

Mitigación de Arc Flash

***Operación Remota en tableros
de distribución metalclad para
mitigar el peligro de exposición
al arco eléctrico***

Ing. José M. FebresH.

Contenido

- *Utilizaremos ejemplos reales y posibles escenarios para discutir los peligros inherentes y los mejores procedimientos posibles para operar equipos de forma remota y para mitigar daños durante la ocurrencia de un arco eléctrico o limitar su ocurrencia.*
- *Revisaremos algunos conceptos básicos de Arc Flash*
- *Si los procedimientos requieren que la operación se realice con equipos energizados éstas técnicas y herramientas de seguridad limitarán la exposición al arco eléctrico y otros peligros.*

Información Básica

- *Un Arco Eléctrico es medido en calorías por cm^2 . Este valor es conocido como Energía Incidente (E_i)*
- *Los estándares industriales actuales requieren que los trabajadores utilicen EPP con un rating $> E_i$*
- *La foto muestra un arreglo para simular un arco en un cubículo de un CCM o breaker de 480 VAC por la empresa PSE&G*
- *E_i para esta prueba fué de 51 cal/cm^2*



Riesgos del Arc Flash

- ***No hay manera posible de eliminar completamente los riesgos de Arc Flash***
- ***El método preferido y más efectivo para realizar cualquier trabajo eléctrico es desenergizar el equipo en el cual se estará trabajando. Pero para poder realizar esto el equipo tiene que ser operado para "abrirlo" la cual es considerada como una acción de "riesgo eléctrico"***



Riesgos del Arc Flash

- ***Definición 2009 NFPA 70E: "Arc Flash Hazard" – Una condición peligrosa asociada con posible liberación de energía causada por un arco eléctrico.***
- ***FPN #1 – Un riesgo de arco eléctrico puede existir en cualquier equipo o parte energizada, siempre que un operador esté interactuando con ese equipo.***
- ***FPN #2 – Observar tabla 130.7 (C)(9) para ejemplos que puedan representar un riesgo eléctrico***

Riesgos del Arc Flash

Tabla de actividades 2009 NFPA 70E

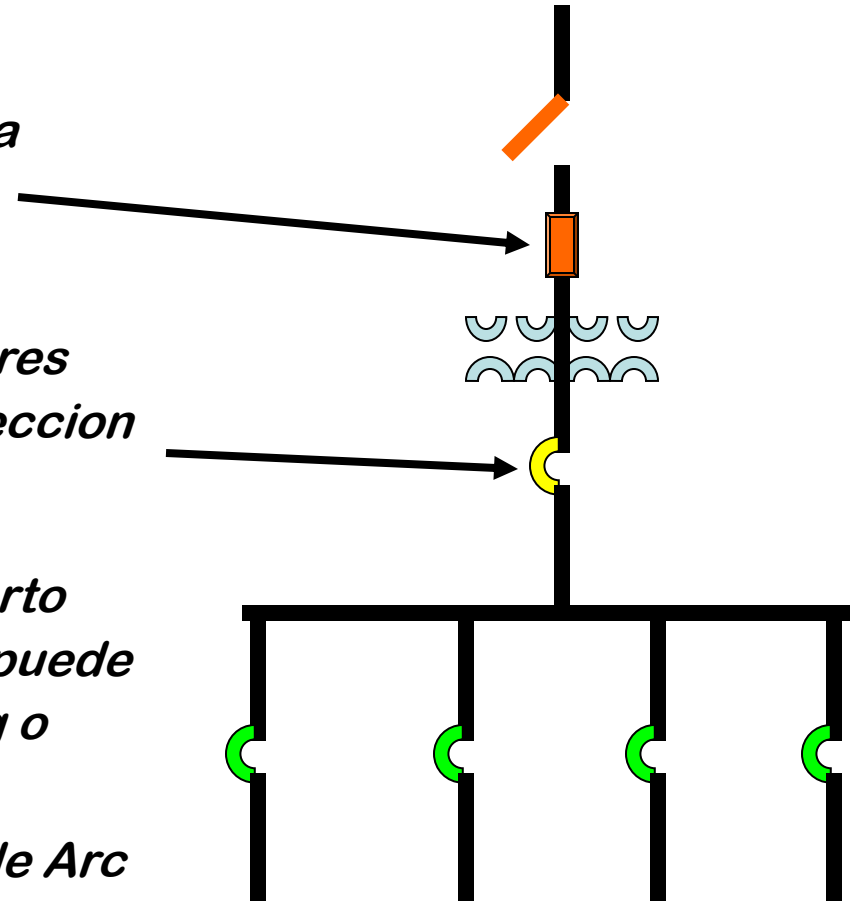
<i>Tarea / Trabajo</i>	<i>2004 70E HRC</i>	<i>2009 70E HRC</i>
<i>Insertion or removal (Racking) of CB's from cubicles, doors open (600V class switchgear)</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
<i>Insertion or removal (Racking) of CB's from cubicles, doors closed (600V class switchgear)</i>	<i>2</i>	<i>4</i>
<i>Insertion or removal (Racking) of CB's from cubicles, doors open (Metal clad switchgear 1kV-38kV)</i>	<i>4</i>	<i>4</i>
<i>Insertion or removal (Racking) of CB's from cubicles, doors closed (Metal clad switchgear 1kV-38kV)</i>	<i>2</i>	<i>4</i>

