mathrm{S.C}}\mathrm{x\ M}$$

$$\boldsymbol{I}_{\boldsymbol{S.C.\ simetrica}}=\ 31.78\ \mathrm{KA\ x}\ 0.952$$

$$\boldsymbol{I}_{\boldsymbol{S.C.\ simetrica}}=30.254\ \mathrm{KA}$$

Distancias segura de trabajo

Encontraremos las distancia de trabajo Ds y Di medidas en *pies [ft]*, para tener la referencia del límite al que una persona podría estar ubicada si existiera la explosión del arco eléctrico.

$\boldsymbol{Ds}\ =\ [\boldsymbol{2.65x\ MVA\ x\ t}\ ]^{\frac{1}{2}}$ Distancia segura, quemadura curable

$\boldsymbol{Di}\ =\ [\boldsymbol{1.96x\ MVA\ x\ t}\ ]^{1/2}$ Distancia insegura, quemadura curable

Donde:

MVA = 1.73 x $V_{Línea-Línea}$ x $\boldsymbol{I_{S.C.\ simetrica}}$ $\boldsymbol{X}$ x 10^{-6}.

T = 0.4 seg, Parámetro ts, calibrado en el disyuntor Sentron VL1250N.

$$\boldsymbol{Ds} = [\boldsymbol{2.65x\ 1.73\ x\ 380\ x\ 30254\ x\ 10^{-6}\ x\ 0.4}\,]^{1/2}$$

$$\boldsymbol{Ds} = 4.591ft = 1.39 \text{ mt}$$

Esta es la distancia mínima para que una explosión de arco eléctrico cause en una persona una quemadura de tipo curable.

$$\boldsymbol{Di} = [\boldsymbol{1.96x\ 1.73\ x\ 380\ x\ 30254\ x\ 10^{-6}\ x\ 0.4}\,]^{1/2}$$

$$\boldsymbol{Di} = 3.948ft = 1.203 \text{ mt}$$

Esta distancia en que se considera que un arco eléctrico causaría una quemadura de tipo incurable.

Podemos darnos cuenta que existe a penas 0.64 ft = 18.7 cm de diferencia entre Ds y Di y con esta pequeña diferencia, la energía del arco eléctrico al que una persona estaría expuesto provocaría una lesión considerable de quemadura.

Ahora determinaremos la energía incidente de estas dos distancias.

Como nuestro análisis esta en el gabinete eléctrico de 380V determinaremos con EB, el nivel de energía máximo a 20 *pulgadas [in],* que es lo que nos permite la fórmula, y con EA, determinaremos los niveles de energía a las distancias Dc y Di halladas anteriormente con el propósito de analizar y dar posibles soluciones ante los riesgos de quemadura o electrocución que podrían suceder en caso de explosión de un arco eléctrico. Las categorías de EPP para los distintos niveles de energía se detallan en la **Tabla 2** de las características de la vestimenta de protección.

$$\mathbf{EA} = 5271\mathrm{DA}^{-1.9593}.\mathrm{T}\,(0.0016\mathrm{F}^2 - 0.0076\mathrm{F} + 0.8939)$$

$$\mathbf{EB} = 1038{,}7\mathrm{DB}^{-1.4738}.\mathrm{T}\,(0.0093\mathrm{F}^2 - 0.3453\mathrm{F} + 5.9675)$$

Datos:

DB = 20 in, maximo.

F = $\boldsymbol{I_{S.C.\ simetrica}} = 30.254\ \mathrm{KA}$

T = 0.4 seg

$$\mathbf{EB} = [1038{,}7(20)^{-1.4738}.(0.4)]\,[0.0093(30.254)^2 - 0.3453(30.254) + 5.9675]$$

$\mathbf{EB} = 20.2643\ \mathrm{cal/cm^2}$; Nivel de energía incidente a 20 in máximo de distancia desde la persona hacia la fuente del arco eléctrico.

Niveles de energía en las distancias Ds y D_I:

Para DA **=** $\boldsymbol{Ds} = 4.591ft$ = 55.092 *in*

F = $\boldsymbol{I_{S.C.\ simetrica}} = 30.254\ \mathrm{KA}$

T = 0.4 seg;

$$\mathbf{EAs} = 5271(55.092)^{-1.9593}.\mathrm{T}\ (0.0016(30.254)^2 - 0.0076(30.254) + 0.8939)$$

$$\mathbf{EAs} = 1.7406\ \mathrm{cal/cm^2}$$

Nivel de energía incidente a una distancia que provocaría un quemadura de tipo curable.

Para **DA =** $\boldsymbol{Di} = 3.948\ \mathrm{ft}$ = 47.376 *in*

F = $\boldsymbol{I_{S.C.\ simetrica}} = 30.254\ \mathrm{KA}$

T = 0.4 seg

$$\mathbf{EAi} = 5271(47.376)^{-1.9593}.\mathrm{T}\ (0.0016(30.254)^2 - 0.0076(30.254) + 0.8939)$$

$$\mathbf{EAs} = 2.339\mathrm{cal/cm^2}$$

Nivel de energía incidente a una distancia que provocaría una quemadura de tipo incurable.

Podemos verificar que a un tiempo Ts = 0.4seg de interrupción, el nivel de energía a 20 pulgadas es de $20.2643\,\mathrm{cal/cm^2}$, este nivel de energía considerada de alto riesgo tiene **categoría 3,** de acuerdo al NFPA en la **Tabla 2** de características de la vestimenta de protección para arcos eléctricos[17].

