

FORMULACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA DE GESTIÓN DE SEGURIDAD ELÉCTRICA Y LA EVALUACIÓN DE SU IMPACTO MEDIANTE UN ESTUDIO DE CASO EN LA GRAN MINERÍA DE CHILE
FORMULATION OF A NEW ELECTRICAL SAFETY MANAGEMENT SYSTEM AND ASSESSMENT OF ITS IMPACT THROUGH A CASE STUDY IN CHILEAN LARGE-SCALE MINING

Ronaldo Humberto Lopéz Serrazina¹

Universitat Politècnica de València, España

(rolo4@doctor.upv.es) (<https://orcid.org/0000-0003-3073-8316>)

Jaime Jimenez Ayala

Universitat Politècnica de València, España

(jaijiay@upv.es) (<https://orcid.org/0000-0003-3137-0242>)

Joaquin Catalá Alis

Universitat Politècnica de València, España

(jcatala@cst.upv.es) (<https://orcid.org/0000-0002-2286-3638>)

Información del manuscrito:

Recibido/Received: 11/06/2023

Revisado/Reviewed: 08/12/2023

Aceptado/Accepted: 20/12/2023

RESUMEN

Palabras clave:

sistema de gestión, seguridad eléctrica, riesgos industriales, indicadores de seguridad, riesgos de accidentes.

Actualmente la normativa eléctrica internacional como, la IEEE y la NFPA, y la legislación de diversos países exigen realizar gestión sobre la seguridad eléctrica, pero no existe un sistema para su implementación. Por ello, se diseñó un sistema de gestión en seguridad eléctrica con base en los requerimientos de la norma ISO 45001 y normas técnicas como la NFPA 70E y la IEEE 3007.2. Primero, se realizó una investigación de las normativas nacionales e internacionales en lo que respecta a la seguridad eléctrica y se diseñó el sistema de gestión de seguridad eléctrica. Con base en el sistema de gestión de seguridad eléctrica propuesto, se realizaron auditorías de diagnóstico a empresas de diversas actividades económicas para evaluar su gestión de seguridad eléctrica. Los resultados de estas auditorías indicaron que todas las empresas auditadas realizaban acciones específicas, pero no se hacía gestión de seguridad eléctrica. Posteriormente se aplicó el sistema de gestión de seguridad eléctrica a una de las empresas auditadas y a

¹ Autor de correspondencia.

la que, después de implementado el sistema se le realiza una auditoria de seguimiento. Finalmente, se realizó un análisis de los datos obtenidos donde se pudo demostrar el impacto positivo del sistema ya que mostró beneficios al aumentar el cumplimiento de la normativa legal, además de reducir los accidentes a las personas, reducir los costos por daños a los equipos e instalaciones y optimizar los costos operacionales, buscando el uso seguro y eficiente de la energía eléctrica.

ABSTRACT

Keywords:

management system, electrical safety, industrial risks, safety indicators, accident risks.

Currently, internationally electrical regulations like, IEEE and NFPA, and legislation in various countries require management of electrical safety, but there is no existing system for its implementation. Therefore, a system for electrical safety management was designed based on the requirements of ISO 45001 standard and technical norms such as NFPA 70E and IEEE 3007.2. First, an investigation of national and international regulations regarding electrical safety was conducted, and the electrical safety management system was designed. Based on the proposed electrical safety management system, diagnostic audits were performed on companies from various economic sectors to assess their electrical safety management. The results of these audits indicated that all the audited companies were taking specific actions, but there was no management of electrical safety. Subsequently, the electrical safety management system was applied to one of the audited companies, and after the system was implemented, a follow-up audit was conducted. Finally, an analysis of the obtained data was carried out, which allowed us to demonstrate the positive impact of the system, as it showed benefits such as increasing compliance with legal regulations, reducing accidents involving individuals, lowering costs related to equipment and facility damages, and optimizing operational costs. This was aimed at promoting the safe and efficient use of electrical energy.