Tablas de NFPA 70E

- *Muchas compañías han decidido utilizar las tablas para seleccionar EPP para ahorrar dinero y evitar hacer los estudios y análisis apropiados.*
- *Estas tablas solo deben ser utilizadas si los valores de corriente de falla y tiempos de despeje son conocidos con exactitud para el equipo en el cual se va a realizar el trabajo.*
- *Las tablas asumen el máximo valor amp-ciclo. Si estos límites no son alcanzados se requiere realizar un estudio adecuado de arc flash.*
- *Ejemplo: 600V rated switchgear*
 - *Note 4: Maximum of 35kA available short circuit current available, maximum of up to 30 cycle clearing time*

Tablas de NFPA 70E

- *Típica subestación MV/BV*
- *Los fusibles en MV no van a responder con suficiente rapidéz a una falla en BV*
- *Típicamente los interruptores principales no tienen proteccion instantanea (selectividad)*
- *La respuesta de tiempo corto (ST) de los alimentadores puede tener un retraso de 0.3 seg o mayor*
- *Switches para reduccion de Arc Flash, tambien llamados switches de mantenimiento pueden ser muy efectivos.*



Análisis de Riesgo de Arco

Arc Flash Protection (bolted fault) **Boundary**

NFPA eq.

MVA_{bf} = bolted fault MVA at point involved

V = volts

% Z = percent impedance based on transformer MVA

t = time of arc exposure in seconds, (cycles / 60 cycles)

B-2-1

$$I_{sc} = \{ \{ [MVA \text{ Base} \times 10^6] / [1.732 \times V] \} \times 100 / \% Z \}$$

I_{sc} = Short Circuit Current

ANSWER

48,114

Amps

B-2-2

$$P = 1.732 \times V \times I_{sc} \times 10^{-6} \times 0.707^2$$

P = Maximum Power (in MW) in a 3-phase arc

ANSWER

19.994

MW

B-2-3.2

$$D_c = [2.65 \times MVA_{bf} \times t]^{1/2}$$

D_c = Curable Burn Distance

ANSWER

14.56

Ft

D_c = Curable Burn Distance

ANSWER

174.72

inches

2
480
5
2

MVA
volts
% Z
seconds

➤ *Equaciones NFPA 70E*

en programa excel

Ejemplo:

➤ *2000kVA 480V
transformer*

➤ *2 segundos tiempo
de despeje*

Arc Flash Protection (transformer) **Boundary**

NFPA eq.

MVA = rating of transformer

t = time of arc exposure in seconds, (cycles / 60 cycles)

B-2-3.3

$$D_c = [53 \times MVA \times t]^{1/2}$$

D_c = Curable Burn Distance

ANSWER

14.56

Ft

D_c = Curable Burn Distance

ANSWER

174.72

inches

2
2

MVA
seconds

$D_c = 14.56 \text{ ft}$

Frontera de Protección de Arco

- *Determina a que distancia de partes energizadas se debe utilizar EPP*
- *Esta distancia se basa en no exceder 1.2 cal/cm² de energía calórica en la piel de una persona*
- *1.2 cal/cm² causaría una quemadura de segundo grado en piel expuesta en 0.1 segundos*



Análisis de Riesgo de Arco

Equation for Arc in Open Air

NFPA eq.