Hazard Risk Category	cal/cm^2	Protective Clothing
0	0 – 1.2 cal/cm^2	Untreated Natural Fiber
1	1.2 - 4 cal/cm^2	FR Clothing, Minimum Arc Rating of 4
2	4 -8 cal/cm^2	FR Clothing, Minimum Arc Rating of 8
3	8 – 25 cal/cm^2	FR Clothing, Minimum Arc Rating of 25
4	25 – 40 cal/cm^2	FR clothing, Minimum Arc Rating of 40

Tabla 2 Características de la vestimenta de protección

Categoría 0.- Algodón sin tratar o lana

Categoría 1.- Camisa y pantalón con retardante de flama

Categoría 2.- Ropa interior de algodón, camisa y pantalón con retardante de flama.

Categoría 3.- Ropa interior de algodón, camisa, pantalón y overall con retardante de flama

Categoría 4.- Ropa interior de algodón, camisa y pantalón con retardante de flama, overall de doble capa.

Propuesta de corrección para disminuir la intensidad de energía.

Analizaremos ahora la energía incidente si el parámetro de Ts del disyuntor VL 1250 fuera calibrado para 0.3, 0.2 y 0.1 seg.

DB = 20 in, maximo.

F = $\boldsymbol{I}_{S.C.\ simetrica} = 30.254\ \mathrm{KA}$

T1 = 0.3 seg;

$$\mathbf{EB1} = [1038{,}7(20)^{-1.4738}.(0.3)]\,[0.0093(30.254)^2 - 0.3453(30.254) + 5.9675]$$

$$\mathbf{EB1} = 15.198\ \mathrm{cal/cm^2}$$

T2 = 0.2 seg;

$$\mathbf{EB2} = [1038{,}7(20)^{-1.4738}.(0.2)]\,[0.0093(30.254)^2 - 0.3453(30.254) + 5.9675]$$

$$\mathbf{EB2} = 10.132\ \mathrm{cal/cm^2}\ ;$$

T3 = 0.1 seg;

$$\mathbf{EB1} = [1038{,}7(20)^{-1.4738}.(0.1)]\,[0.0093(30.254)^2 - 0.3453(30.254) + 5.9675]$$

$$\mathbf{EB1} = 5.066\ \mathrm{cal/cm^2}$$

Tabla de resultados.

	Energía Incidente cal/cm^2			
	T1 = 0,4	T1 = 0,3	T2= 0,2	T3 = 0,1
Isc sim = 30,254 KA DB = 20 in máxima	20,264	15,198	10,132	5,066

Una inmediata solución para reducir el riesgo de quemadura a una distancia de 20 pulgadas es calibrar el tiempo de interrupción Ts del disyuntor VL 1250N a un tiempo menor de 0.1segundos, reduciendo la energía incidente de 20.264 cal/cm^2 a 5.066 cal/cm^2, un aproximado de 5 veces menos de la energía inicial. Este ajuste de Ts, reducirá también el nivel de categoría del EPP (Equipo de Protección Personal), de categoría 3, a categoría 2, La vestimenta adecuada para realizar una maniobra o mantenimiento del tablero de distribución a un nivel de energía de **categoría 2** se muestra en la siguiente figura.

.

Fig[14] Vestimenta de Categoría 2

Fuente: www.ruelsa.com

CAPITULO IV

CONTROLES Y DEFENSAS PARA PROTECCION

4.1 Tabulación de datos obtenidos y resultados

De los resultados obtenidos y analizados en el capítulo anterior podemos determinar que a un menor tiempo de disparo del dispositivo de interrupción, en nuestro caso el disyuntor VL 1250N, los niveles de energía que produciría un arco eléctrico disminuyen así como las distancias de trabajo segura, disminuyendo el riego de accidentes por quemaduras, pérdidas parciales o totales de visión y del sentido auditivo causante de la fuerte onda de expansión del arco eléctrico.

Como hemos revisado, el NFPA 70E Tabla 130.7 (C) (10), debemos elegir ropa de protección adecuada mencionada para esta energía incidente, de categoría 2.

Mientras más nos acerquemos a la fuente de arco eléctrico el nivel de energía incidente será mucho mayor y el EPP aumentará de categoría.

4.2 Controles y defensas para protección

Hay tres formas para que la energía del arco eléctrico pueda ser disminuido.

- En primer lugar, que la corriente de corto circuito sea reducida (que no puede ser posible).
- En segundo lugar, que la impedancia en el sistema de distribución de energía sea mayor (puede ser difícil y / o caro).
- En tercer lugar, que el tiempo de disparo de los dispositivos de protección sean reducidos. Una de las sugerencias más comunes que se puede realizar para reducir la energía del arco es q el ajuste del disparo sea automático. El ajuste del interruptor automático de los dispositivos de disparo pueden disminuir la cantidad de energía del arco eléctrico producto de una falla. Un beneficio de la disminución de la energía del arco eléctrico es que se podría reducir el nivel de protección personal necesario.

Del etiquetado de los equipos como método de advertencia de seguridad podemos decir que los requisitos de etiquetado son responsabilidad del empleador y no el fabricante o instalador del equipo.

