



RIESGO DE EXPLOSIÓN E INCENDIO DURANTE EL MANTENIMIENTO DE INTERRUPTORES EXTRAIBLES DE BT Y MT

Atilio Javier Vergara

Rogério Martins

Marcos J. Velázquez

**Superintendencia de Mantenimiento
Dirección Técnica – Itaipu Binacional**

Paraguay

1. RESUMEN

En la Central Hidroeléctrica de Itaipú la tensión de generación es de 18 kV y la de transmisión es de 220/500 kV. Los valores de tensión de los equipos eléctricos de media y baja tensión son de 66 kV; 69 kV; 23 kV; 13,8 kV; 460V y 220V, que para su distribución utilizan barras e interruptores extraíbles montados en celdas.

El objetivo de este trabajo es presentar los riesgos de causado por la generación extrema de calor que podría ocurrir debido a un cortocircuito durante la operación y el mantenimiento de estos interruptores extraíbles por defectos de los dispositivos o fallas humanas. En particular, se expondrá una falla ocurrida durante la inserción de unos de estos interruptores extraíbles montado en celda de un cuadro eléctrico de distribución de 460V.

También se presentarán métodos preventivos para evitar o minimizar dichos riesgos, la importancia de la utilización de equipos de protección individual (EPI's) y equipos de protección colectivo (EPC's) adecuados, durante la extracción o inserción de los interruptores, como así también de la importancia de la capacitación específica para el personal técnico.

2. PALABRAS CLAVES:

Interruptores extraíbles, celdas, cortocircuito, explosión, calor, prevención, seguridad.

3. RIESGO DE GENERACIÓN EXTREMA DE CALOR POR CORTOCIRCUITO Y PRESENTACIÓN DE FALLA OCURRIDA DURANTE EL MANTENIMIENTO DE LOS INTERRUPTORES EXTRAIBLES MONTADOS EN CELDAS.

3.1. Breve descripción del Sistema de Mantenimiento utilizado:

- SSP: Solicitud de Servicios Periódicos
 - Programación: realizado con anterioridad según plan de mantenimiento.
 - Periodicidad: anual y cuatrienal.
 - Caracter: **Preventivo** ejecución según las PICs (Planilla de Inspección y Control) e IM (Instrucción de Mantenimiento) y **correctivo** (ejemplo: cambio de lámparas quemadas)
- SSA: Solicitud de Servicios Aperiódicos
 - De caracter preventivo, correctivo y mejoras
 - Periodicidad: no tiene

Es importante mencionar que para la realización de cualquier trabajo, necesariamente se debe emitir una AT (Autorización de trabajo) aprobada por el jefe de sector correspondiente y concordado con el sector de operación. La liberación de la AT representa la transferencia de responsabilidad del equipo de la operación para el sector de mantenimiento.

3.2. Actividades realizadas durante el mantenimiento de los interruptores y barramientos.

Interruptores (460 V)

- **Mantenimiento anual (1A):** Inspección visual (cámara de extinción del arco, contactos eléctricos principales y de extinción de arco, tulipas), limpieza, verificaciones de apriete de tornillos.
- **Mantenimiento cuatrienal (4A):** Mantenimiento 1(A) mas ensayo para medición de la resistencia de aislación de los contactos con tierra, resistencia de contacto y ensayos de relés de sobrecorriente.

Conjunto de barras (460)

- **Mantenimiento anual (1A):** Inspección visual, limpieza, verificaciones de apriete de tornillos.
- **Mantenimiento cuatrienal (4A):** Mantenimiento 1(A) mas ensayo para medición de la resistencia de aislación.

Transformadores (13,8 kV / 460V)

- **Mantenimiento anual (1A):** Inspección visual, limpieza, verificaciones de apriete de tornillos.
- **Mantenimiento cuatrienal (4A):** Mantenimiento 1(A) mas ensayo para medición de la resistencia de aislación y ensayos de relés de temperatura.