D_A = distance from arc electrodes, **inches** (for distances 18 in. and greater)

t_A = arc duration, **seconds** (cycles / 60 cycles)

F = bolted fault short circuit current, in **kA** (for the range of 16 to 50kA)

B - 5.1

$$E_{MA} = 5271 \times D_A^{-1.9593} \times t_A \times (0.0016 \times F^2 - 0.0076 \times F + 0.8938)$$

E_{MA} = maximum open arc incident energy

ANSWER

36 inches
2 seconds
48 kA

39.673 cal/cm²

➤ Una falla de 48 kA con un tiempo de despeje de 2 seg a una distancia de 36"

➤ Ei sería:

➤ 39 Cal/cm² al aire abierto

➤ 114 Cal/cm² en un gabinete

Equation for Arc in a Cubic Box

NFPA eq.

D_B = distance from arc electrodes, **inches** (for distances 18 in. and greater)

t_B = arc duration, **seconds** (cycles / 60 cycles)

F = bolted fault short circuit current, in **kA** (for the range of 16 to 50kA)

B - 5.2

$$E_{MB} = 1038.7 \times D_B^{-1.4738} \times t_B \times (.0093 \times F^2 - .3453 \times F + 5.9675)$$

E_{MB} = maximum 20 in. cubic box incident energy

ANSWER

36 inches
2 seconds
48 kA

114.3091 cal/cm²

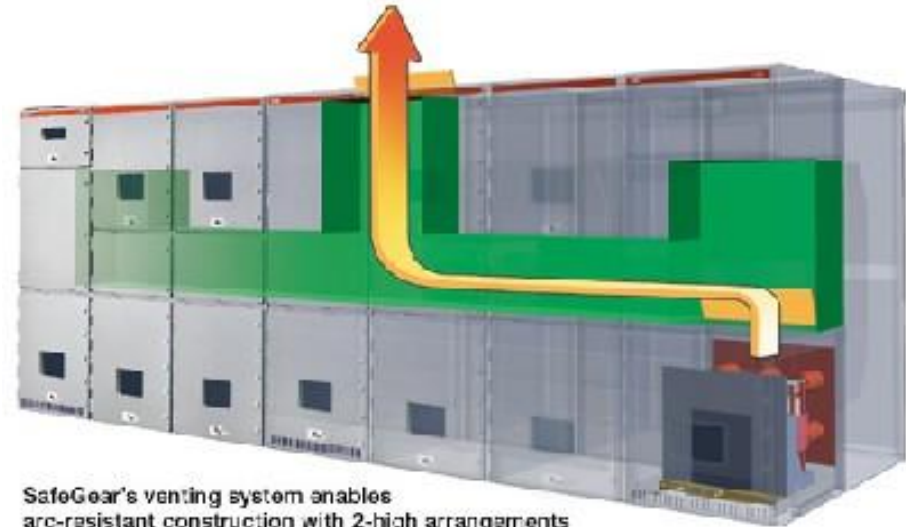
Limitaciones de EPP

- *No hay manera de verificar ratings en equipos usados/viejos*
- *Costosos y difíciles de mantener, deben ser reemplazados*
- *Ofrecen muy poca protección contra fuerzas mecánicas (onda expansiva). No se recomiendan para riesgos de exposición $>40\text{cal/cm}^2$*
- *Incómodos, limitan visión y movilidad*



Mitigación

- *Actualmente se fabrican tableros que cuentan con provisiones para redireccionar el arco*
- *Qué hacer con los tableros existentes?*
- *Se deben cumplir los requerimientos de IEEE C37.20.7*



SafeGear's venting system enables arc-resistant construction with 2-high arrangements for safe and compact power distribution equipment.

- *Dos conceptos básicos para mitigación:*
 - Reducir la duración (Amp/Ciclo) de la falla*
 - Aumentar la distancia entre el trabajador y la falla*
- *Limitar la corriente de falla parece una tarea simple*
- *Se debe tomar en cuenta que reducir corriente de falla implica aumentar el tiempo de respuesta de los dispositivos de protección, lo cual puede ser contraproducente*

Validéz de los análisis Arc Flash

- *Los resultados del análisis asumen que todos los componentes involucrados en la falla responden de acuerdo a las especificaciones*
- *Un componente defectuoso (relevador, interruptor) va a producir una energía incidente mayor que el resultado obtenido en el análisis*
- *Código 2009 70E Artículo 205.3 – General Maintenance Requirements – OCPD's shall be maintained IAW the manufactures instructions or industry standards*
- *FPN: Refer to NFPA 70B or ANSI/NETA MTS for guidance on maintenance frequency, methods, and tests*

Validéz de los análisis Arc Flash

- *Aproximadamente el 30% de interruptores de bajo y medio voltaje que han sido probados estando en servicio por más de 24 meses no trabajan de acuerdo a las especificaciones del fabricante, presentan algún tipo de problema*
- *Luego de ejercitar estos equipos, limpiarlos y lubricarlos apropiadamente esta condición se reduce a menos de 10%.*

Nota: Esta data proviene de la base de datos interna del Grupo CBS.