Según la OSHA los equipos eléctricos que han sido instalados hasta antes del 2002 no necesitan ser etiquetados, pero si estos equipos están sujetos a cambio o modificaciones el etiquetado tiene que ser aplicado al equipo.

Los requisitos del NEC detallan que se colocarán de manera claramente visibles las etiquetas para las personas calificadas antes de comenzar a trabajar. Normalmente, las etiquetas se colocarán fuera de la puerta del panel o gabinete eléctrico.

Las etiquetas deben estar situadas de forma que sean visibles para el personal antes de un chequeo, ajuste o mantenimiento del equipo. Las marcas están destinadas a reducir la ocurrencia de lesiones graves o la muerte debido a un arco eléctrico cuando una persona trabaja en, o cerca de los equipos eléctricos energizados. La etiqueta de advertencia debe recordar a un trabajador calificado que tiene la intención de abrir un equipo para el análisis que existe un peligro grave y que el trabajador debería seguir las prácticas de trabajo apropiados, y usar equipos de protección personal (PPE) para el riesgo específico. Una persona no calificada no debe estar cerca al abrir el equipo energizado. Un ejemplo de una etiqueta de peligro en arco se muestra a continuación en la Fig. 15.

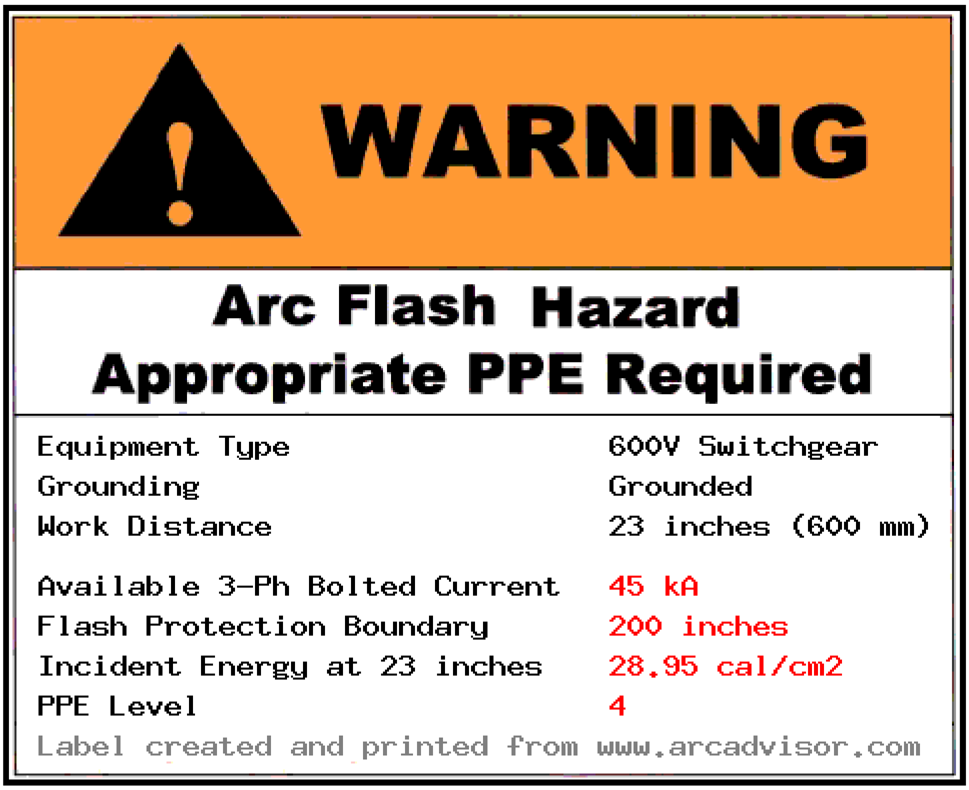


Fig. 15 Etiquetado de protección para arcos eléctricos

Fuente://www.arcadvisor.com

Conclusiones

1) Con lo que respecta al trabajo realizado, podemos concluir que es indispensable realizar un levantamiento del sistema eléctrico con los estudios de cortocircuito y coordinación de protecciones antes de abordar con el estudio del arco eléctrico, ya que el estudio de cortocircuito nos proporciona la magnitud de corriente en condiciones de falla, así como en el estudio de coordinación de protecciones se determina el tiempo de operación de los equipos de protección y las condiciones de sobrecarga.

2) Es importante realizar el análisis del arco eléctrico, ya que con esto tenemos una estimación correcta de la energía incidente y los límites de protección a los que se debemos trabajar, así como determinar la categoría y tipo de equipo de protección personal que se debe emplear de acuerdo al nivel de energía incidente y no sobre dimensionar el equipo de protección, ya que podría causar incomodidad propiciando accidentes que causarían la iniciación del arco.

3) Asimismo podemos evitar siniestros tales como quemaduras fatales que nos afectarían en periodos largos de recuperación del personal afectado y en su caso hasta la muerte; significando pérdidas humanas, económicas y de producción para la empresa, además de sustitución de equipo que integra el sistema eléctrico en cuestión.

Recomendaciones

1) Diseñar los sistemas de energía más seguros, asegurando el cumplimiento con NEC 110,16, OSHA, NFPA 70E e IEEE 1584 estándares.
2) Dar capacitación sobre los peligros de riesgos eléctricos a todo personal técnico y operadores.