Circuito de Control

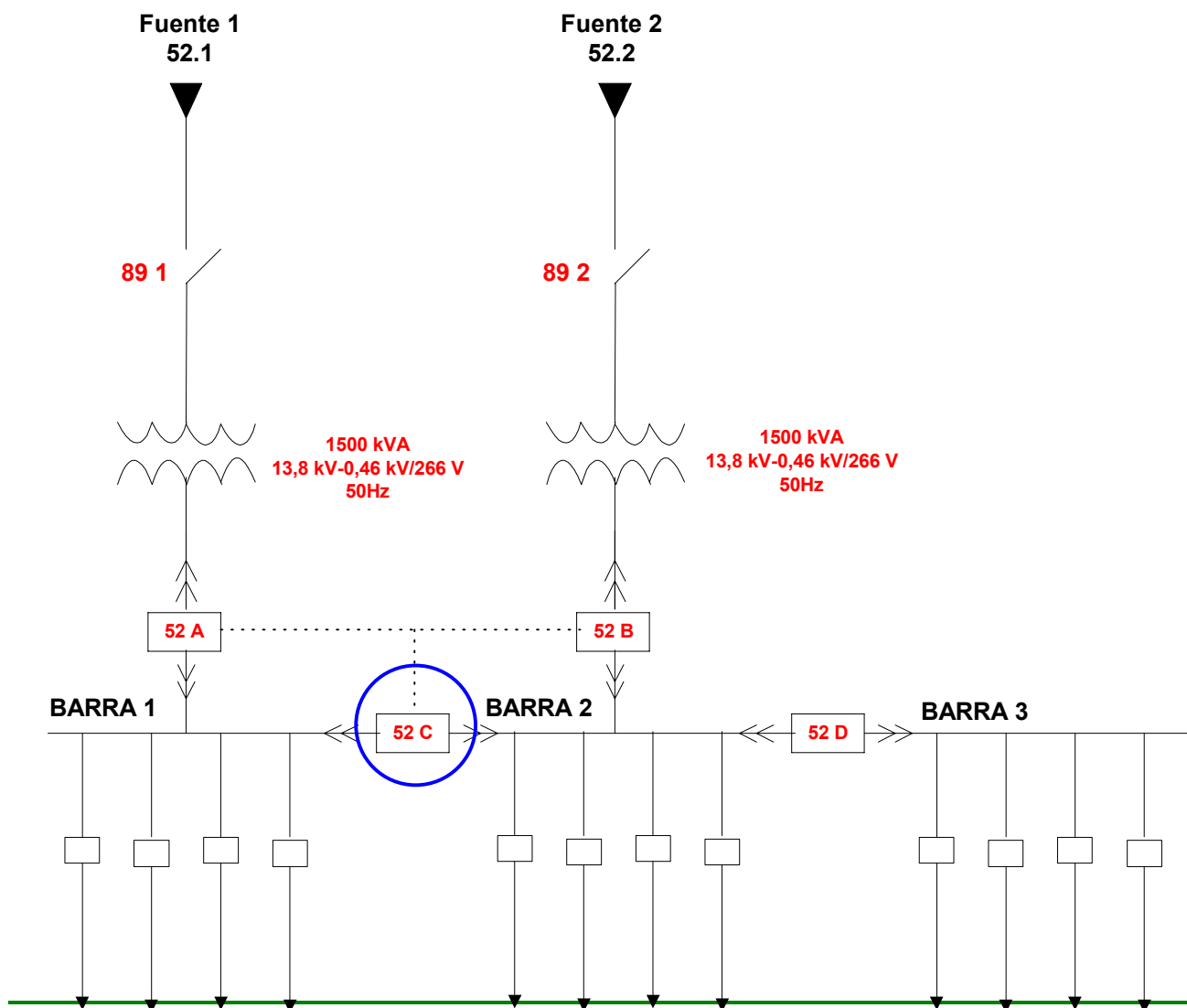
- **Mantenimiento anual (1A):** Inspección visual, limpieza, verificaciones de apriete de tornillos.