Introducción

En la actualidad, las normas internacionales de seguridad eléctrica como la IEEE 3007.3 y NFPA 70E, vienen exigiendo mayor consciencia sobre el coste real de las lesiones eléctricas y aprender a apreciar los riesgos relacionados con la electricidad, es por eso que países como Estados Unidos, Costa Rica o Colombia las han exigido en sus normas nacionales y países como España, Australia o Canadá las han usado como referencia (Crow et al., 2018). Ante esto, la Asociación Nacional de Protección Contra Incendios (NFPA, 2021) y el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE, 2012), recomiendan al empleador implementar y documentar un programa de seguridad eléctrica que ordene las actividades adecuadas para los riesgos relacionados con los peligros eléctricos.

En países como Costa Rica, Colombia y México ya se ha incluido la seguridad eléctrica y programas de seguridad eléctrica como norma específica basados en los criterios de la NFPA 70E. Por ello, a pesar de que se ha vuelto una exigencia legal para las empresas contar con un programa de seguridad eléctrica, aún existe un desconocimiento generalizado de como implementarlo. Actualmente, los entes reguladores de distintos países como la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) en Chile, mediante el Reglamento de las instalaciones eléctricas de consumo DS 8, exige a las empresas que las instalaciones eléctricas de carácter general deberán cumplir con los requisitos básicos de operación y mantención de acuerdo con lo definido en el DS 8 – RIC 17: “Operación y Mantenimiento”. Este documento, establece que cada empresa deberá implementar y documentar un programa de seguridad eléctrica (PSE), en concordancia con el sistema de gestión de riesgos laborales que lleve a cabo dicha empresa, ya sea a través de normas de uso universal (ISO, OHSAS, ANSI) o a través de los programas específicos de prevención de riesgos que implemente la empresa.

Al igual que Chile, otros países como EE. UU, Colombia, México y Perú dentro de sus requerimientos legales exigen la incorporación de normas técnicas como por ejemplo el Código Eléctrico Nacional (Comité Ejecutivo Nacional), la norma de seguridad eléctrica en el lugar de trabajo (NFPA 70E), el Código Nacional de Seguridad Eléctrica (NESC), entre otros. También existen otras normas y guías reconocidas que contienen información de seguridad eléctrica a la que se puede hacer referencia en un caso legal como lo son la IEEE y las normas NETA, sin embargo se presenta la misma problemática de no contar con un sistema de gestión de seguridad eléctrica implementado.

Otra dificultad es la tendencia de las organizaciones a implementar sistemas de gestión que no consideran las complejidades de los riesgos eléctricos, ni los beneficios que su reducción puede aportar a la continuidad y eficiencia operacional. Esto sumado a la ausencia de una definición clara y consensuada de lo que implica la seguridad eléctrica, lo que genera confusión realizando actividades aisladas para solucionar problemas específicos, pero no sistematizado para poder realizar mediciones y tomar acciones para mejorar la independencia de la gestión de la seguridad eléctrica de la actividad productiva donde se implementa, sin considerar las variables y condiciones propias de cada sector o industria.

Estos factores limitan la capacidad de las organizaciones para garantizar una gestión en seguridad eléctrica efectiva, que proteja a los trabajadores, mejore el desempeño operacional y contribuya al desarrollo sostenible. Por ello, se plantea la necesidad de diseñar e implementar un sistema de gestión específico para la seguridad eléctrica, que considere sus

particularidades y beneficios, y que se adapte a las características y necesidades de cada organización.

Para cumplir con esto, un requisito clave para cualquier instalación a nivel internacional, es que se sigan las buenas prácticas de diseño; que los nuevos sistemas se instalen de acuerdo con la NFPA 70E, el NEC y/u otros códigos y normas técnicas aplicables; y que cualquier cambio en el sistema eléctrico se documente adecuadamente. (Drewiske y Kalcec, 2020). Otros países como México y Colombia, por ejemplo, incluyen en sus exigencias normativas que las empresas destinadas a la producción, transformación, transporte y distribución de energía eléctrica contar con un sistema de gestión de activos para asegurar la integridad de las instalaciones eléctricas, en conformidad a las normas de la Organización Internacional de Normalización, específicamente la norma ISO 55000.