Validéz de los análisis Arc Flash

- *Asuma que un trabajador va a retirar de su celda un interruptor de 600 VAC*
- *Los resultados del estudio Arc Flash indican que debe utilizar un traje de 40 cal/cm² (EPP)*

Equation for Arc in Open **Air**

NFPA eq.

D_A = distance from arc electrodes, **inches** (for distances 18 in. and greater)

t_A = arc duration, **seconds** (cycles / 60 cycles)

F = bolted fault short circuit current, in **kA** (for the range of 16 to 50kA)

B - 5.1

$$E_{MA} = 5271 \times D_A^{-1.9593} \times t_A \times (0.0016 \times F^2 - 0.0076 \times F + 0.8938)$$

E_{MA} = maximum open arc incident energy

ANSWER

24 inches
0.5 seconds
36 kA

14.028 cal/cm²

Equation for Arc in a Cubic **Box**

NFPA eq.

D_B = distance from arc electrodes, **inches** (for distances 18 in. and greater)

t_B = arc duration, **seconds** (cycles / 60 cycles)

F = bolted fault short circuit current, in **kA** (for the range of 16 to 50kA)

B - 5.2

$$E_{MB} = 1038.7 \times D_B^{-1.4738} \times t_B \times (.0093 \times F^2 - .3453 \times F + 5.9675)$$

E_{MB} = maximum 20 in. cubic box incident energy

ANSWER

24 inches
0.5 seconds
36 kA

26.8335 cal/cm²

Validéz de los análisis Arc Flash

- *El interruptor falla en abrir*
- *El trabajador se vería expuesto a 107 cal/cm², el traje de 40 cal/cm² no le daría protección*
- *El trabajador no hizo nada mal. Qué sucedió?*

Equation for Arc in Open **Air**

NFPA eq.

D_A = distance from arc electrodes, **inches** (for distances 18 in. and greater)

t_A = arc duration, **seconds** (cycles / 60 cycles)

F = bolted fault short circuit current, in **kA** (for the range of 16 to 50kA)

B - 5.1

$$E_{MA} = 5271 \times D_A^{-1.9593} \times t_A \times (0.0016 \times F^2 - 0.0076 \times F + 0.8938)$$

E_{MA} = maximum open arc incident energy

ANSWER

24	inches
2	seconds
36	kA

56.110	cal/cm ²
--------	---------------------

Equation for Arc in a Cubic **Box**

NFPA eq.

D_B = distance from arc electrodes, **inches** (for distances 18 in. and greater)

t_B = arc duration, **seconds** (cycles / 60 cycles)

F = bolted fault short circuit current, in **kA** (for the range of 16 to 50kA)

B - 5.2

$$E_{MB} = 1038.7 \times D_B^{-1.4738} \times t_A \times (.0093 \times F^2 - .3453 \times F + 5.9675)$$

E_{MB} = maximum 20 in. cubic box incident energy

ANSWER

24	inches
2	seconds
36	kA

107.3341	cal/cm ²
----------	---------------------

Caso de Estudio #1

- ***Accidente sucedido en Enero 5, 1993 en Gulf States Electric Utilities en Beaumont, TX***
- ***Cuando electricistas de la empresa junto con contratistas forzaron un interruptor FP de 5 kV para sacarlo de su celda luego de haberse atorado, fallecieron 2 trabajadores y otros 3 resultaron lesionados severamente.***
- ***Todos los trabajadores estaban utilizando EPP. La magnitud de la falla fué tan severa que no existe en el mercado ningún EPP que los hubiese protegido.***
- ***Aumentar la distancia entre los trabajadores y el interruptor/tablero hubiese sido la única opción para evitar que estos trabajadores resultaran lesionados.***



