

Gerenciamiento de trabajos de alto riesgo. Caso de éxito: tablero de generación - 34,5 kV en la Refinería de Cartagena.

Ecopetrol S.A. – Vicepresidencia de Refinación y Procesos Industriales

Johnny Torres, Líder de Sistema de Potencia, Refinería de Cartagena

Manuel Ríos, Integrador Confiabilidad Eléctrica, Refinería de Cartagena

Tulio Lopez, Coordinador de Control de Potencia, Refinería de Barrancabermeja

Resumen—La planificación y aplicación de procedimientos previamente establecidos para trabajos que implican un alto riesgo para las personas y/o la producción, es de vital importancia para la culminación satisfactoria de los mismos, ya que de esta manera se analizan de forma integral los riesgos, su mitigación y se garantiza la divulgación a todos los implicados. La directriz 31 de Ecopetrol, es un procedimiento estructurado para asegurar todas las etapas mencionadas, estableciendo una guía en todas las fases, desde la formulación del problema hasta su ejecución y cierre. En el caso de la especialidad eléctrica se hace más crítico asegurar este proceso, ya que por la característica física de la electricidad, cualquier error o actividad no planeada adecuadamente puede originar accidentes con afectación a personas o pérdidas cuantiosas a la producción.

El presente artículo presenta el caso de éxito de la Refinería de Cartagena en la implementación del gerenciamiento de trabajo de alto riesgo.

Palabras claves—trabajo de alto riesgo; gerenciamiento; planeación estructurada.

I. INTRODUCCIÓN

La Refinería de Cartagena, uno de los complejos industriales más grandes de Colombia, cuenta con un sistema de generación eléctrica conformado por siete generadores: tres turbo-generadores a gas (GTG) con calderas de recuperación en ciclo combinado de 37,5 MW y cuatro generadores a vapor (STG) de 20 MW cada uno; dos de condensación total y dos de contrapresión. Estos generadores se conectan a través de un transformador de generación 13,8 kV/34,5kV al tablero principal de generación, dicho tablero es de topología de doble barra acoplada (A y B) con doble interruptor. Desde este tablero se suministra toda la energía eléctrica a la Refinería.

En la Vicepresidencia de Refinación y Procesos Industriales (VRP) de Ecopetrol, existe una práctica para el direccionamiento técnico de los negocios de Refinación, dicha práctica consiste en la implementación de Autoridades Técnicas por especialidad, las cuales no dependen de una persona sino de un grupo de especialistas con altas competencias y de diferentes áreas del negocio (Mantenimiento, Proyectos, Confiabilidad, Gestión de Riesgos, etc.), este grupo da el direccionamiento técnico y táctico de cada especialidad, que incluye análisis a problemas de alta complejidad y aseguramiento de procesos y desempeño de los activos.

El 30 de octubre de 2017 la Refinería de Cartagena tuvo un evento de falla de energía, debido a un corto circuito en uno de las celdas de 34,5 kV del tablero principal de generación. Durante el análisis del evento se evidencio que estuvo asociado a una falla en los bushing de una de las celdas de reserva, y sin aparente razón ocurrió la falla eléctrica en los tres bushing que conectan la celda con la barra B de dicho tablero. El día del evento se analizaron las partes falladas y se intentó su extracción pero debido a los daños ocasionados en los mecanismos de fijación de los bushing, no fue posible extraerlos, simplemente se desconectó del barraje principal de la parte de la barra afectada por la falla y se procedió a energizar nuevamente para el arranque de la Refinería.

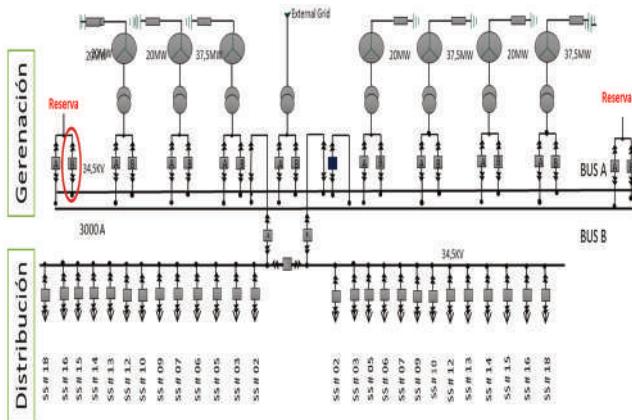


Fig. 1. Unifilar general de Reficar 34,5 kV.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Después de superada la falla y realizado parcialmente el Análisis de Causa Raíz, incluyendo consultas con el fabricante y desarrollo de planes de mitigación, se tuvo a la necesidad de extraer los bushing, ya que todo apuntaba a que podía estar relacionado con el origen de la falla, y se requerían para el análisis en laboratorio por parte del fabricante con el fin de definir la causa raíz del problema, ya que durante el análisis de la misma se descartó problemas de contaminación, humedad, animales u objetos extraños como causa.