   Sería un gran ahorro de tiempo la generación de advertencias en las etiquetas de arco eléctrico.
3) Mantener las puertas del cuarto de distribución cerradas
4) Colocar etiquetas de advertencia en las zonas de peligro con sus valores como lo dictan las normas.
5) Realizar un estudio de arco eléctrico para determinar el alcance del riesgo a ocurrir en un accidente.
6) Utilizar herramientas adecuadas en los mantenimientos de los tableros eléctricos.

7) Mantener en stock una vestimenta propia para un mantenimiento en el tablero de distribución en análisis.
8) Tener a la mano instrumentos de extinción de incendio.

Referencias Bibliográficas.

[1] Industrial Training University Inc., Análisis de arco Eléctrico, www.arcflashengineering.com, 2009

[2] Pro Wear Salisbury, Protección de Arco Eléctrico, www.whsalisburi.com/arc_flash,2008

[3] Juan Meza Hernández de Funken Ingenieros S.A., Análisis del Riesgo por Arco Eléctrico, www.funken.com.mx, Publicado 2008

[4] Lic. Alejandro M. Llaneza, Arcos Eléctricos y la Historia del EPP, NFPA Journal Latinoamericano, publicado: 10/3/2004 artículo 743

[5] Revista Tecnológica ESPOL – RTE, Aplicación de Métodos de Control para Evitar Contactos Eléctricos Directos e Indirectos en Tableros de Distribución de Baja Tensión, http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/2552/1/5028.pdf, Vol. xx, N. xx, pp-pp, (Mes, 200x), ISSN: 0257-1749, 2008

[6] Tim Crnko & Steve Dyrnes Member IEEE, Arcing Flash/Blast review with safety suggestions for design and maintenance, www.maintenanceworld.com/Articles/crnkodyrnes/arcingflash.pdf, 8 dic 2003

[7] Alliant Energy, Arc Flash Hazards,

www.alliantenergy.com/docs/groups/public/documents/pub/p015092.hcsp año 2008.

[8] Revista Tecnológica ESPOL – RTE, Aplicación de Métodos de Control para Evitar Contactos Eléctricos Directos e Indirectos en Tableros de Distribución de Baja Tensión,

http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/2552/1/5028.pdf, Vol. xx, N. xx, pp-pp, (Mes, 200x), ISSN: 0257-1749, 2008

[9] Grupo Prevenir Consulting S.A., 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. http://www.grupoprevenir.es/normativas/d/itc24.htm, Página actualizada - Enero/10

[10] Instalaciones Eléctricas Seguridad www.mailxmail.com-seguridad-instalaciones-eléctricas/tipos-contactos-eléctricos cap9 Fecha publicación: 07/04/2009

[11] Juan Meza Hernández de Funken Ingenieros S.A., Análisis del Riesgo por Arco Eléctrico, www.funken.com.mx, Publicado 2008

[12] Ralph Lee, "The Other Electrical Hazard: Electrical Arc Flash Burns,"

IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 1A-18, No. 3, P. 246, May/June 1982. http://www.pfeiffereng.com/Arc_Flash_Article.pdf, 2010

[13] Ralph Lee, "Pressures Developed by Arcs*," IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. IA-23, pp. 760-764, http://www.ieee-pcic.org/archive/arcs.pdf,July-August1987

[14] Biblioteca de Ingeniería eléctrica y electrónica, Fallas Eléctricas Alta Tensión, http://bieec.epn.edu.ec.,2010

[15] NFPA 70E Standard for Electrical Safety Requirements for Employee Workplaces, 1996 Ed. Quincy, Massachusetts: *National Fire Protection Association, 1995,* http://www.nfpa.org/index.asp?cookie%5Ftest=1 2010

[16] National Fire Protection Association, NFPA 70E, Standard for Electrical Safety Requirement for Employee Workplaces 2000 Edition, http://www.nfpa.org, revisado 2010

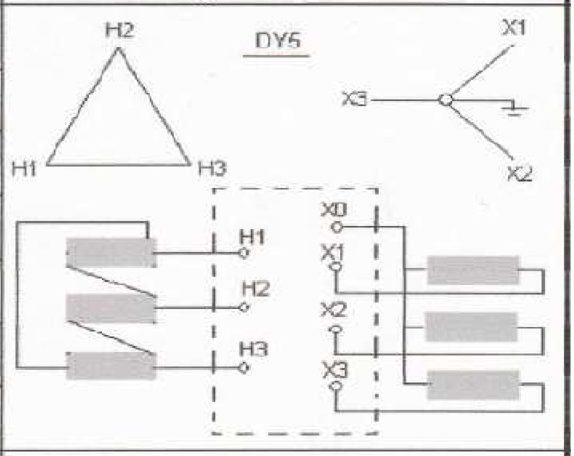
[17] NFPA, NFPA 70E: Standard for Electrical Safety in the Workplace 2004 Edition, http://www.nfpa.org, revisado 2010

