

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

### **ALCANCE DEL ESTUDIO.**

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

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

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

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

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

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

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

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

### **INTRODUCCIÓN.**

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

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

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

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

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

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

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

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

## **CHOQUE ELECTRICO.**

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

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

## **ARCO ELECTRICO**

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

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

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

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

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

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

Donde:

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

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

t = tiempo de exposición al arco [s]

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

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

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

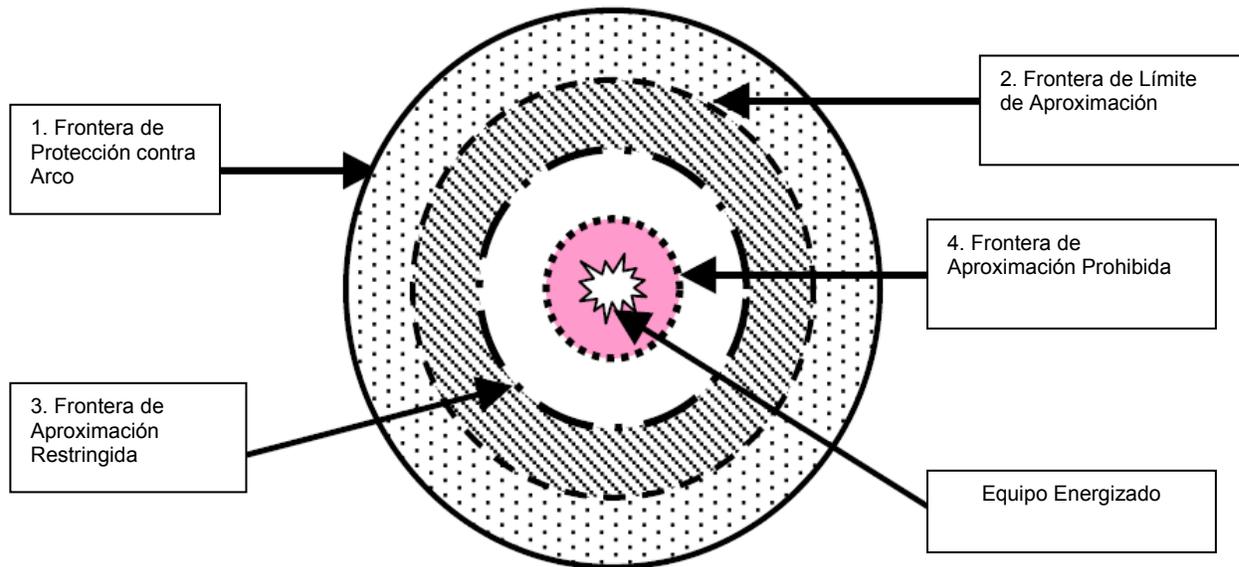
**Características de la ropa de protección, tabla 130.7(C)(11) NFPA 70E.**