Adicionalmente durante la falla se evidencio que la protección diferencial de barras no actuó, por lo cual también se requería realizar una prueba al relé para identificar la causa de su no actuación, ya que se habían verificado los parámetros y según estos el relé debía haber operado.



Fig. 2. Celda fallada en tablero de generación.

Para sacar los elementos causantes de la falla, los bushings, se debía ingresar al tablero energizado, al revisar los estudios de corto de arco eléctrico, este tablero tiene una energía incidente de 289 cal/cm², con esta energía no se puede ingresar al tablero, ya que está por encima de la energía límite establecida en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas en Colombia - RETIE y las prácticas de seguridad eléctrica recomendadas por la NFPA-70E, las cuales permiten trabajos en tableros energizados con energía de arco hasta 40 cal/cm². Esta condición no permitía avanzar con el análisis de la causa raíz de la falla, ya que la alternativa para sacar los bushing era desenergizar el tablero, lo cual llevaba a apagar la Refinería en su totalidad para ejecutar esta actividad, esto significaba un impacto al negocio mayor a 10M USD, valorado VH por monto económico, según la matriz de riesgo de Ecopetrol. Por otro lado, el ejecutar la actividad sin desenergizar el tablero, el riesgo era valorado VH por seguridad a las personas.

Con el panorama anterior se tenían las siguientes alternativas para esta situación, todas con un riesgo VH (ver figura 3).

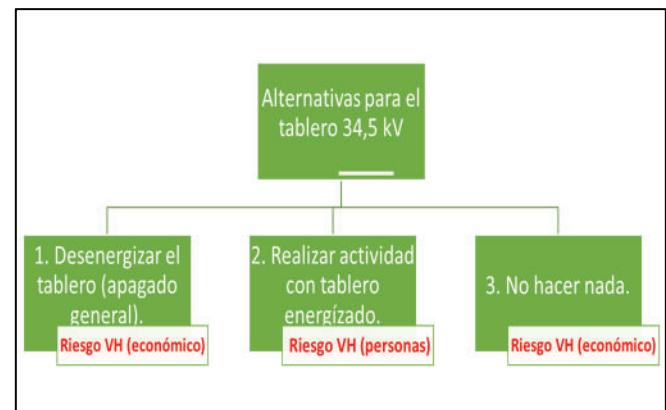


Fig. 3. Alternativas para tablero 34,5 kV

El reto para el equipo de la Autoridad Técnica de la Refinería era poder cumplir con el objetivo de retiro de bushing con un riesgo tolerable y las mitigaciones necesarias para los mismo, ya que para la compañía no era viable una alternativa con un riesgo H o VH.

III. SOLUCIÓN PROPUESTA

Luego de análisis conjunto de las Autoridades Técnicas de las Refinerías de Cartagena y Barrancabermeja, se llegó a una alternativa diferente a la desenergización del tablero, se propuso bajar los niveles de energía incidente, modificando el escenario base, es decir, utilizando la menor cantidad de fuentes aportantes en caso de un corto circuito y bajando los tiempos de la protección instantánea. Con base a esto y aprovechando que una de las unidades de proceso en parada técnica, se propuso operar la Refinería con el menor número de generadores eléctricos posible, los mínimos para cubrir la demanda eléctrica, lo cual requería sacar de servicio cuatro de estos, y operar con solo tres generadores y la red externa, con esto se logaría bajar el nivel de corto circuito de 27 kA a 16 kA. Con todas estas acciones se podía reducir la energía incidente del arco a 34 cal/cm², permitiendo ya poder trabajar con los EPP's permitidos para tal fin. Con estos controles la valoración del riesgo de la actividad bajaba de VH a M. Ver figura 5.

- (1) The maximum “bolted fault” three-phase short circuit current available at the equipment
- (2) The total protective device clearing time (upstream of the prospective arc location) at the maximum short circuit current
- (3) The distance from the arc source
- (4) Rated phase-to-phase voltage of the system:

$$E = \frac{793 \times F \times V \times t_A}{D^2}$$

where:

E = incident energy, cal/cm²

F = bolted fault short circuit current, kA

V = system phase-to-phase voltage, kV

t_A = arc duration, seconds

D = distance from the arc source, inches

Fig. 4. Calculo de energía incidente (NFPA-70E).