Anexo A

Datos del Transformador Principal de 500 K

TRANSFORMADOR T7

TRANSFORMADOR TRIFASICO E.T.500,015P

SERIE	463602	ALTA TENSION		
NORMA	ANSI	POSICION	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)
AÑO FABRICACION	2002	1	14490	
PESO TOTAL Kg	1393	2	14145	
PESO LIQ. AISL. Kg	270	3	13800	20,92 A
PESO A DESENT. Kg	805	4	13455	
POTENCIA NOM. KVA	500	5	13110	
CALENTAMIENTO °C Medio arr. / max. Liq	65 / 85	Nota: El cambio del TAPS deberá realizarse desenergizando el transformador.		
GRUPO CONEXIÓN	DY5			
IMPEDANCIA C.C.	2.39			
NIVEL AISL. 60 Hz Kv / BIL Kv	34 / 95			
CLASE	OA			
FRECUENCIA	60 Hz			
OPERACIÓN m.s.n.m.	3000			
No. FASES	3			
LIQUIDO AISLANTE	ACEITE	BAJA TENSION		

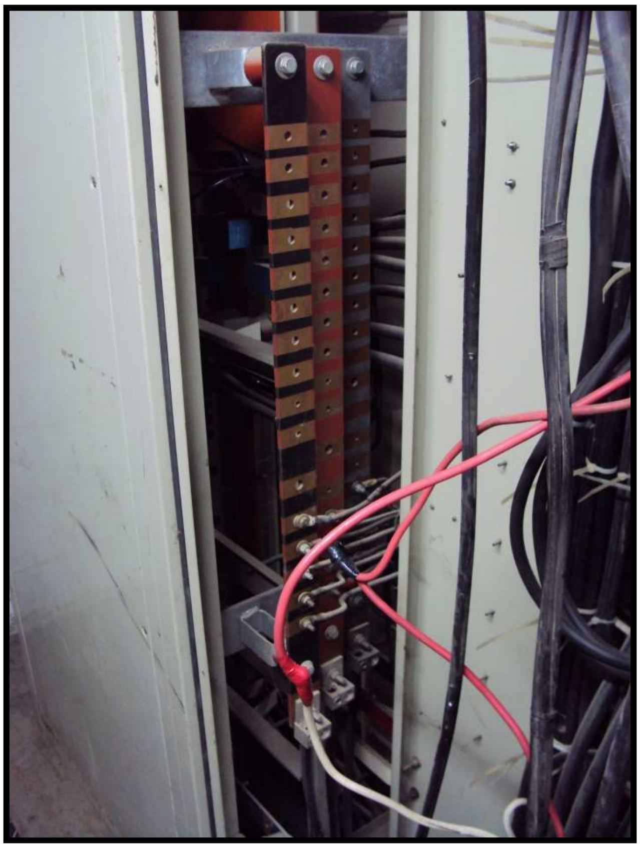
		LINEA EN	V1	V2	I1	I2
		X_1 X_2 X_3 X_0	380		759.69	
ECUATRAN S.A.		X_1' X_2' X_3' X_0'				

ANEXO B

Las puertas del tablero de distribución principal no tienen seguro.

Breaker (disyuntor) principal de 1000Amp

Empresa encargada de la construcción del gabinete principal de 380V



Tapa trasera del tablero descubierta, barras de energía al aire libre.

Anexo C

3Ø Short-Circuit Current Calculations – Procedures and Methods

Point-to-Point Method

The application of the point-to-point method permits the determination of available short-circuit currents with a reasonable degree of accuracy at various points for either 3Ø or 1Ø electrical distribution systems. This method can assume unlimited primary short-circuit current (infinite bus).

Basic Point-to-Point Calculation Procedure

Step 1. Determine the transformer full load amperes from either the nameplate or the following formulas:

3Ø Transformer $$I_{f.l.} = \frac{KVA \times 1000}{E_{L-L} \times 1.732}$$

1Ø Transformer $$I_{f.l.} = \frac{KVA \times 1000}{E_{L-L}}$$

Step 2. Find the transformer multiplier.

$$\text{Multiplier} = \frac{100}{^{*}\%Z_{trans}}$$

* **Note.** Transformer impedance (Z) helps to determine what the short circuit current will be at the transformer secondary. Transformer impedance is determined as follows: The transformer secondary is short circuited. Voltage is applied to the primary which causes full load current to flow in the secondary. This applied voltage divided by the rated primary voltage is the impedance of the transformer.
Example: For a 480 volt rated primary, if 9.6 volts causes secondary full load current to flow through the shorted secondary, the transformer impedance is 9.6/480 = .02 = 2%Z.
In addition, UL listed transformer 25KVA and larger have a ± 10% impedance tolerance. Short circuit amperes can be affected by this tolerance.

Step 3. Determine the transformer let-thru short-circuit current**.

$$I_{s.c.} = I_{f.l.} \times \text{Multiplier}$$

** **Note.** Motor short-circuit contribution, if significant, may be added to the transformer secondary short-circuit current value as determined in Step 3. Proceed with this adjusted figure through Steps 4, 5 and 6. A practical estimate of motor short-circuit contribution is to multiply the total motor current in amperes by 4.

Step 4. Calculate the "f" factor.

3Ø Faults $$f = \frac{1.732 \times L \times I}{C \times E_{L-L}}$$

1Ø Line-to-Line (L-L) Faults on 1Ø Center Tapped Transformer $$f = \frac{2 \times L \times I}{C \times E_{L-L}}$$

1Ø Line-to-Neutral (L-N) Faults on 1Ø Center Tapped Transformer $$f = \frac{2 \times L \times I^{\dagger}}{C \times E_{L-N}}$$

Where:

L = length (feet) of circuit to the fault.

C = constant from Table 6, page 27. For parallel runs, multiply C values by the number of conductors per phase.