A pesar de todos estos esfuerzos legislativos, la falsa seguridad y la comodidad en el trabajador aumentan, lo que se transforma en que pequeños fallos se conviertan en accidentes graves (Lee et al, 2019). Los riesgos eléctricos son muy diferentes de los riesgos no eléctricos, ya que son muy difíciles de tratar. Aparentemente es muy difícil prever el nivel de riesgo asociado a un circuito eléctrico sólo con una simple inspección visual del mismo. También se observa que, en la mayoría de los casos de sucesos peligrosos, el trabajador que realizó un acto inseguro no fue la víctima de la lesión, sino que fue un miembro de su equipo que confiaba en su aptitud por lo que se lesionó. (Sarkar, 2021).

De acuerdo con auditorías in situ realizadas como parte de este estudio, se observó el bajo cumplimiento de las normativas nacionales e internacionales. En este sentido, la mayoría de las empresas auditadas poseen programas de seguridad eléctrica y cumplen las recomendaciones, pero no son procesos sistemáticos ni estructurados, más bien son actividades aisladas que buscan solucionar un problema o cumplir una normativa puntual siendo NFPA norma 70E, esta define programa de seguridad eléctrica como un sistema documentado que consiste en principios, políticas, procedimientos y procesos de seguridad eléctrica que rige las actividades apropiadas para el riesgo asociado a los peligros eléctrico. Es decir, la norma NFPA lo que viene exigiendo es la implementación de un sistema de gestión de seguridad y no un programa de actividades aisladas o actividades para una circunstancia específica.

En este sentido, el problema que se desprende de la evaluación de las auditorías realizadas es que se implementan programas de actividades enfocadas en la seguridad eléctrica, pero no se implementa una gestión que sustente la seguridad eléctrica y que permita la mejora continua de esta gestión.

De acuerdo con el problema planteado, el objetivo de este trabajo fue proponer un sistema de gestión de seguridad eléctrica y mostrar los beneficios de la implementación de dicho sistema. El sistema se basa en 3 principios fundamentales: Personas, equipos/instalaciones eléctricas y la continuidad operacional que permita a la empresa identificar las necesidades, implementar los controles buscando reducir los incidentes, cumplir la normativa legal y/o corporativa y asegurar la continuidad operacional, lo que a su vez, disminuye los daños a las personas, los costos por daños a equipos y las costosas pérdidas operacionales producidas por los eventos no deseados que ocasionan el uso de la electricidad.

Sistema de gestión

El término gestión Lopez Cachero (1998), lo definió como el orden metódico de actividades interdependientes y procedimientos relacionados que posibilita el buen hacer de una organización. Por lo tanto, un sistema de gestión es un conjunto integrado de procesos y herramientas que interactúan y utiliza una organización para desarrollar una estrategia y así poder desarrollar acciones operacionales, monitoreando y mejorando la eficacia de ambas (Kaplan y Norton, 2008).

Si se amplía un poco más el concepto, un sistema de gestión de riesgos consiste en construir la información mínima que permita calcular el riesgo que se va a asumir y prever las reservas que permitirían la supervivencia en condiciones adecuadas (Lavell, 2001).

El objetivo del sistema de gestión de la seguridad, es prevenir lesiones y deterioro de la salud relacionados con el trabajo y proporcionar lugares de trabajo seguros y saludables; en consecuencia, es de importancia crítica para la organización reducir el peligro y eliminar los riesgos, tomando medidas de prevención y protección eficaces (ISO, 2018).

Programa de seguridad eléctrica

Anualmente, el promedio de fatalidades de origen laboral en Chile supera los 200 trabajadores, de los cuales entre un 10 y un 13% es de origen eléctrico (Electro Industria, 2016). Particularmente, la industria eléctrica presenta indicadores de tasa de accidentalidad inferiores a un 2%, es decir, se accidentan 2 trabajadores por cada 100, siendo el promedio país en el año 2013 de 4,3%. Sin embargo, “la Tasa de Mortalidad es notoriamente superior, resultando ser de un 3,5 en las empresas adheridas a las Mutualidades y de un 6,4% en el total de las empresas”.