Operar con la mínima generación y con las protecciones eléctricas en tiempos instantáneos implicaba poner en alto riesgo la estabilidad del sistema de potencia ante cualquier perturbación, como por ejemplo: disparo de un generador, disparo de la red externa o un cambio brusco en la carga. Por lo anterior, la Autoridad Técnica Eléctrica decidió aplicar el procedimiento de

trabajo de alto riesgo (directriz 31), que es una

mejor practica de Ecopetrol para asegurar de manera integral la planeación rigurosa, divulgación, ejecución y cierre de las actividades (ver figura 6.).

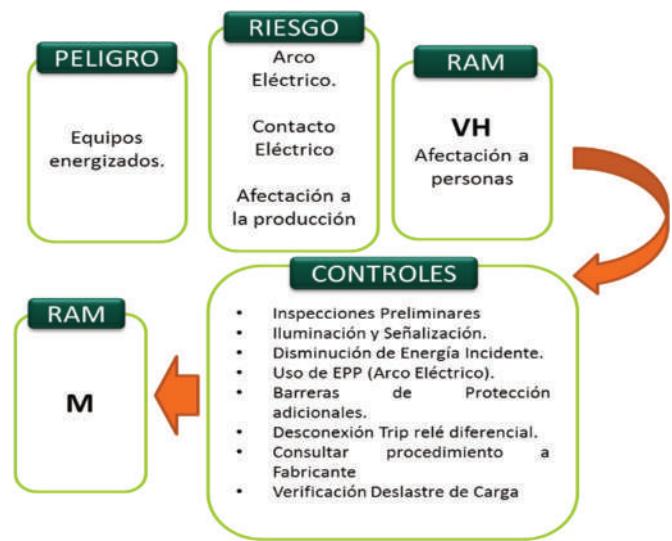


Fig. 5. Mitigación del riesgo de la actividad.

IV. EJECUCIÓN DE LA ACTIVIDAD

Para la ejecución de la actividad se elaboraron todos los procedimientos por el mismo personal que realizaría la labor, además se realizaron varias sesiones de reto de los mismos. Se llevaron a cabo sesiones de análisis en la Autoridad Técnica de Electricidad. Se realizaron análisis de riesgos y controles con la Mesa de Seguridad Eléctrica de Ecopetrol y el equipo integrado del Departamento de Servicios Industriales. Se socializó el alcance de los trabajos al grupo Gerencial de la Refinería y se solicitó su aprobación, así se definió la fecha y hora para dar comienzo. Se divulgaron los procedimientos de la actividad a los Jefes de Turno y equipo de operaciones. Finalmente se realizó la ejecución de la actividad con un equipo conformado por las Gerencias de Mantenimiento, Producción y Técnica, apoyado por consultores externos y el Departamento de Gestión del Riesgo. Todo lo anterior con base a lo establecido en el procedimiento de trabajos de alto riesgo.

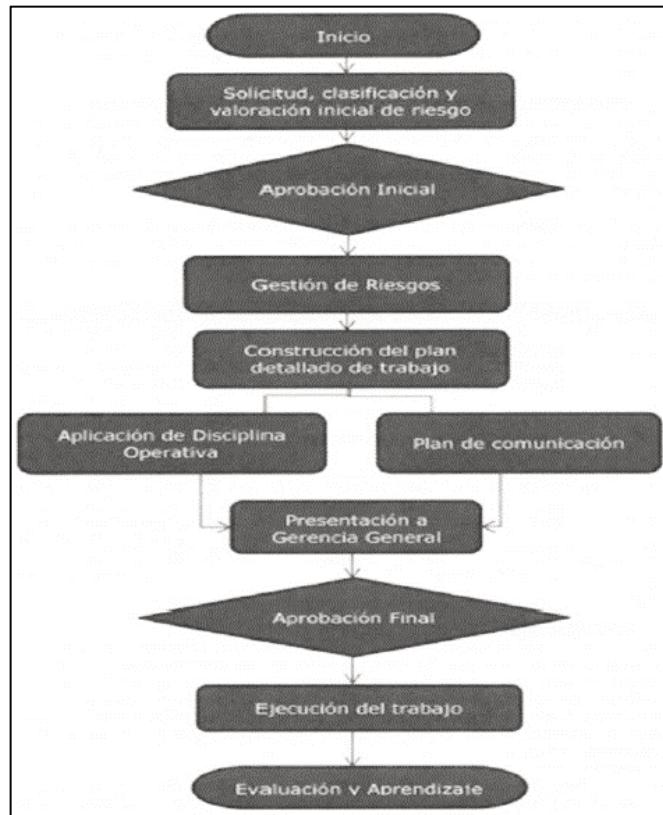


Fig. 6. Diagrama de flujo para directriz 31.