- **Mantenimiento cuadrinial (4A):** Mantenimiento 1(A) mas ensayo para medición de la resistencia de aislación, ensayos de relés temporizados, ensayos de relés de sub tensión.

3.3. Secuencia normal para la realización del mantenimiento preventivo:

- Se realiza el mantenimiento preventivo del transformador, seccionadora y interruptor 52-A de la Fuente A. Durante esta fase del trabajo el cuadro permanece energizado através de la Fuente B.
- Posteriormente se ejecuta el mantenimiento preventivo en los equipamientos (transformador, seccionadora e interruptor (52-B)) referente a la Fuente B. Durante esta fase el cuadro permanece energizado através de la Fuente A.
- Terminado el mantenimiento en las Fuentes de alimentación 13,8 kV / 460 V se realiza la desenergización completa del cuadro eléctrico para realizar el mantenimiento en las barras de 460 V y interruptores de interligación de las Barras 52-C y 52-D.

DIAGRAMA UNIFILAR SIMPLIFICADO



3.4. Descripción del accidente

En la fase final del mantenimiento preventivo de un cuadro de distribución, estando el mismo energizado, durante el proceso de inserción el interruptor **52-C** (interligación de la barra I con la barra II), ocurrió un cortocircuito en la región de los terminales en la parte posterior del interruptor con consecuente generación de calor a temperaturas muy altas causando daños personales y materiales.

4. INVESTIGACIÓN REALIZADA PARA DETERMINAR LA CAUSA DE LA FALLA:

4.1. Verificaciones realizadas en los componentes del equipo siniestrado

➤ Verificaciones en el interruptor afectado:

1. **Contactos eléctricos principales y de extinción de arco:** normales y sin señal de haber interrumpido una corriente eléctrica de intensidad elevada. En el momento de la inserción, el interruptor se encontraba abierto, ya que el mismo posee un mecanismo que impide su inserción/extracción en la posición cerrada.

2. **Cámaras de extinción de arco:** normales y sin señales de interrupción del arco reciente.

3. **Conductores eléctricos:** junto al secundario de los TCs dañados y quemados, en el trecho lateral del disyuntor fueron constatados daños producidos por el calor generado en la región ocasionado por el cortocircuito.

4. **Garras de sujeción (Tulipas):** En las mismas se constató el derretimiento en algunos puntos. Las placas de aluminio de alineación de las garras se consumieron en las partes superiores e inferiores de las seis tulipas. Los tirantes guías (2 por tulipa) se derritieron en sus extremidades (parte de la arandela y traba) y permanecieron dentro de los dedos de presión, a excepción de la fase R donde uno de los pasadores permaneció en su lugar, no así el del lado derecho donde solo se encontraba solo una parte de ella en las últimas cuatro garras.

➤ Verificaciones en el nicho del interruptor:

No fue detectado daño significativo, fue encontrado resto de material metálico derretido en el piso, en el lado donde se encontraba la fase R y en la posición donde estaría el pasador del lado derecho de la tulipa cuando el interruptor estuviere en contacto con la barra energizada.

➤ Verificaciones en la barra:

Derretimiento en la fase de contacto con las tulipas, quedando las marcaciones de cada dedo de presión.