Caso de Estudio #1 - Detalles

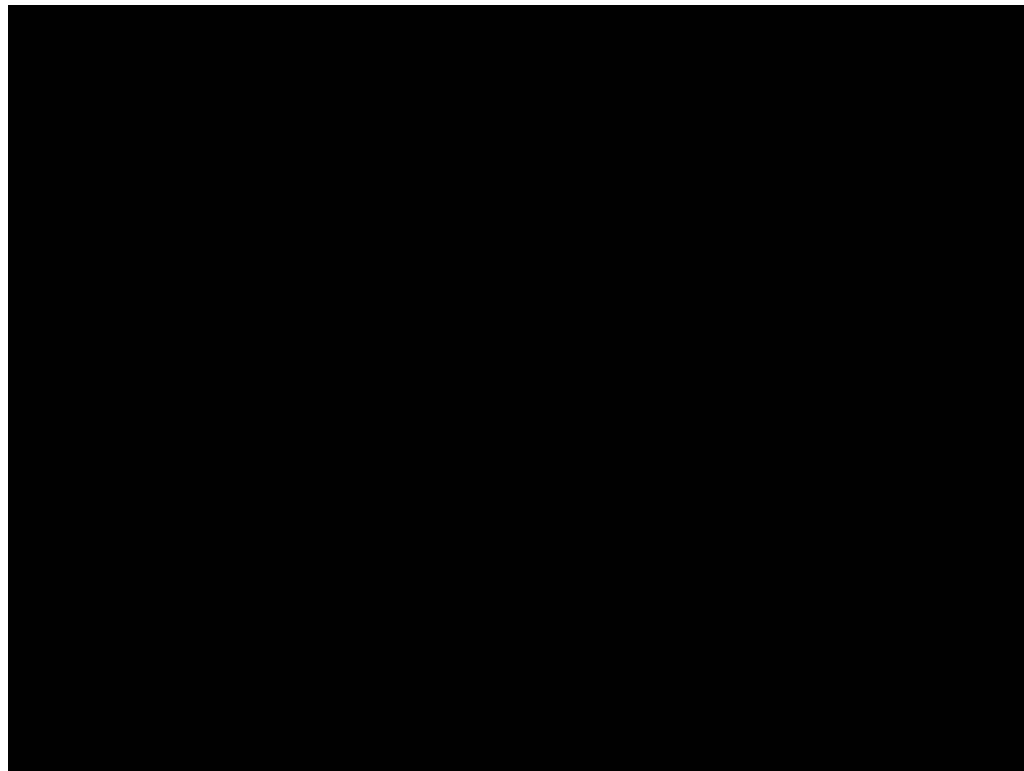
- *El interruptor que falló había sido instalado en ese cubículo recientemente. Ese interruptor pertenecía originalmente a otro tablero, es decir, había sido tomado prestado porque se pensó que eran 100% intercambiables.*
- *Los dos tableros eran similares y del mismo fabricante. Sin embargo existían diferencias entre ambos, fueron fabricados en años diferentes.*
- *Al interruptor le fué dado el comando de "cierre", el mismo intentó cerrar pero quedó trabado en medio de su ciclo de cierre.*
- *Los trabajadores del turno diurno se retiraron, dejaron instrucciones a los contratistas de retirar el interruptor y encontrar cual era el problema.*
- *Cuando retiran el interruptor a la fuerza el mismo finalizó su ciclo de cierre mecánico y se produjo la falla.*

Caso de Estudio #1 - Prevención

- *Este accidente pudo haber sido evitado con entrenamiento apropiado y experiencia operacional.*
- *Cuando los interruptores no pueden ser retirados "normalmente" como lo indica el fabricante, se debe desenergizar toda la barra para poder trabajar en el equipo con seguridad.*
- *Nunca se debe manipular un interruptor "trabado" mecánicamente en su celda estando energizado.*
- *Dispositivos de Operación Remota hubiesen podido prevenir este accidente fatal.*

Soluciones ArcSafe – RRS2

Equipo ArcSafe modelo RRS-2



Caso de Estudio #2

- *Marzo 4, 2009, Jubail Project en Riyadh, Saudi Arabia*
- *Tres trabajadores estaban removiendo un interruptor de caja moldeada de 480 VAC de un CCM cuando se produjo un arco eléctrico, lesionándolos severamente.*



Caso de Estudio #2 - Detalles

- *Los tres trabajadores sufrieron quemaduras de primero y segundo grado y fueron hospitalizados.*
- *Mito: Los tableros son diseñados con capacidad para contener arcos eléctricos.*
- *MCC Arc Flash*