La ejecución de la actividad se centró en tres puntos principales: primero el ajuste de la operación al escenario de mínima generación y ajuste a las protecciones eléctricas, segundo la extracción de los bushing fallados y tercero la prueba a los relés de protección diferencial.

A. Ajuste a mínima generación y protecciones.

Para llevar la Refinería al escenario de mínima generación y ajuste a las protecciones instantáneas a 0 ms, se llevó un proceso de información a todo el equipo de operadores de las diferentes plantas de proceso, de tal forma que se evitar realizar arranques de equipos eléctricos de gran tamaño durante la maniobra y coordinar el arranque de equipos medianos y pequeños. Adicionalmente se creó una estructura organizacional de comunicaciones, con el fin de determinar los canales durante todos los trabajos y en el caso de un imprevisto.

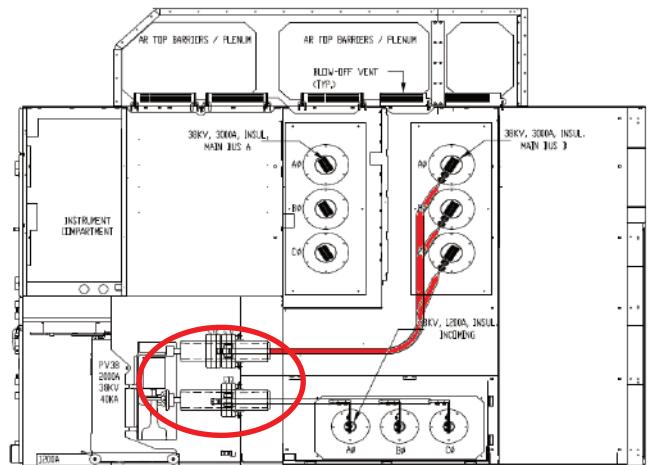


Fig. 6. Vista lateral de la celda fallada 34.5 kV.

B. Extracción de los bushing.

Para la extracción de los bushing se realizó transferencia de todos los generadores a la barra A, de tal forma que se liberará la barra B, que es la asociada a la celda fallada, de esta forma se minimizaba el riesgo de contacto eléctrico, a pesar de que por el diseño del tablero cada una de las barras A y B estaban confinadas en un compartimiento metálico. La extracción de los bushing demoró alrededor de 40 minutos, aplicando de manera estricta los procedimientos realizados previamente. Los ejecutores utilizaron traje de protección contra arco eléctrico de 65 cal/cm².

La ejecución de esta actividad fue muy importante para avanzar en la investigación de la causa raíz de la falla general de energía del 30 de junio.

C. Pruebas a relé diferencial.

Las pruebas al relé diferencial se realizaron una vez extraídos los bushing, se identificó la causa de la no actuación del relé durante la falla, dicha causa estaba asociada a la tecnología de alta impedancia del relé diferencial, que ante ciertas fallas no percibe la corriente secundaria real proporcional a la falla. Esto se verificó inyectando las corrientes de fallas del evento del blackout. El plan de acción propuesto para la mejora de esta condición fue el cambio de tecnología de los relés.

Una vez terminados los trabajos se procedió a normalizar el sistema de generación eléctrica y de protecciones, los bushing fueron extraídos con éxito y no ocurrió ningún incidente de seguridad a las personas o a la producción durante la ejecución. Se lograron los dos objetivos del trabajo: retirar los bushing para diagnóstico del fabricante y determinar el problema en el relé diferencial de barras.



Fig. 7. Bushing extraídos en celda fallada.