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

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

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

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



**Límites de Protección.**

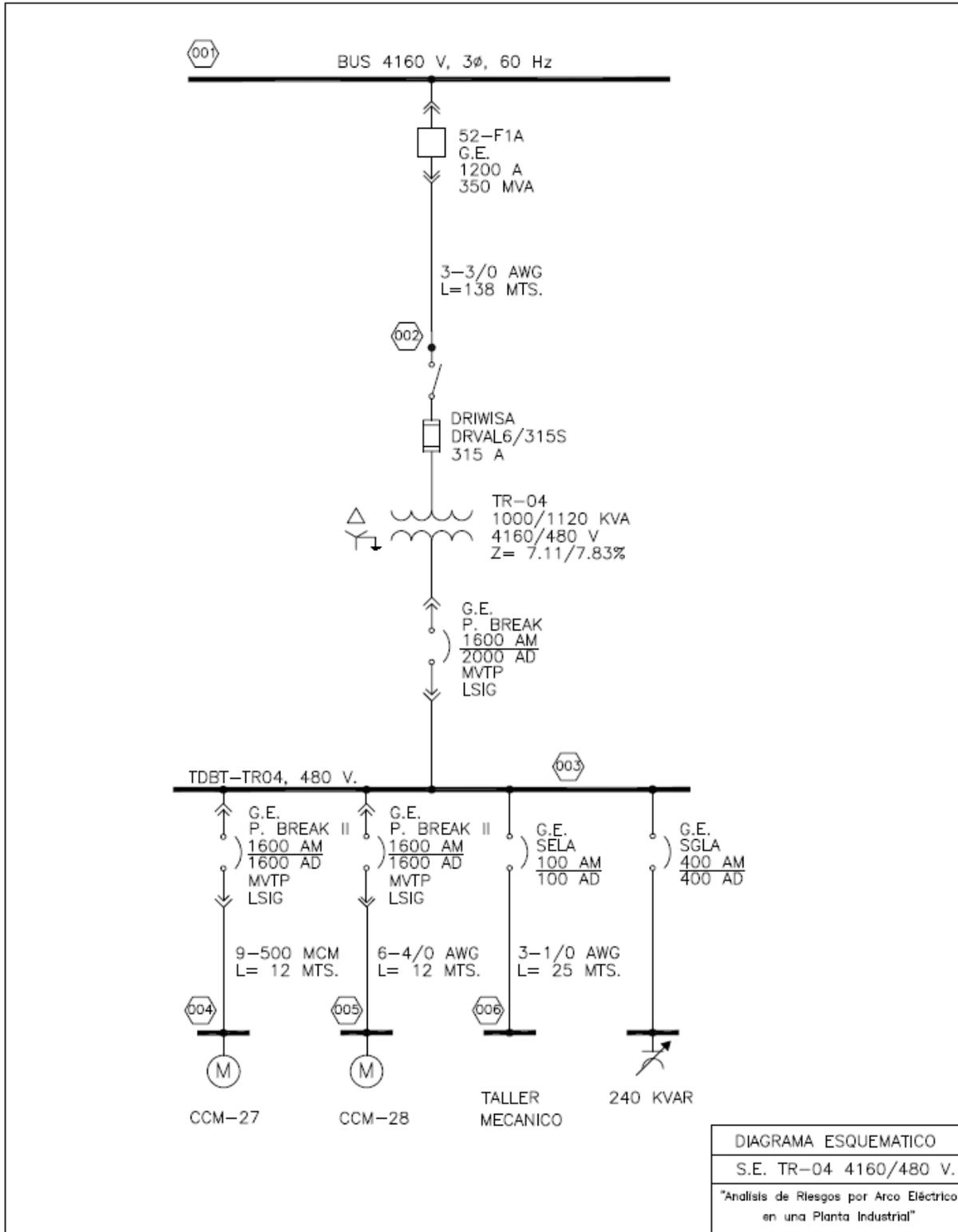
La figura muestra un punto de la instalación, energizado y expuesto (sin aislamiento), que puede ser un cable, borne o barras en un motor, CCM ó tablero y muestra los límites seguros. Se representó en regiones esféricas ya que se debe guardar la misma distancia en todas las direcciones y obviamente ésta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

De la figura se tienen las siguientes definiciones:

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

## DIAGRAMA UNIFILAR ESQUEMATICO

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



## BASE DE DATOS

### TRANSFORMER INPUT DATA

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

### FEEDER INPUT DATA

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

### MOTOR CONTRIBUTION DATA

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

## CORRIDAS DE CORTO CIRCUITO

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

PRE FAULT VOLTAGE: 1.0000  
MODEL TRANSFORMER TAPS: NO

```

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

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

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

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

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

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

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

PRE FAULT VOLTAGE: 1.0000  
MODEL TRANSFORMER TAPS: NO

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

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

PRE FAULT VOLTAGE: 1.0000

MODEL TRANSFORMER TAPS: NO

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

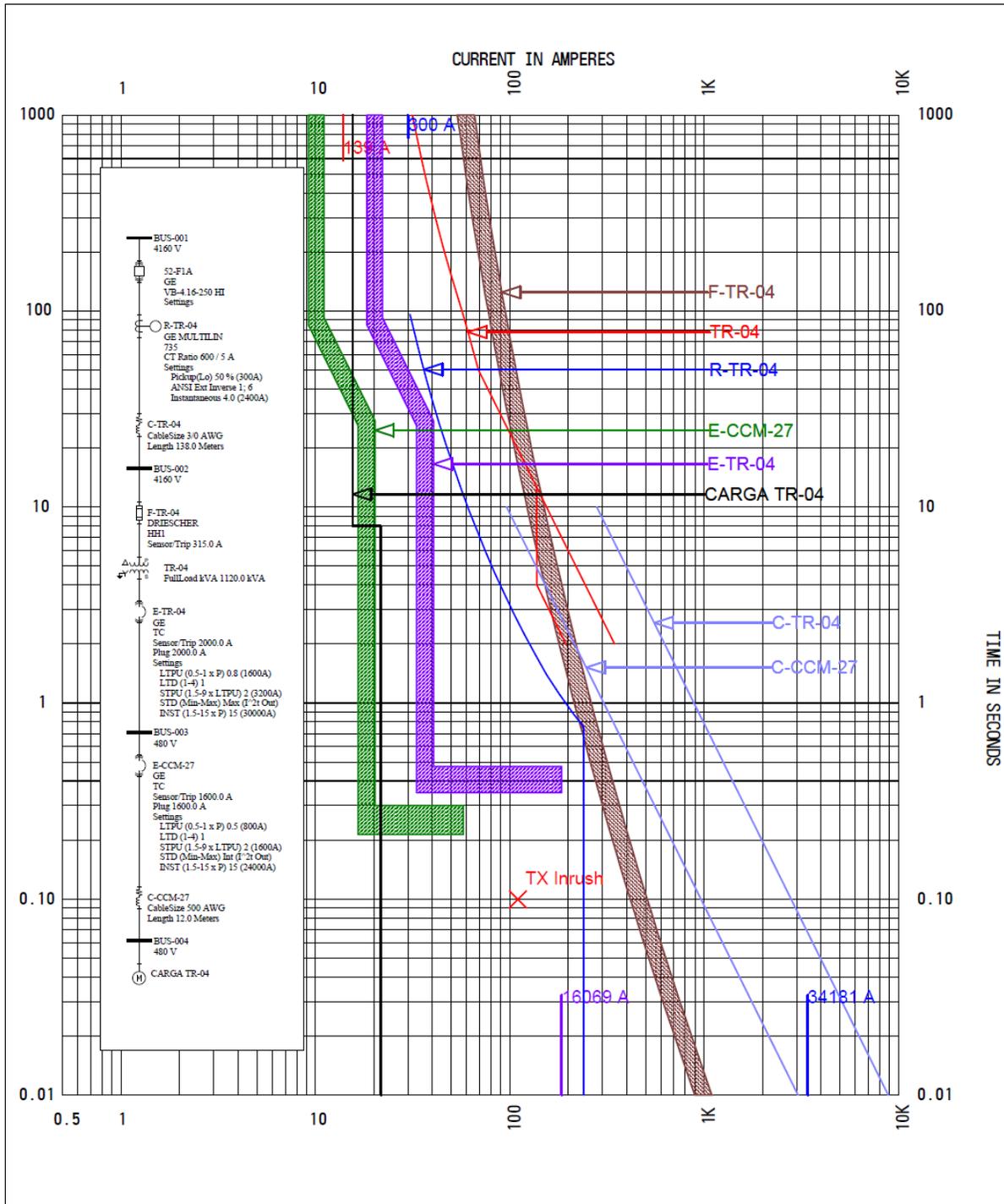
## TABLAS DE AJUSTES DE PROTECCIONES

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

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



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



ANÁLISIS DE RIESGOS POR ARCO ELÉCTRICO EN UNA PLANTA INDUSTRIAL

GRAFICA DE COORDINACIÓN.  
TR-04

Tensión de Referencia: 4160

Escala de Corriente: x 10

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

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

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

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

Definiciones del reporte de arco eléctrico.

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

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

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

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

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

**Notas:**

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

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

**Ejemplo:**

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

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

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

En la tabla se busca el bus 004.

Teniéndose los siguientes resultados:

Falla franca: 21.51 kA

Falla franca en protección: 20.16 kA

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

Disparo/Retardo de tiempo: 0.3 seg.

Distancia mínima entre conductores/barras: 25 mm

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

Distancia de trabajo: 457 mm.

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

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

## RESULTADOS DEL ESTUDIO DE ARCO ELECTRICO

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

Clase 0: Ropa 100% Algodón sin tratamiento

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

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

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

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

- Out of IEEE 1584 Range

- Arcing Current Low Tolerances Used

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

## ETIQUETAS DE ARCO ELECTRICO

Alimentador a TR-04 a 4160 V.

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

Interruptor Principal Secundario a 480 V.

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

Alimentador a CCM-27 a 480 V.

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

Alimentador a CCM-28 a 480 V.

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

Alimentador a Taller Mecánico a 480 V.

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

## **RECOMENDACIONES GENERALES.**

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

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

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

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

Ropa interior de algodón.

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

Calzado dieléctrico.

Lentes de protección.

Guantes.

Protección auditiva (aún en sitios no ruidosos).

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

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

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

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