Caso de Estudio #2 - Prevención

- *El sistema ha debido ser desenergizado para realizar esta tarea.*
- *Si no era posible desenergizar el tablero el "bucket" o módulo donde se encontraba el interruptor ha podido ser extraído de forma remota.*



Caso de Estudio #2 - Prevención

- *Actuadores remotos hubiesen podido ser utilizados para abrir este interruptor.*
- *RSA-37 Siemens MCC*



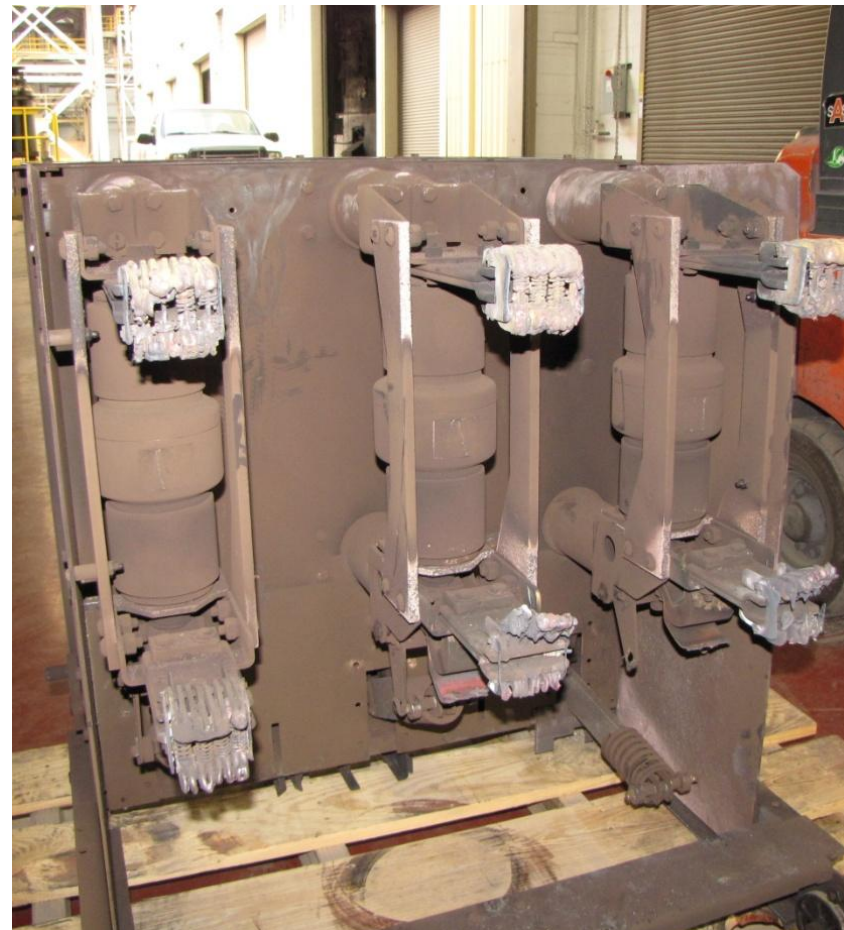
Caso de Estudio #2 - Prevención

- *“Remote Racking Bucket Extractor” hubiese podido extraer de forma segura este módulo*

Allen-Bradley 2100 MCC
Remote Operations

Caso de Estudio #3

- *En Mayo 23, 2009 una planta generadora en el Medio-Oeste de USA experimentó un severo incidente Arc Flash*
- *El incidente se produjo cuando se insertaba un interruptor Siemens tipo GMI de 15 kV que se encontraba "cerrado" con un sistema de enclavamiento defectuoso.*
- *Cuando el interruptor (cerrado) hizo contacto con la barra se produjo una terrible explosión*