En Electro Industria (2016) se relata como en un informe sobre accidentes eléctricos llevado a cabo por la ACHS entre 2009 y 2012, se observó que alrededor del 17% de los accidentes laborales relacionados con la electricidad se considera de gravedad. Aunque esta cifra parece ser baja en términos absolutos, es importante destacar que estos pocos incidentes representan casi el 80% de los Días Perdidos debido a licencias médicas laborales. De estos casos, el 72% está relacionado con el efecto de choque eléctrico, mientras que el 28% restante se debe al arco eléctrico, según lo señala el experto de la ACHS.

Según la NFPA (2021), un programa de seguridad eléctrica un sistema documentado que consiste en principios, políticas, procedimientos y procesos de seguridad eléctrica que rigen las actividades apropiadas para los riesgos asociados al peligro eléctrico.

En este sentido, el objetivo del PSE consiste en abordar de manera sistemática, proactiva y preventiva los riesgos eléctricos en el lugar de trabajo, que es un enfoque más efectivo que reaccionar a las lesiones y muertes causadas por esos riesgos.

La IEEE 3007.3 (2012), por su parte indica que un programa de seguridad eléctrica, es un plan diseñado para que ni las condiciones del lugar de trabajo ni las acciones de las personas expongan al personal innecesariamente a peligros eléctricos. Establecer un programa de seguridad eléctrica y asegurarse de que los empleados lo sigan puede significar una gran herramienta contra lesiones accidentales o la muerte debido a incidentes eléctricos.

Si se consideran los requisitos y las definiciones que se entregan al concepto de programa de seguridad eléctrica de las distintas normativas, lo que viene exigiendo la normativa es un sistema de gestión de seguridad eléctrica a pesar de que el término empleado no lo define explícitamente. Las empresas al desconocer el concepto y al no haber un sistema de gestión de seguridad eléctrica definido que puedan implementar, en el mejor

de los casos, aplican acciones aisladas para intentar cumplir con los requisitos de esa normativa.

Al implementar un sistema de gestión de seguridad eléctrica, los principios de este deben identificarse y enseñarse a los empleados (Eastwood et al., 2002), como un componente clave para mejorar la cultura de seguridad eléctrica. Esto se logra al alinear los objetivos del programa de seguridad eléctrica con los objetivos organizacionales de cada empresa.

El objetivo de los programas de seguridad eléctrica fue establecido para ocuparse de las prácticas de trabajo e instalaciones no seguras (Becker y Davis, 2015), por lo que al establecer un programa es fácil centrarse únicamente en los aspectos técnicos del programa (Crow et al., 2018), como por ejemplo, el mantenimiento de las instalaciones, dejando de lado la gestión documental, la cual es la que demuestra que las acciones planificadas se han desarrollado. Sin embargo, la seguridad eléctrica no ha sido bien definida (Liggett, 2006). Identificar los incidentes que pueden causar lesiones a los trabajadores del sector eléctrico ayuda a evitar que este tipo de lesiones se produzcan (Anderson, 2019).

Los responsables de la implementación y seguimiento del programa de seguridad eléctrica deben informarse sobre la evolución de los conocimientos en materia de indicadores principales y ayudar a los responsables de la gestión de la formación a establecer un cuadro de mando equilibrado de métricas que pueda servir más eficazmente a la organización para identificar y controlar el riesgo de los peligros eléctricos. Los indicadores principales deben estar estrechamente relacionados con la seguridad eléctrica. Por ejemplo, una organización con un indicador principal que mide la gestión/liderazgo de la seguridad y la salud en general necesita añadir una métrica que mida la gestión/liderazgo de la seguridad eléctrica (Landis, 2022). Las lesiones eléctricas, en comparación con otros tipos de lesiones industriales, representan un porcentaje relativamente pequeño, sin embargo, en cuanto al número de lesiones con resultados graves y mortales ocupa el primer lugar. Por eso hay que prestar la máxima atención a las indicaciones de la normativa técnica con relación a la seguridad eléctrica (Lebedev, 2021).

