

Confiabilidad Humana, Impactos Y Alternativas De Mitigación En El Mantenimiento De Instalaciones Eléctricas En Alta Tensión

Gerardo Guerra García

Carrera 9 No. 73 – 44. PBX. 3268000 Ext. 1812

Email: gguerra@geb.com.co

Bogotá, D.C. – Colombia

Resumen

Este trabajo busca presentar un análisis del impacto que genera el error humano, en la realización de las pruebas y actividades de mantenimiento en general, sobre instalaciones eléctricas en alta tensión, enfatizando en las subestaciones asociadas al sistema de transmisión nacional (STN). Adicionalmente se busca proponer una estrategia de mitigación que resalta el valor de la formación externa y la autoformación, como pilar de gran relevancia para las organizaciones.

Palabras Claves

Confiabilidad humana, Mantenimiento, STN, Subestación, Alta tensión, Colaborador.

Introducción

La energía eléctrica es uno de los pilares fundamentales del desarrollo de la sociedad a nivel mundial, apalancando la ejecución efectiva de procesos tan diversos, que van desde los más complejos sistemas productivos, hasta el simple hecho de garantizar el confort en los hogares y la accesibilidad a las herramientas tecnológicas. Por tanto, las instalaciones eléctricas tienen un rol superlativo en el mundo actual.

El mantenimiento de las instalaciones eléctricas en alta tensión ha venido evolucionando a través del tiempo, con la implementación cada vez más fuerte de herramientas tecnológicas que permiten optimizar las actividades a ejecutar, sin embargo el factor humano sigue siendo un elemento de gran impacto en la confiabilidad

de los procesos y de los equipos que hacen parte de los sistemas eléctricos de potencia.

La confiabilidad humana y la gestión del conocimiento de las personas que participan de las actividades de mantenimiento y pruebas en instalaciones eléctricas en alta tensión y en general en cualquier proceso productivo, debe constituirse en un hito relevante en la búsqueda de las organizaciones por alcanzar los objetivos tanto tácticos, como estratégicos y encaminarse de esta forma, a prácticas permitan alcanzar los estándares de las organizaciones de clase mundial.

Este documento presenta un contexto teórico asociado a la confiabilidad humana y un resumen de las principales actividades de mantenimiento, que involucran pruebas de los equipos eléctricos en instalaciones de alta tensión, con énfasis en subestaciones eléctricas (interruptores, seccionadores, equipo inductivo, sistemas de control y protecciones, entre otros). Posteriormente se analiza el impacto del error humano en la realización de las pruebas técnicas y en los diferentes procesos, tácticos y estratégicos. Adicionalmente se nombran algunas estrategias de mitigación del error humano y finalmente se hará énfasis en la formación como generador de valor, a través de una cultura organizacional de enseñar para aprender y reforzar conocimientos. En este punto se mostrara una estrategia en que los responsables de pruebas y actividades de mantenimiento se conviertan en transmisores de conocimiento para sus compañeros, al

tiempo que refuerzan sus conocimientos sobre pruebas y tareas específicas que realizan, dando un valor agregado a su función.

Confiabilidad humana

La confiabilidad humana analiza el error humano y sus impactos en la productividad, seguridad y calidad, adicionalmente plantea estrategias para prevenirlo, mitigarlo y/o gestionarlo. Los conocimientos adquiridos no solamente sirven para implementarlos en forma sistémica, sino que los técnicos, supervisores, ingenieros y gerentes de mantenimiento, pueden aprovechar este conocimiento para mejorar la toma de decisiones en el día a día y mejorar también los procesos internos de ejecución de actividades [1].

Dentro de los procesos asociados al mantenimiento de instalaciones eléctricas en alta tensión, gran parte de las actividades y rutinas de prueba e inspección están altamente influenciadas por el comportamiento humano, por tanto la probabilidad de que este se presente, implica la necesidad de herramientas de gestión que permitan mitigar sus impactos.

Un análisis de confiabilidad humana básicamente busca [2]:

- Identificar el error humano, determinando los errores que pueden ocurrir a causa del personal.
- Cuantificar el error humano, determinando de qué forma y en qué cantidad se puede presentar.
- Reducción del error humano, mejorando su impacto en las diferentes etapas que influyen en el mantenimiento, a través de estrategias que buscan la reducción de la probabilidad de ocurrencia.

La confiabilidad humana está asociada a una serie de factores que influyen en el desarrollo

de las actividades y la ejecución apropiada de las mismas, se pueden mencionar:

- Entrenamiento.
- Experiencia.
- Documentación asociada a la actividad.
- Motivación de personal.