Fig. 2 Interruptor afectado



Fig. 3 Conductores quemados

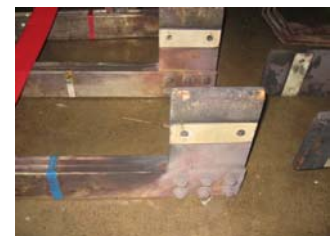


Fig. 4 Barras afectadas

4.2. Origen de la falla:

Con las evidencias obtenidas se concluye que el cortocircuito se originó en el momento de insertar el interruptor y hacer contacto con las barras energizadas, debido a que uno de los tirantes de acero inoxidable de la tulipa inferior de la fase R se desprendió haciendo contacto con la base del nicho (tierra) derritiéndose la parte del tirante desde el extremo en contacto con la base metálica del nicho hasta el extremo inferior de la tulipa quedando el resto del tirante dentro de las últimas cuatro garras de la tulipa, según puede apreciarse en la figura 5. Como consecuencia hubo una ionización del aire y se extendió la falla para la parte superior del interruptor (Barra I, alimentado por la Fuente A). Verificado que cuando el pasador se desprende y toca el piso, permanece dentro de la tulipa en los últimos 4 dedos de presión, según figura 6.

Por la localización del material derretido encontrado en el nicho se puede concluir que eran restos provenientes del pasador de la tulipa inferior de la fase R.

Obs: Durante cortocircuito hubo un calentamiento extremadamente rápido del aire y su consecuente expansión.

Se puede apreciar resto del pasador correspondiente a la fase R y la situación hipotética del pasador desprendido de la tulipa haciendo contacto la base del nicho



Fig. 5 Restos del pasador en los últimos 4 dedos de

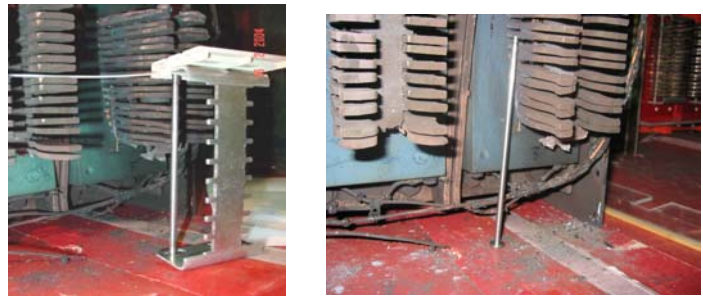


Fig. 6 Simulación la posición del pasador desprendido haciendo contacto con la base del nicho

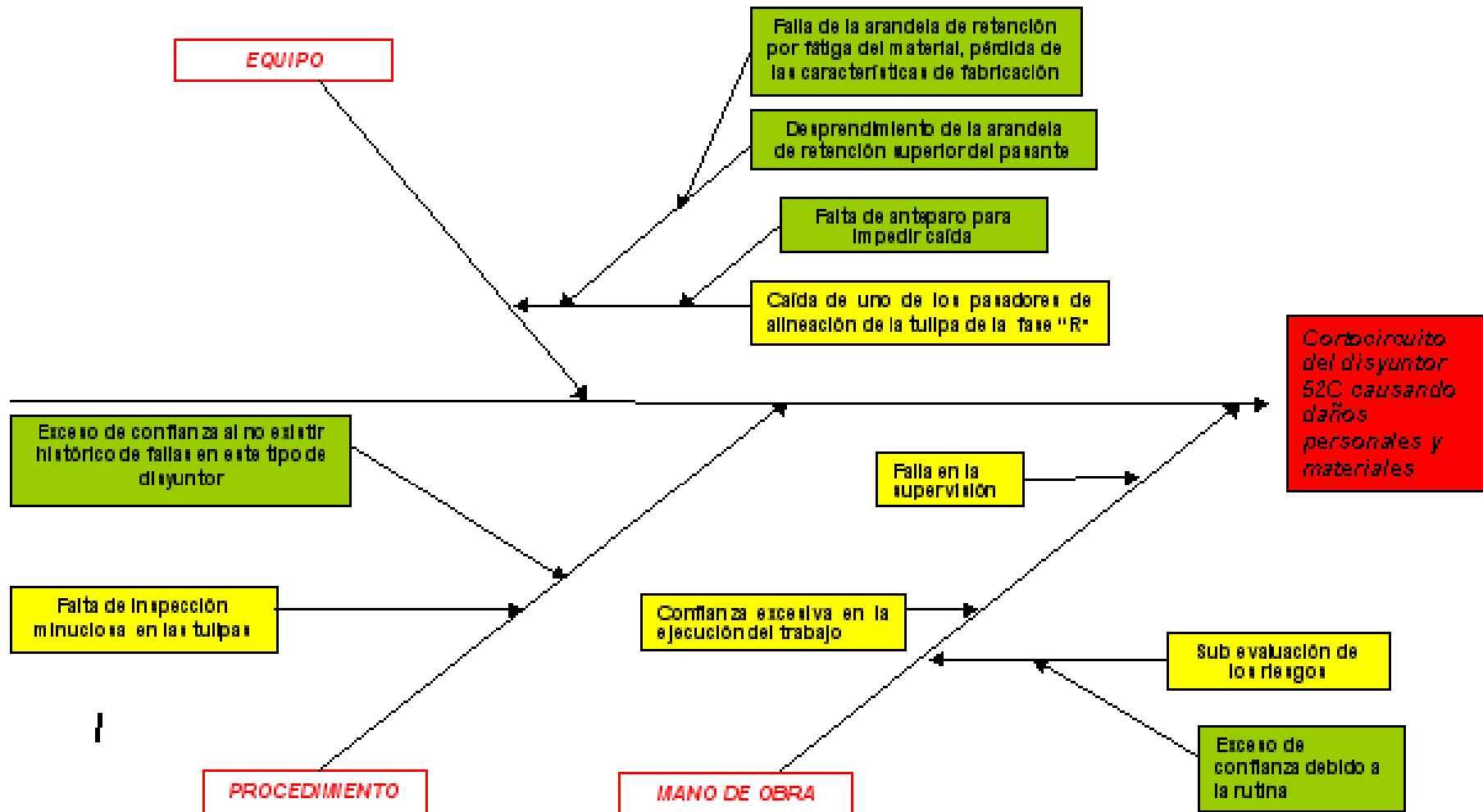
4.3. Causa probable de la falla:

Se estima que la arandela de retención (traba), ya sea por el tiempo de uso, fatiga del material, pérdidas de las características de fabricación tuvo una relajación gradual durante las maniobras y en el momento de inserción al final del referido mantenimiento se desprendió, hecho que permitió el deslizamiento del pasador hasta la base del nicho lo que provocó el cortocircuito mencionado. También se supone que el pasador no se desprendió de inmediato, lo que explicaría el hecho de no haber sido percibido durante la inspección antes de su inserción al nicho.

Obs:

- 1) Los tirantes trabajan libres dentro de la tulipa, no teniendo mayores esfuerzos sobre la traba, que son montadas en los extremos de los mismos. Existen 12 tirantes por interruptor (24 trabas) y se tienen mas de 200 interruptores que poseen este sistema en la CHI. No existe ningún registro de problemas con estos tirantes/trabas, considerando en esta evaluación los últimos 20 años.
- 2) Dado que los tirantes trabajan libre dentro de los dedos de presión, se da por seguro que el desprendimiento de la traba ocurrió durante este mantenimiento preventivo.

4.4. Diagrama Causa - Efecto



5. DAÑOS OCACIONADOS

5.1 Daños materiales:

Interruptor 460V: marca: Marini Daminelli, tipo: DS – 3200 A.

Daños generalizados.

Nicho del Interruptor 52C: quemado del cableado de control, quema de las canaletas de los conductores, quema de bornes, quema de soquetes, daños en la pintura.

Barras de 460V: Derretimiento en la región de la conexión con el interruptor, daños en los tornillos de fijación de las barras.



Figura 7



Figura 8



Figura 9

Figuras 7, 8 y 9 Vistas del interruptor siniestrado



Fig 10 y 11 Vista del nicho del interruptor antes y después del siniestro



Fig. 12 Barras siniestradas

5.2 DAÑOS PERSONALES:

El técnico que realizaba la inserción del disyuntor sufrió quemadura leve en el rostro y quemadura de 2º grado en los antebrazos y manos, fue auxiliado inmediatamente y trasladado al hospital, quedando internado por precaución durante unos días, el otro asistente sufrió quemaduras leves en el rostro y quemaduras en los antebrazos y manos, después de recibir los primeros auxilios fue dado de alta.