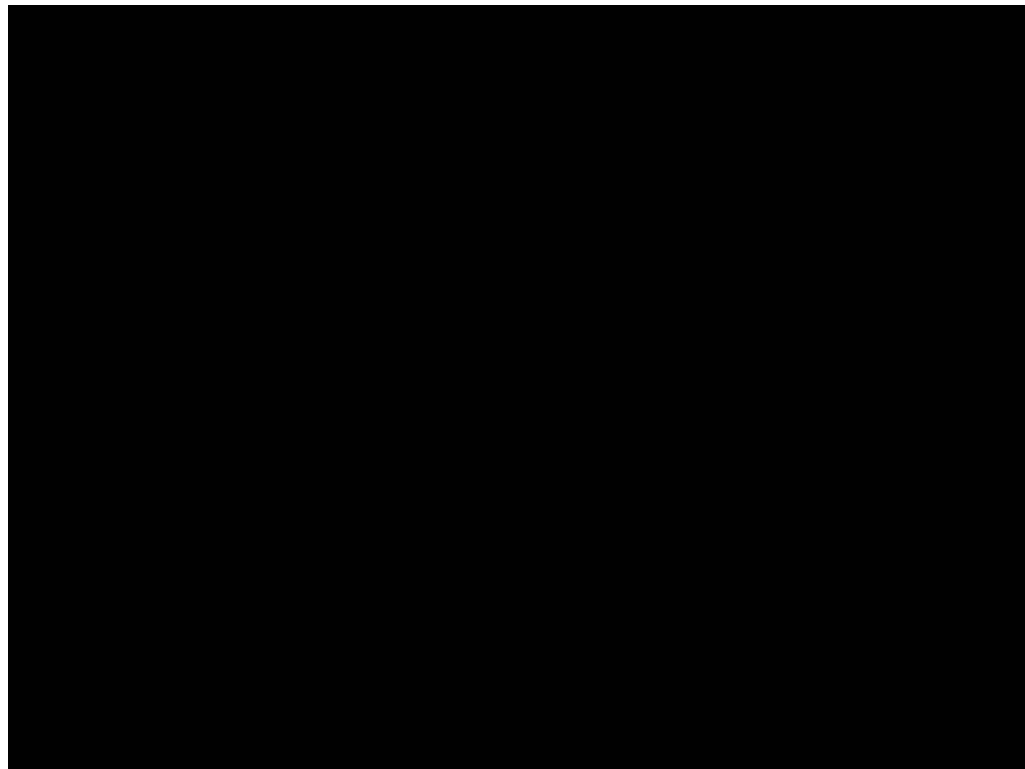
Caso de Estudio #3 - Detalles

- *El interruptor estaba siendo insertado utilizando utilizando un dispositivo remoto (ArcSafe RRS-1), los operadores se encontraban a una distancia segura. No se produjeron ningún tipo de lesiones a ningún trabajador.*
- *El equipo extractor ArcSafe RRS-1 fué utilizado después del incidente para remover el interruptor dañado.*
- *Personal de planta que estaba presente y la Gerencia quedaron sorprendidos de que no se produjeron lesiones*



Caso de Estudio #3 - Solución

Equipo ArcSafe modelo RRS-1



Lección aprendida...

- *Este interruptor Siemens GMI 15 kV tiene un pasador roto en una de sus fases, el mecanismo indica que el interruptor está abierto pero en realidad un polo está cerrado*
- *Es muy difícil detectar este tipo de fallas cuando el interruptor está en servicio*
- *En el Grupo CBS tenemos la política de abrir los principales y trabajar con la barra desenergizada.*
- *Este procedimiento evitó daños a personas y a la propiedad.*



Ejemplo de ArcFlash



Resumen

- *Cada año más de 2.000 personas son enviadas a centros médicos por quemaduras producidas por Arc Flash*
- *Un solo detalle puede desencadenar un evento fatal.*
- *Estos eventos son prácticamente imposibles de predecir.*



Resumen

- *Los humanos cometemos errores, es por eso que los llamamos accidentes*
- *Los equipos eléctricos fallan. Relés de protección, interruptores, EPP, gabinetes, etc., todos pueden fallar.*
- *El incrementar la distancia entre el operador y los equipos es la mejor alternativa comprobada, la más segura, a prueba de errores y en muchos casos es el método de mitigación mas costo-efectivo.*



- *Mantenimiento de rutina preventivo de los sistemas de protección (interruptores + relés de protección) puede ayudar a prevenir fallas y garantiza la precisión y fidelidad de un estudio Arc Flash.*
- *El implementar una Política de Seguridad para evitar accidentes por **Arc Flash** va a impactar de forma inmediata los niveles de Seguridad de su Empresa. Salvaguardar la vida de los trabajadores es parte del “deber ser” de la Empresa.*

Muchas Gracias por su tiempo!

Ing. José Manuel Febres H.

VP, Ventas Internacionales

Circuit Breaker Sales Co., Inc.

CBS ArcSafe

Email: jfebres@cbsales.com

Mobile: 940-736-4022

www.cbsarcsafe.com