Estos factores hacen parte de lo que debe ser una cultura organizacional encaminada a la gestión estratégica de la confiabilidad humana.



Fig. 1 – Cultura organizacional de gestión de la confiabilidad humana.

El entrenamiento del personal en las tareas a ejecutar constituye una herramienta fundamental para mitigar los riesgos inherentes a la realización de las actividades, riesgos que se producen en todos los ámbitos: Seguridad, calidad, financiero, operativo, estratégico.

La experiencia del personal constituye una poderosa fuente de información para la mejora continua de los procesos asociados al mantenimiento, y es por lo tanto, uno de los puntos claves que es necesario aprovechar, para incentivar comportamientos apropiados transferencia de conocimientos que permitan disminuir la probabilidad de la ocurrencia del error humano.

La motivación del personal es fundamental y una de las causas más incidentes en el error humano, de allí la importancia que los colaboradores conozcan claramente la

relevancia de su trabajo para compañía y como su papel es fundamental en el alcance de los objetivos estratégicos que se han planteado.

El soporte documental constituye la base de la construcción de conocimiento estandarizado en las tareas a realizar, el contar con procedimientos, instructivos y documentos de gestión bien orientados, permite que los colaboradores en todo momento puedan refrescar conocimientos, aclarar dudas y también aportar a la mejora continua mediante el aporte de sus experiencias para mejorar la documentación disponible.

Naturalmente existen otros muchos factores que se podrían citar y que además tienen impactos sobre la confiabilidad humana, como pueden ser por ejemplo, el clima laboral, situaciones personales, entre otros, pero se han seleccionado los anteriormente mencionados, dado que de una u otra manera contienen inmersos, aquellos que aparentemente no se mencionan.

Mantenimiento de subestaciones eléctricas en alta tensión

En el ámbito del mantenimiento de subestaciones eléctricas en alta tensión y en general de la mayoría de los procesos productivos, la participación humana constituye un elemento intensivo que impacta directamente en las salidas de dichos procesos. Las actividades más comunes que se realizan a lo largo del ciclo de vida de los activos para las subestaciones asociadas a la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica y que por supuesto son susceptibles al error humano son los siguientes:

- Inspecciones.
- Pruebas o ensayos de aceptación en fábrica.

- Pruebas o ensayos de aceptación en sitio (subestación).
- Pruebas o ensayos para puesta en servicio de la instalación.
- Pruebas de rutina o periódicas por mantenimiento.
- Tareas propias del mantenimiento.

Estas acciones se realizan a nivel general de una instalación (como puede ser caso de las inspecciones generales de la subestación o la línea de transmisión) o a nivel específico (como es el caso del mantenimiento de un interruptor de potencia aislado en SF6).

Para hacer más detallada la clasificación de actividades a los diferentes equipos y sistemas, definimos los siguientes focos de acción:

- Equipos de potencia.
- Sistemas de control y protecciones.
- Enlaces de telecomunicaciones.

Existen otros sistemas adicionales, como el caso de servicios auxiliares, entre otros, pero para este análisis se hará referencia solo a los antes mencionados.

Equipos de potencia o equipos de patio

Conformado por los siguientes equipos:



Fig. 2 – Vista del patio y equipos de potencia en una subestación eléctrica de alta tensión [3].

- Transformadores de potencia.

- Transformadores de medida.
- Transformadores de puesta a tierra.
- Reactores.
- Bancos de compensación de reactivos.
- Seccionadores.
- Interruptores.
- Descargadores de sobretensiones.

A lo largo del ciclo de vida de estos equipos se realizan una gran cantidad de actividades, entre las que se pueden listar en forma general y a modo de ejemplo, los siguientes ensayos o test:

- Relación de transformación.
- Resistencia de contactos.
- Resistencia de devanados.
- Aislamiento en corriente alterna.
- Aislamiento en corriente continua.
- Ensayos de corrientes de fuga.
- Ensayos del sistema de puesta a tierra.
- Ensayos de calidad de gas.
- Aislamiento de aceite dieléctrico.
- Tiempos de operación.
- Ensayos de consumo de motores de mecanismos de operación.
- Etc.

Sistemas de control y protecciones



Fig. 3 – Tablero de control y protecciones en una subestación eléctrica de alta tensión [4].

- Relés de protección (Líneas, barras, transformadores, reactores, bancos de compensación, generadores, etc).
- Teleprotecciones.
- Registradores de falla.
- PMU's
- Controladores de bahía.
- Controladores de subestación.
- Etc.