6. ACCIONES TOMADAS PARA EVITAR ACCIDENTES SIMILARES

- 6.1** Divulgación del accidente en todo el Departamento de Mantenimiento, dando especial énfasis a las consecuencias que puede ocasionar un descuido, falta de atención, exceso de confianza del personal en función de la rutina del trabajo.
- 6.2** Inspección en todos los 235 interruptores 460 V, tipo DS de fabricación Marini & Daminelli instalados en los cuadros eléctricos del área industrial de la CHI, no encontrándose ninguna anomalía que pudiera ocasionar inmediatamente problemas similares en los mismos.
- 6.3** Realizada sustitución de la arandela lisa por una arandela con rebaje, en total fueron cambiadas 5640 arandelas, de forma a dificultar su desprendimiento. Aplicación de un adhesivo químico (cianoacrilato, monocomponente), de media viscosidad y cura rápida especificado para superficies metálicas, ref. (Loctite 496) a los anillos de retención de forma a asegurar su permanencia.

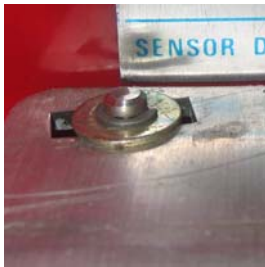


Fig. 13 Conjunto pasador-anillo de retención-arandela sin rebaje



Fig. 14 Arandela con rebaje



Fig. 15 Conjunto pasador-anillo de retención-arandela con rebaje colocados en el interruptor

- 6.4** Instalación de un anteparo de plástico en la parte inferior de la tulipa para impedir la caída del pasador en caso de desprendimiento de la arandela de retención. Fueron instalados 1420 anteparos.



Figuras 16 y 17 Vista del anteparo de plástico colocados a todos los interruptores de modo a evitar la caída del pasador

6.5 Utilización de **EPI's** específicos (equipo de protección individual), durante los trabajos de mantenimiento que requieran extracción e inserción de interruptores con las barras energizadas.

- **Vestimenta de seguridad tipo capa.** Protección al usuario contra agentes térmicos (calor o llamas, salpicaduras durante trabajos de soldadura) Confeccionada en nomex, meta aramida, para-aramida o aramida Carbono. Tejido con aplicación de retardante de llamas, con ajustes y cierres a través de botones, elásticos y pana forrada, internamente confeccionado con el mismo tejido de la parte externa y con barreras térmicas antillamas e impermeables.
- **Guantes de seguridad.** Protección de las manos y antebrazos contra agentes térmicos (altas temperaturas) Confeccionada en tejido de nomex, meta aramida, para-aramida o aramida Carbono.
- **Vestimenta de seguridad para protección del cráneo, cuello, nuca y cara** del usuario contra riesgos de origen térmico y salpicaduras de materiales incandescentes. Confeccionado con tejido de nomex, meta aramida, para-aramida o aramida carbono, compuesto con un casco interno, confeccionado en polietileno o celeron, con lente en policarbonato de alto impacto.



Fig.18 Vestimenta de seguridad



Fig 19 y 20 Personal técnico introduciendo el interruptor durante el mantenimiento de los mismos

7. Conclusión:

El accidente de trabajo ocurrido con sus daños materiales y principalmente los daños personales nos debe concientizar de que, tanto los técnicos, ingenieros y gerentes son responsables de detectar posibles puntos críticos dentro de la instalación y equipamientos. Igualmente, las actitudes personales que puedan conducir a una falla y por consiguiente a los accidentes, así como, la importancia de utilizar los equipos de protección adecuados para cada trabajo de mantenimiento.

8. Referencia:

- **RAS SMMG.DT/0002/2004** (Relatorio de Anomalia en Servicio)