I = available short-circuit current in amperes at beginning of circuit.

† **Note.** The L-N fault current is higher than the L-L fault current at the secondary terminals of a single-phase center-tapped transformer. The short-circuit current available (I) for this case in Step 4 should be adjusted at the transformer terminals as follows:
At L-N center tapped transformer terminals,
I = 1.5 x L-L Short-Circuit Amperes at Transformer Terminals

At some distance from the terminals, depending upon wire size, the L-N fault current is lower than the L-L fault current. The 1.5 multiplier is an approximation and will theoretically vary from 1.33 to 1.67. These figures are based on change in turns ratio between primary and secondary, infinite source available, zero feet from terminals of transformer, and 1.2 x %X and 1.5 x %R for L-N vs. L-L resistance and reactance values. Begin L-N calculations at transformer secondary terminals, then proceed point-to-point.

Step 5. Calculate "M" (multiplier).

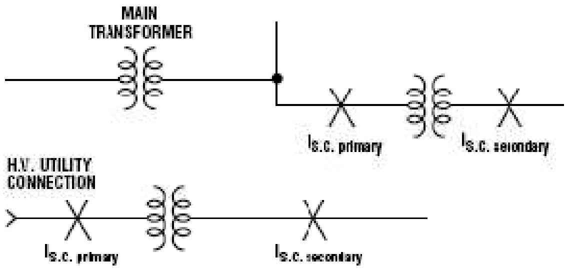
$$M = \frac{1}{1+f}$$

Step 6. Calculate the available short-circuit symmetrical RMS current at the point of fault.

$$I_{S.C.\ sym\ RMS} = I_{S.C.} \times M$$

Calculation of Short-Circuit Currents at Second Transformer in System

Use the following procedure to calculate the level of fault current at the secondary of a second, downstream transformer in a system when the level of fault current at the transformer primary is known.



Procedure for Second Transformer in System

Step 1. Calculate the "f" factor ($I_{S.C.\ primary}$ known)

3Ø Transformer ($I_{S.C.\ primary}$ and $I_{S.C.\ secondary}$ are 3Ø fault values)

$$f = \frac{I_{S.C.\ primary} \times V_{primary} \times 1.73\ (\%Z)}{100{,}000 \times KVA_{trans}}$$

1Ø Transformer ($I_{S.C.\ primary}$ and $I_{S.C.\ secondary}$ are 1Ø fault values: $I_{S.C.\ secondary}$ is L-L)

$$f = \frac{I_{S.C.\ primary} \times V_{primary} \times (\%Z)}{100{,}000 \times KVA_{trans}}$$

Step 2. Calculate "M" (multiplier).

$$M = \frac{1}{1+f}$$

Step 3. Calculate the short-circuit current at the secondary of the transformer. (See Note under Step 3 of "Basic Point-to-Point Calculation Procedure".)

$$I_{S.C.\ secondary} = \frac{V_{primary}}{V_{secondary}} \times M \times I_{S.C.\ primary}$$

Tabla para cálculo del facto F, en el método punto a punto.

Table 6. " C" Values for Conductors and Busway

Copper												
AWG or kcmil	Three Single Conductors						Three-Conductor Cable					
	Conduit						Conduit					
	Steel			Nonmagnetic			Steel			Nonmagnetic		
	600V	5KV	15KV	600V	5KV	15KV	600V	5KV	15KV	600V	5KV	15KV
14	389	389	389	389	389	389	389	389	389	389	389	389
12	617	617	617	617	617	617	617	617	617	617	617	617
10	981	981	981	981	981	981	981	981	981	981	981	981
8	1557	1551	1557	1558	1555	1558	1559	1557	1559	1559	1558	1559
6	2425	2406	2389	2430	2417	2406	2431	2424	2414	2433	2428	2420
4	3806	3750	3695	3825	3789	3752	3830	3811	3778	3837	3823	3798
3	4760	4760	4760	4802	4802	4802	4760	4790	4760	4802	4802	4802
2	5906	5736	5574	6044	5926	5009	5909	5929	5027	6087	6022	5957
1	7292	7029	6758	7493	7306	7108	7454	7364	7188	7579	7507	7364
1/0	8924	8543	7973	9317	9033	8590	9209	9086	8707	9472	9372	9052
2/0	10755	10061	9389	11423	10877	10318	11244	11045	10500	11703	11528	11052
3/0	12843	11804	11021	13923	13048	12360	13656	13333	12613	14410	14118	13461
4/0	15082	13605	12542	16673	15351	14347	16391	15890	14813	17482	17019	16012
250	16483	14924	13643	18593	17120	15865	18310	17850	16465	19779	19352	18001
300	18176	16292	14768	20967	18975	17408	20617	20051	18318	22524	21938	20163
350	19703	17385	15678	22736	20526	18672	19557	21914	19821	22736	24126	21982
400	20565	18235	16365	24296	21786	19731	24253	23371	21042	26915	26044	23517
500	22185	19172	17402	26706	23277	21329	26980	25449	23125	30028	29712	25916
600	22965	20567	47962	28033	25203	22097	28752	27974	24896	32236	31258	27766
750	24136	21386	18888	28303	25430	22690	31050	30024	26932	32404	31338	28303
1000	25278	22539	19923	31490	28083	24887	33864	32688	29320	37197	35748	31959
Aluminum												
14	236	236	236	236	236	236	236	236	236	236	236	236
12	375	375	375	375	375	375	375	375	375	375	375	375
10	598	598	598	598	598	598	598	598	598	598	598	598
8	951	950	951	951	950	951	951	951	951	951	951	951
6	1480	1476	1472	1481	1478	1476	1481	1480	1478	1482	1481	1479
4	2345	2332	2319	2350	2341	2333	2351	2347	2339	2353	2349	2344
3	2948	2948	2948	2958	2958	2958	2948	2956	2948	2958	2958	2958
2	3713	3669	3626	3729	3701	3672	3733	3719	3693	3739	3724	3709
1	4645	4574	4497	4678	4631	4580	4686	4663	4617	4699	4681	4646
1/0	5777	5669	5493	5838	5766	5645	5852	5820	5717	5875	5851	5771
2/0	7186	6968	6733	7301	7152	6986	7327	7271	7109	7372	7328	7201
3/0	8826	8466	8163	9110	8851	8627	9077	8980	8750	9242	9164	8977
4/0	10740	10167	9700	11174	10749	10380	11184	11021	10642	11408	11277	10968
250	12122	11460	10848	12862	12343	11847	12796	12636	12115	13236	13105	12661
300	13909	13009	12192	14922	14182	13491	14916	14698	13973	15494	15299	14659
350	15484	14280	13288	16812	15857	14954	15413	16490	15540	16812	17351	16500
400	16670	15355	14188	18505	17321	16233	18461	18063	16921	19587	19243	18154
500	18755	16827	15657	21390	19503	18314	21394	20606	19314	22987	22381	20978
600	20093	18427	16484	23451	21718	19635	23633	23195	21348	25750	25243	23294
750	21766	19685	17686	23491	21769	19976	26431	25789	23750	25682	25141	23491
1000	23477	21235	19005	28778	26109	23482	29864	29049	26608	32938	31919	29135