A lo largo del ciclo de vida de estos equipos se realizan una gran cantidad de actividades, entre las que se pueden listar en forma general y a modo de ejemplo, los siguientes ensayos o test:

- Pruebas estáticas de las diferentes funciones de protección (87B, 87L, 87T, 21, 67, 67N, 50, 51, 51N, 50BF, 68, 27, 59, 46, 32, etc).
- Pruebas dinámicas a través de archivos comtrade de las diferentes funciones de protección (87B, 87L, 87T, 21, 67, 67N, 50, 51, 51N, 50BF, 68, 27, 59, 46, 32, etc).
- Pruebas de envío y recepción de señales.
- Pruebas de comandos.
- Pruebas de señalización.
- Verificación de lógicas.
- Etc.

Enlaces de telecomunicaciones

- Equipos multiplexores SDH.
- Equipos multiplexores PDH.
- Conversores de medio.
- Equipos de onda portadora.
- Enlaces de fibra óptica.
- Etc.

A lo largo del ciclo de vida de estos equipos se realizan una gran cantidad de actividades asociadas, entre las que se pueden listar las siguientes:

- Pruebas Bit-Error-Rate (BER).
- Pruebas de atenuación en fibra.
- Pruebas pérdida de paquetes.

- Pruebas de ancho de banda.
- Pruebas de nivel de potencia.
- Mediciones de sensibilidad.
- Etc.

En general para los diferentes sistemas mencionados, la componente humana en la ejecución de ensayos y actividades de mantenimiento en las diferentes etapas del ciclo de vida del activo, genera la ineludible posibilidad de un impacto negativo, a consecuencia del error humano (confiabilidad humana).

Impacto del error humano en la realización de pruebas y actividades de mantenimiento en instalaciones eléctricas en alta tensión.

Como se ha venido mencionando en este documento, la alta componente humana en la interacción con los sistemas eléctricos de potencia y específicamente en la tareas del mantenimiento de los activo, genera riesgos que deben ser gestionados desde el puntos de vista de la confiabilidad humana. En la figura 4 podemos ver por ejemplo, la estadística de la NERC (North American Electric Reliability Corporation), en cuanto a fallas de los sistemas de protección de líneas de transmisión de energía entre los años 2007 y 2010, es de apreciar que en las columnas 1 y 5 del gráfico las operaciones inapropiadas de los equipos de protección que son aplicables a errores humanos, bien sea en la configuración de los equipos o en las tareas rutinarias sobre los mismos [5].

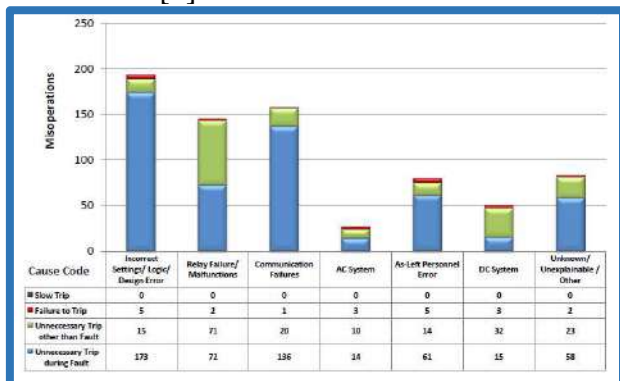


Fig. 4 – Errores de operación equipos de protección de líneas de transmisión por categorías (2007 – 2010).

Los errores humanos en el mantenimiento se presentan por muchas causas como:

- Falta de conocimiento en la tarea a ejecutar, por falta de entrenamiento, reentrenamiento.
- Falta de competencias específicas para la ejecución de la tarea.
- Falta de documentación y herramientas de soporte.
- Desmotivación.
- Condición anímica.
- Conciencia situacional.
- Exceso de confianza por ejecución mecanizada de actividades.
- Falta de trabajo en equipo.
- Falta de aseguramiento de la calidad de la información generada en las actividades.
- Etc.

Esta condición genera a su vez una serie de impactos que es necesario analizar:

Impacto sobre la seguridad de los propios colaboradores y las instalaciones intervenidas.

Existen actividades críticas debido a los riesgos asociados al error humano y por ende requieren de una gestión basada en una cultura organizacional sólida, que garantice el aseguramiento de la calidad de las actividades ejecutadas.

Como ejemplo de este tema podemos tomar como referencia, actividades que implican la manipulación de sustancias nocivas o tóxicas, o actividades de manipulación de borneras asociadas a circuitos de corriente en sistemas de protección de sistemas de potencia. Las consecuencias de los errores humanos pueden llevar al derrame de sustancias con afectación del medio ambiente, personas e instalaciones, o en el caso de las borneras de corriente, un

circuito secundario abierto en un tablero de protección puede generar graves quemaduras a los colaboradores, destrucción de los equipos, junto con el resto de consecuencias de otras índoles.