V. CONCLUSIONES Y APRENDIZAJE.

- El modelo de Autoridad Técnica y la aplicación del procedimiento de trabajos de alto riesgo, es de gran ayuda para asegurar la exitosa ejecución de las actividades, ya que se garantiza la divulgación, análisis de riesgos, formulación de alternativas, aprobaciones y controles durante todo el proceso, desde la identificación del problema hasta su cierre.
- La planeación estructurada y el contar con un plan definido de comunicaciones es parte fundamental para el desarrollo y culminación con éxito de un trabajo de alto riesgo.
- La divulgación y sesiones de reto a las actividades de alto riesgo por parte del Grupo Gerencial, Autoridad Técnica, Equipo Integrado y Operaciones, asegura el análisis integral de riesgos y los controles necesarios que se deben tener en cuenta al momento de la ejecución.

La definición de Autoridades Técnicas en los negocios y su trabajo integrado, ayuda asegurar las mejores prácticas en la industria y a resolver problemas de alta complejidad brindando una mejor soporte técnico de alto nivel a la compañía.

VI. RECONOCIMIENTO AL EQUIPO DE TRABAJO

Reconocimiento al equipo de trabajo que participó activamente en las fases de identificación del problema, planteamiento de la solución, planeación y ejecución de los trabajos, por su compromiso, dedicación, trabajo en equipo y alto desempeño durante el desarrollo de esta actividad:

- **Angel Cabeza**, Supervisor Mtto Proactivo
- **Oscar Herrera**, Electricista
- **Victor Jaraba**, Electricista
- **Roberto Ramirez**, Electricista
- **Germán Polanco**, Electricista
- **Jorge Lara**, Ingeniero de Confiabilidad
- **Atilio Sanchez**, Ingeniero de Protecciones
- **Félix Lopez**, Ingeniero Especialista
- **Manuel Ríos**, Integrador Conf. Eléctrica
- **Johnny Torres**, Líder Sistema de Potencia
- **Gustavo Guevara**, Ing. de Consola EMCS
- **Diego Petro**, Líder S. Industriales
- **Tatiana León**, Ingeniera Soporte CDI
- **Jonathan Londoño**, Ing. Consultor IEB
- **Luis Giraldo**, Ingeniero Consultor IEB
- **Jorge Cano**, Ingeniero Consultor IEB

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al grupo Gerencial de la Refinería de Cartagena por sus aportes, apoyo, dedicación y participación durante el proceso de planeación y aprobación de las actividades:

- **Pablo Motta**, Gerente Técnico
- **Ernesto Gómez**, Gerente de Producción
- **Carlos Giraldo**, Gerente Administrativo
- **Walter Canova**, Vicepresidente Operaciones

REFERENCIAS

- [1] NFPA 70E, “*Standard for Electrical Safety in the Workplace*” 2015.
- [2] RETIE, *Reglamento Técnico Colombiano de Instalaciones Eléctricas*.
- [3] RFN-G-1904, *Guía para la ejecución de maniobras complejas o de alto riesgo* – Directriz 31. Documento Ecopetrol 2015.
- [4] RFN-M-036, *Manual de operación del sistema eléctrico de potencia de la Refinería de Cartagena*. Documento Ecopetrol. 2017.

JOHNY TORRES MANJARRES: Ingeniero Electricista de la Universidad del Norte, Especialista en Sistemas de Potencia. 12 años de experiencia en el sector de Refinación. Dentro de Ecopetrol S.A. se resaltan sus cargos como Ingeniero de Confiabilidad Eléctrica en la Refinería de Cartagena, Especialista Eléctrico asignado al Proyecto de Ampliación de la Refinería de Cartagena en las etapas de Ingeniería, Pre-comisionamiento, Comisionamiento, Arranque y Estabilización. Actualmente se desempeña como Líder del Sistema de Potencia de la Refinería de Cartagena.

Co-autores:

MANUEL RÍOS ARRIETA: Ingeniero Electricista de la Universidad Tecnológica de Bolívar, Especialista en Sistemas de Potencia. 15 años de experiencia en el sector de Refinación. Dentro de Ecopetrol S.A. se resaltan sus cargos como Ingeniero de Confiabilidad Eléctrica y Líder Integrador de Confiabilidad Eléctrica de la Refinería de Cartagena, cargo que desempeña en la actualidad.

TULIO LOPEZ CORTES: Ingeniero Electricista de la Universidad Tecnológica de Pereira. 26 años de experiencia en el sector de Refinación. Dentro de Ecopetrol S.A. se destacan sus cargos como Ingeniero de Mantenimiento, Ingeniero de Confiabilidad Eléctrica, Coordinador de Confiabilidad eléctrica, actualmente se desempeña como Coordinador de Control y Distribución de Potencia de la Refinería de Barrancabermeja.