Note: These values are equal to one over the impedance per foot for impedances found in Table 5, Page 26.

Catálogo del disyuntor Sentron VL 1250N

SENTRON VL Series Product Specifications

VL1250 Frame
1250 Amperes

Specifications:

Category A

IEC 60947-2 **EN60947**

3-4 Poles

1000-1250 Amperes, 220/240Vac, 380/415Vac, 690Vac

50-60hz.

U_i 750Vac

U_{imp} 8kV

Type	I_N	U_E	I_{CU}	I_{CS}	I_{CM}
VL1250N	1000-1250A	220/240~ 380/415~ 690~	65kA 50kA 20kA	65kA 50kA 10kA	143kA 105kA 42kA
VL1250H	1000-1250A	220/240~ 380/415~ 690~	100kA 70kA 30kA	75kA 70kA 15kA	220kA 143kA 63kA
VL1250L	1000-1250A	220/240~ 380/415~ 690~	200kA 100kA 35kA	150kA 75kA 17kA	440kA 220kA 73.5kA

CE Marked
Calibrations for 50°C ambient

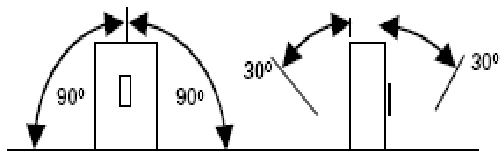
Permissible Load
for various ambient temperatures close to the circuit-breaker, related to the rated current of the circuit-breaker used for line protection.

@ 40°C--100%
@ 50°C--100%
@ 60°C--95%
@ 70°C--86%

Endurance
3,000 operations @ 30 per hour

Watts loss (power loss)
at maximum rated current I_n
3 phase symmetrical load for line protection---210 watts--ETU/LCD