Método

El enfoque de la investigación se basó en una metodología de análisis documental de información y análisis estadístico, en donde la identificación y recopilación de la documentación se realizó mediante el análisis de la información disponible. Por motivos de confidencialidad este artículo se reserva el derecho de nombrar y/o identificar a las empresas auditadas, debido a que puede existir un incumplimiento en las normativas nacionales o internacionales, en su defecto se nombran empresa 1 (E1), empresa 2 (E2) y así sucesivamente.

Recopilación de datos

En primera instancia, se realizó una investigación de las normativas nacionales e internacionales vigentes, tales como las normas ISO 45001; ISO 31001, la Norma NFPA 70E (NFPA, 2021) y IEEE 3007.2. Producto de esta investigación se elaboraron listados de

verificación, que fueron utilizados para la recolección de datos de las auditorías de diagnóstico o de la verificación de brechas.

Posterior a esto, se diseñó una auditoría de seguridad eléctrica basada en la ISO 19011 (ISO, 2018). La auditoría evaluó 7 tópicos los cuales son: instalaciones generales, salas eléctricas, sistema contra incendios, equipos de seguridad y EPP, procedimientos de seguridad, documentación y el entrenamiento eléctrico. El detalle de cada uno de estos tópicos se incluye en los listados de verificaciones utilizados para la recolección de datos. Los datos recopilados de estas auditorías se evaluaron con una escala que va desde 0 a 5, siendo 0 un incumplimiento total de normativa, 3 el cumplimiento mínimo de la normativa y 5 el cumplimiento a cabalidad de las normas, buenas prácticas e innovación a la hora de implementar la gestión de seguridad eléctrica. Para esto se desarrollaron matrices que incorporan indicadores específicos aplicables a cada situación. Estos indicadores engloban todas las etapas del proceso de gestión de la seguridad eléctrica, y se detallan en la Tabla 1 y Tabla 2. Estos indicadores tienen como objetivo medir de manera precisa cada uno de los tópicos sujetos a auditar, lo que permite un análisis posterior imparcial y objetivo de los resultados obtenidos en la auditoría.

Tabla 1
Criterios de aceptación para variables operativas

Variables	Norma	No cumple	No cumple	No cumple (por muy poco)	Cumplimiento mínimo	Cumple con buenas prácticas	Estándar Mundial
		0	1	2	3	4	5
Instalaciones eléctricas generales	<ul style="list-style-type: none"> ■ DS 132 ■ DS 08 ■ NFPA 70E ■ IEEE 3007.3 	No está definido ningún tipo de control	Deficiencias considerables con respecto a lo esperado	Deficiencias menores con respecto a lo esperado	Actualizado sin implementar recomendaciones	Estudios actualizados y sistematizado	Practicas por sobre lo esperado
Gestión de mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> ■ DS 132 ■ DS 08 ■ NFPA 70B 	No está definido ningún tipo de control	Deficiencias considerables con respecto a lo esperado	Deficiencias menores con respecto a lo esperado	El Requerimiento se cumple en forma efectiva	Se cumple en forma efectiva y sistematizada	Practicas por sobre lo esperado
Equipo y EPP	<ul style="list-style-type: none"> ■ DS 132 ■ DS 08 ■ DS 40 ■ NFPA 70E 	No está definido ningún tipo de EPP de uso eléctrico	Los EPP de uso eléctrico no son suficientes	Se entrega EPP choque, pero no de arco	Existe para arco y choque eléctrico y se controla y repone	Se cumple en forma efectiva. Entrega y reposición sistematizada	Practicas por sobre lo esperado
Sistemas contra incendios	<ul style="list-style-type: none"> ■ DS 109 ■ DS 132 	No se cuenta con sistemas contra incendios	No cumplen con lo exigido por la normativa legal	Existen, pero no se lleva control de las inspecciones y mantenciones periódicas	Existen y se les realiza inspección y mantención periódicamente.	Se cumple en forma efectiva. Prueba e inspección sistematizada	Practicas por sobre lo esperado

En la Tabla 1 se muestran los criterios de aceptación para variables operativas, donde se exhiben las variables consideradas y el puntaje asociado. Las variables consideran varios aspectos basados en la normativa legal, estos se explican con más detalle a continuación:

- Instalaciones eléctricas generales: Busca proporcionar entornos de trabajo seguros sin o con mínima exposición a los riesgos eléctricos, viendo que se cumpla con la legislación vigente, normativas técnicas y directrices del fabricante. El diseño debe considerar aspectos como la protección contra choque eléctrico y arco eléctrico, medidas contra incendios, adecuada iluminación, disposición de espacios de trabajo y consideraciones de diseño.
- Gestión de mantenimiento: Busca llevar a cabo un mantenimiento adecuado de los sistemas eléctricos para preservar su condición original. Esto se hace a través de programas de medición (mantenimiento predictivo) y de mantenimiento programado (mantenimiento preventivo) para evitar fallos inesperados. La planificación previa, la documentación detallada, y la realización por personal calificado son fundamentales para lograr este objetivo.

- Equipo y EPP: Incluye la selección de elementos y equipos de protección personal (EPP) para las personas expuestas a riesgos eléctricos. Esto se verifica mediante la revisión del EPP de choque eléctrico que debe ser aislante, considerando el voltaje al que estarán expuestas las personas, y para el EPP para arco eléctrico que debe ser ignífugos, tomando en cuenta la energía incidente que podría generarse en caso de un arco eléctrico.
- Sistemas contra incendios: Se enfoca en la existencia y mantenimiento de los sistemas contra incendios en las instalaciones eléctricas.

Tabla 2
Criterios de aceptación para variables documentales

Variables	Norma	No cumple	No cumple	No cumple (por muy poco)	Cumplimiento mínimo	Cumple con buenas prácticas	Estándar Mundial
		0	1	2	3	4	5
Proyectos y Documentos técnicos	■ DS 132 ■ DS 08	No cuentan con ningún tipo de documento	Los documentos presentados se encuentran desactualizados	Deficiencias menores con respecto a lo esperado	El Requerimiento se cumple en forma efectiva	Se cumple en forma efectiva y sistematizada	Practicas por sobre lo esperado
Documentos de seguridad	■ DS 132 ■ DS 08 ■ NFPA 70E ■ IEEE 3007.3	No hay respaldo de documentos	Procedimiento no cumple con todos los requerimientos	Se entrega procedimiento, pero no se evalúa comprensión	Se entregan los procedimientos y se evalúa el entendimiento, pero no está sistematizado	Seguimiento y medición del cumplimiento de los documentos y está sistematizada	Practicas por sobre lo esperado
Capacitación y calificación	■ DS 132 ■ DS 08 ■ NFPA 70E	No hay capacitación	Solo se capacita en forma ocasional	Se capacita y se realiza capacitación In Situ	Se entrega entrena y se autoriza, pero el proceso no está sistematizado	Seguimiento y medición del cumplimiento de las calificaciones. Está sistematizada	Practicas por sobre lo esperado

De igual forma se definieron variables para los criterios de aceptación para variables documentales de la siguiente forma:

- Proyectos y documentos técnicos: Verifica los proyectos y documentos técnicos, los cuales son herramientas que detallan las especificaciones técnicas de las instalaciones eléctricas. Estos consisten en planos y memorias descriptivas que se crean con el propósito de ilustrar el diseño de la instalación eléctrica y la cantidad de materiales requeridos.
- Documentos de seguridad: Se hace referencia a diversos documentos, como autorizaciones de trabajo, inspecciones, auditorías, identificación de peligros, evaluación de riesgos, procedimientos, regulaciones, charlas, listas de verificación, pautas y planes de acción ante no conformidades.

- **Capacitación y calificación:** La capacitación es fundamental para proteger a todo el personal, incluyendo a contratistas, que enfrenta riesgos eléctricos. Esta verifica que se cumpla una estrategia efectiva para garantizar la seguridad de los trabajadores y también para crear conciencia sobre la seguridad eléctrica. Su objetivo es que los trabajadores puedan identificar los peligros eléctricos y reducir su exposición a los mismos.

Finalmente, se realizaron auditorías in situ a diversas empresas mineras de Chile y con los datos obtenidos se realizó un gráfico de superficie, que facilitó el análisis de estos para justificar el problema para esta etapa.