Impacto a nivel operativo del sistema intervenido.

El error humano puede llevar a la salida de servicio de los activos por una mala ejecución de las actividades de mantenimiento, con materialización dentro de la misma actividad o posterior a la puesta en servicio nuevamente del activo, esto conlleva los respectivos reprocesos, sobre costos y penalizaciones que en el caso del sector eléctrico son bastante fuertes en los casos en que se produce demanda no atendida y energía no suministrada.

Impactos sobre la calidad de la información que se introduce al software de gestión del mantenimiento y la toma de decisiones sobre acciones a ejecutar.

Muchas veces los errores humanos se no se presentan en la ejecución de la actividad, sino al momento de consignar los datos referentes al trabajo realizado, bien sea en forma manual o a través de herramientas tecnológicas. Este es un tema de especial interés dado el impacto negativo a diferentes escalas dentro de la organización. Estos errores afectan la coherencia en la trazabilidad de la información, de tal forma que en el momento de hacer un análisis del estado de los equipos, dentro del ciclo de vida que se ha proyectado para ellos, se pueden tomar elementos de juicio erróneos o simplemente la distribución de los resultados obtenidos no permite realizar el análisis.

Como ejemplo de este tema, lo siguiente: Suponga que se lleva la trazabilidad de pruebas sobre un interruptor de potencia en una subestación del STN, se mantiene un

registro de las actividades realizadas a lo largo de 7 años. Durante un evento transitorio sobre el sistema de potencia, se presenta un recierre del interruptor, pero se aprecia que una de las fases tardó más del tiempo normal para realizar el cierre. El equipo de análisis de gestión del mantenimiento, revisa el histórico de pruebas sobre el activo y encuentra que los datos registrados en el software de gestión de mantenimiento, presentan serias incoherencias. Bajo este panorama no es posible establecer un análisis de juicio, que permita generar las hipótesis sobre las posibles fallas del equipo, de acuerdo al histórico de pruebas. El equipo de gestión de mantenimiento no tendrá los criterios de decisión para dar las instrucciones a seguir, y será necesario programar la salida de servicio del activo para confirmar la condición real del interruptor.

Lo anterior en el caso que se detecte la debilidad en la información, pero en aquellos casos en que estos errores pasan desapercibidos, pueden incluso darse señales de condición de vida falsa del activo e incluso programarse la reposición del mismo, basados en elementos de juicio errados, con las consecuentes afectaciones económicas y de optimización de procesos que esto conlleva. Adicionalmente, esto afecta temas tan sensibles como las desviación de los costos asociados al mantenimiento, respecto a la proyección del costo del ciclo de vida de los activos y consecuentemente, sobre las desviaciones en el alcance de los objetivos estratégicos del mantenimiento y de la organización en general.

Estrategias que buscan la minimización del error humano.

Como se ha mencionado en los párrafos anteriores, la gestión de la confiabilidad humana parte una cultura organizacional que permita la implementación de forma eficaz de

instrumentos que permitan mitigar el riesgo en la confiabilidad humana. A continuación se enumeran las estrategias más comunes, que permiten tener un cierto nivel en el aseguramiento de la calidad de las actividades ejecutadas y la información generada.

- **Gestión del conocimiento:** Con el foco puesto en el desarrollo de competencias en los colaboradores, a través del entrenamiento y la evaluación del desempeño de forma periódica.
- **Control y aseguramiento de la calidad, tanto a nivel táctico como estratégico:** Este punto, implica de estructurar los elementos de soporte que permiten guiar en la ejecución de actividades y sus productos finales, ejemplos de estos elementos pueden ser: el mantener y utilizar los procedimientos, instructivos, manuales, controles en la toma y registro de información, tablas de verificación (check list), chequeo cruzado, entre otras.
- **Gestión adecuada de incidentes y reporte de errores y generación de confianza en los colaboradores:** Se debe incentivar el autoanálisis y el reporte de errores, con el fin de generar las sinergias que permitan la mejora continua de los procesos, dándole al colaborador un rol no solo de ejecutor, sino de también de ajuste del proceso de mantenimiento.
- **Motivación:** Una herramienta muy poderosa en la consecución de objetivos y en el “hacer bien” en sentido general, es la motivación que se tiene al ejecutar cualquier actividad de cualquier índole, por tanto es imperativo motivar al colaborador fomentando el conocimiento de la

importancia de su rol dentro de la organización, el valor de sus funciones y sus aportes a los objetivos estratégicos. De igual forma se debe fomentar la cultura de un buen ambiente laboral y la importancia del trabajo en equipo.