Permissible mounting position

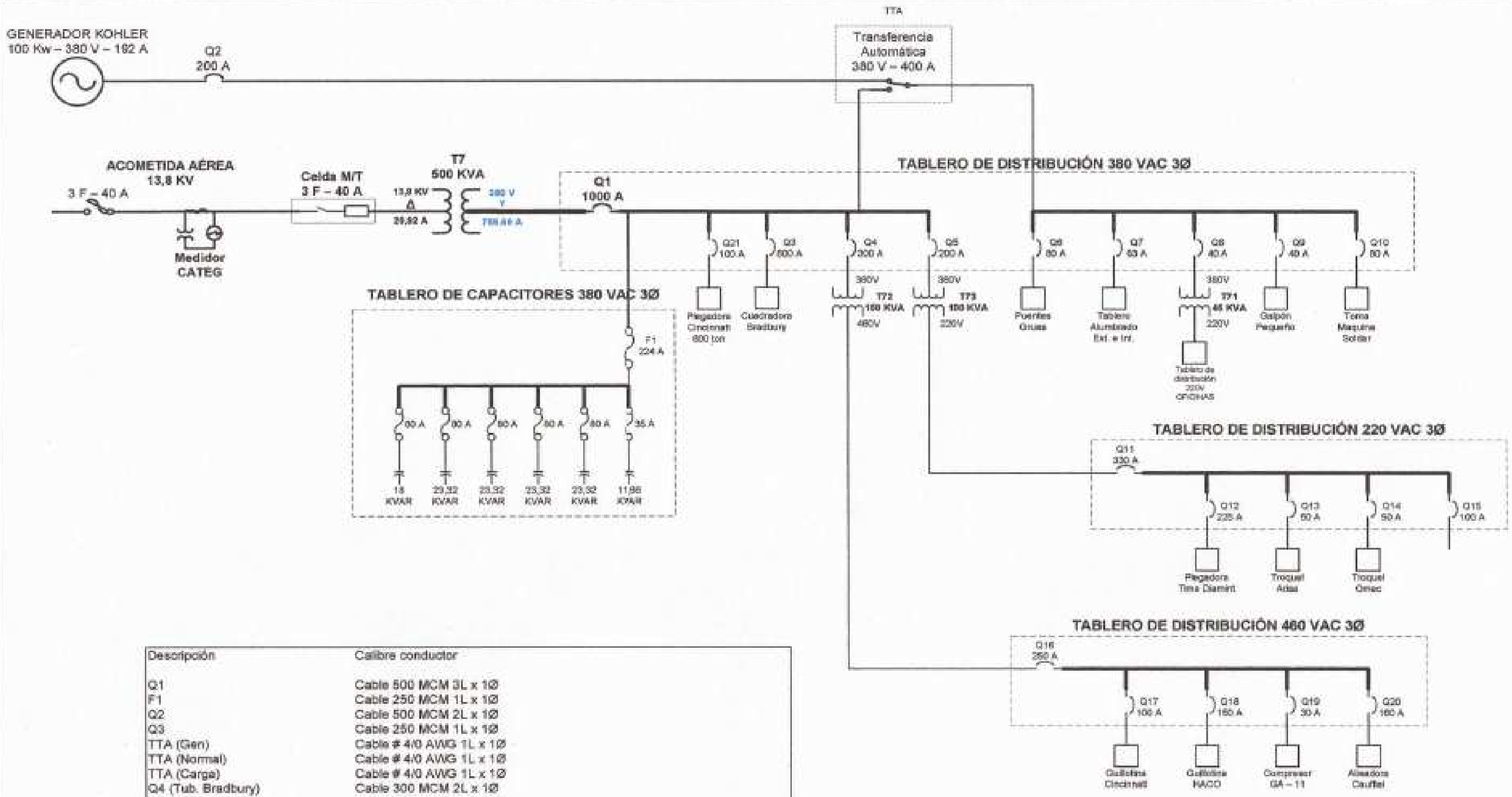


Reverse feed--All VL1250 frame circuit breakers are suitable for reverse feed applications.

Breaker shipping weight 3 pole = 54 lbs. / 24 kg.
4 pole = 68.3 lbs. / 32 kg.

Adj. Overload 40 to 100% x I_N
Adj. Time lag = 2.5 to 30 seconds
Adj. Short time release 1.5 to 10 x I_N
Adj. Time lag (t_{sd})= 0 to 0.5 seconds
Adj. Short circuit releases I_i 1.25 to 11 x I_N

DISTRIBUCION DE CARGAS ELECTRICAS EN PLANTA 2



Descripción	Calibre conductor
Q1	Cable 500 MCM 3L x 1Ø
F1	Cable 250 MCM 1L x 1Ø
Q2	Cable 500 MCM 2L x 1Ø
Q3	Cable 250 MCM 1L x 1Ø
TTA (Gen)	Cable # 4/0 AWG 1L x 1Ø
TTA (Normal)	Cable # 4/0 AWG 1L x 1Ø
TTA (Carga)	Cable # 4/0 AWG 1L x 1Ø
Q4 (Tub. Bradbury)	Cable 300 MCM 2L x 1Ø
Q5 (T72 150KVA)	Cable 250 MCM 1L x 1Ø
Q6 (T73 100KVA)	Cable # 4/0 AWG 1L x 1Ø
Q7 (Puentes Grúas)	Cable # 6 AWG 1L x 1Ø
	Cable # 8 AWG 1L x 1Ø
	Cable concentrico 4 x # 4 AWG 1L x 1Ø
Q8 (Tablero Alumbrado)	Cable # 4 AWG 1L x 1Ø
Q9 (T71 45KVA)	Cable # 4 AWG 1L x 1Ø
Q10 (Galpón Pequeño)	Cable # 6 AWG 1L x 1Ø
	Cable # 6 AWG 1L x 1Ø
Q11	
Q12 (TD 220V)	Cable 250 MCM 1L x 1Ø
Q13 (Plegadora Diamint)	Cable # 2/0 AWG 1L x 1Ø
Q14 (Troquel Omec)	Cable # 8 AWG 1L x 1Ø
Q15 (Troquel Arisa)	Cable # 8 AWG 1L x 1Ø
Q16 (Guillotina Guifil)	Cable # 4 AWG 1L x 1Ø
Q17 (TD 460V)	Cable # 4/0 AWG 1L x 1Ø
Q18 (Guillotina Cincinnati)	Cable # 2 AWG 1L x 1Ø
Q19 (Guillotina Pullmax)	Cable # 6 AWG 1L x 1Ø
Q20 (Compresor GA-11)	Cable # 8 AWG 1L x 1Ø
Q21 (Alisedora Cauffiel)	Cable # 2 AWG 1L x 1Ø

TITULO: ESQUEMA ELECTRICO UNIFILAR DE MEDIA TENSION
EMPRESA: IPAC S.A.
AREA: MANTENIMIENTO
ELABORADO POR: ING. OMAR MEDINA FECHA:24 – NOV – 2005