Propuesta mitigación del riesgo asociado a la confiabilidad humana: “Enseñar para afianzar”.

Dadas las causas que generan los errores humanos (mencionadas anteriormente en el documento), se presenta una estrategia que se centra en la formación (capacitación interna y externa), como instrumento generador de una cultura de transmisión y afianzamiento de conocimientos al interior de los equipos de trabajo y a nivel de la gerencia de mantenimiento en general.

El foco se centra en que los colaboradores que demuestren más competencias en las evaluaciones periódicas de desempeño, y en la ejecución de las actividades asignadas, se conviertan en el eje dinamizador de la transmisión del conocimiento, entendiendo a la vez, que la mejor forma de afianzar conocimiento y escudriñar en los detalles de cualquier actividad, es tener la misión de enseñar a otros de forma responsable y especializada. En este orden de ideas, dentro de los equipos de trabajo, los mismos colaboradores se encargaran de un proceso de reentrenamiento, que permite mantener frescos los conocimientos específicos que se requieren para la ejecución de sus actividades y a la vez permite transmitir aquellas experiencias de diferente índole, que no reposan en manuales, listas de chequeo o procedimientos e instructivos, detalles que a la postre, contribuyen al aseguramiento de la calidad de los procesos.

Cada organización deberá asignar la periodicidad de la formación interna de los

grupos de trabajo y establecer los espacios más convenientes para su implementación. Por su puesto que no se puede dejar de lado la capacitación dada por expertos externos, con el fin de mantener actualizados a los colaboradores en todo momento, sobre la evolución en procedimientos y nuevas tecnologías, que impactan las actividades que ellos ejecutan.

Una metodología que extrae las ventajas de la capacitación dada por los expertos internos y externos, resalta el valor agregado en el colaborador, contribuye a la motivación y establecimiento de sinergias al interior de los equipos de trabajo, impactando de forma positiva, los riesgos asociados al error humano en el mantenimiento de las instalaciones eléctricas de alta tensión y en general de cualquier tipo de industria. Este impacto será cualitativo y cuantitativo, en la medida en que se implementen indicadores de que permitan medir la evolución de la implementación.

Conclusiones

Los impactos de la confiabilidad humana sobre los procesos de mantenimiento a nivel general, repercuten a diversos niveles, desde la simple afectación de la ejecución del proceso productivo o la operación de los activos, hasta instancias estratégicas, como la toma de decisiones sobre renovación de activos y el cumplimiento de objetivos planteados por las organizaciones.

Una sólida cultura organizacional, permitirá gestionar en determinada medida, el riesgo asociado a la confiabilidad humana en organización.

Una metodología basada en el valor de la formación interna, como herramienta de aprovechamiento del potencial de los colaboradores que hacen parte de los equipos

de trabajo, permite contribuir a la gestión del riesgo asociado a la confiabilidad humana.

Referencias

- [1] Confiabilidad de los sistemas productivos blogspot.com, Referencia confiabilidad humana.
- [2] HOLLNAGEL, Erik. (1993). "Human Reliability Analysis: Context and Control". Computers and People Series. Academic Press, London. - García Oliveros. Análisis de Confiabilidad Humana del Personal de una Planta de Generación Eléctrica.
- [3] Registros informes internos, Gerencia de Mantenimiento del Grupo Energía Bogotá SA. ESP.
- [4] Registros informes internos, Gerencia de Mantenimiento del Grupo Energía Bogotá SA. ESP.
- [5] Misoperation report, prepared by: Protection System Misoperations Task Force, pag. 6, April 2013- North American Electric Reliability Corporation.

Gerardo Guerra García, ingeniero eléctrico titulado por la Universidad de la Costa - (CUC), Barranquilla, Colombia. Especialista en mantenimiento de infraestructuras eléctricas en alta tensión y Magister en proyectos, construcción y mantenimiento de infraestructuras eléctricas en alta tensión, por la Universidad Pontificia Comillas - ICAI, Madrid, España. Certificado CMRP (profesional certificado en mantenimiento y confiabilidad) por la SMRP (Sociedad de profesionales de mantenimiento y confiabilidad) de USA. Asesor de la Gerencia de mantenimiento del GEB SA. ESP.

Cel.: 3004927823.

Oficina: Cra 9 73-44, piso 9.

gguerra@geb.com.co/gerardo712@gmail.com
Bogotá, Colombia.