Población y muestra

Para esta investigación se realizaron auditorías de seguridad eléctrica a una muestra dirigida a 15 empresas de la gran minería de Chile, debido a que es uno de los rubros más desarrollados y normados con respecto a la seguridad eléctrica, esto se debe a que las empresas seleccionadas para el presente estudio son corporativos internacionales, lo que implica que no solo se debe cumplir la normativa nacional, sino que también la de su país de origen haciéndolas más exigentes. Entre estas, se seleccionó a una de ellas como caso de estudio para realizar los análisis. Los datos del caso de estudio son los siguientes:

- **Actividad Económica:** Gran minería del cobre. Chile.
- **Cantidad de Trabajadores:** 900 propios y una media de 3.100 trabajadores contratistas.
- **Trabajadores electricistas:** 60 propios y una media de 250 trabajadores contratistas.

Formulación del sistema

Este sistema fue desarrollado con base en la estructura del ciclo de Deming (Fisher et al., 2005), con una base teórica extraída de la norma ISO 45000 (ISO, 2018) y las recomendaciones de las normas NFPA 70E (NFPA, 2021) e IEEE 3007, destacando la adición de una evaluación de contexto al ciclo y la mejora continua aplicada de manera transversal en todo el sistema.

Se comenzó con una evaluación del contexto de la organización. Esto tenía como objetivo identificar factores internos y externos que pudieran influir en el logro de los objetivos y en la consecución de los resultados deseados para el sistema. La evaluación del contexto abordó tanto la información interna de la empresa como la información externa que afecta su aplicación.

Después se procedió al diseño de la planificación. En esta fase, se creó la estructura completa para la gestión del sistema propuesto. Esto implicó realizar un análisis de los aspectos de seguridad y mantenimiento que serían relevantes, así como establecer aspectos organizativos como el alcance y las responsabilidades de los roles. Se llevó a cabo el diseño y la creación de procedimientos documentados específicos para el sistema propuesto, y se establecieron las actividades y requisitos que debían cumplirse.

En la implementación se optó por establecer un sistema basado en la gestión por procesos. Esto implicó definir la gestión necesaria, cumpliendo con los requisitos esenciales de las normas de referencia (ISO 45000, ISO 31000) y las normas técnicas ampliamente reconocidas, como NFPA 70E e IEEE 3007.1. La gestión se centró en áreas como la autorización de trabajos, inspección, mantenimiento, identificación de peligros y evaluación de riesgos, además de la creación de procedimientos, entre otros aspectos.

La etapa de verificación del sistema se basó en los objetivos y metas previamente definidos durante la fase de planificación. Para llevar a cabo esta verificación, se establecieron las acciones y procesos que requerían seguimiento y medición, lo que incluyó aspectos legales y otros requisitos, actividades relacionadas con peligros y riesgos eléctricos, el progreso hacia el logro de los objetivos, la efectividad de los controles, entre otros.

La evaluación y seguimiento del sistema propuesto implicaron la comparación de la información recopilada en la evaluación inicial con los resultados obtenidos después de la fase de implementación. Se propuso lograr esto mediante la realización de una auditoría o la aplicación de otros indicadores de gestión.

Aplicación del sistema de gestión de seguridad eléctrica

Basado en las auditorías de diagnóstico se toma una de las empresas auditadas inicialmente, que proporcionó las facilidades para realizar el estudio y, se desarrolló un proceso de implementación del sistema de gestión de seguridad eléctrica propuesto. Posteriormente, se realizó una segunda auditoría para evaluar la mejora en la gestión de seguridad.

También se realizó un análisis de los incidentes, a causa de la energía eléctrica, producidos en esta misma empresa antes y después de haber implementado el sistema de gestión de seguridad eléctrica.

Análisis de resultados y obtención de beneficios

Se presenta la información de la auditoría inicial en un gráfico de superficie. Subsiguientemente, la implementación y las acciones realizadas por parte de la empresa para mejorar sus procesos. Y posteriormente, se presenta un gráfico de superficie correspondiente a una auditoría final que muestra el progreso obtenido al implementar dicho sistema de gestión.

Finalmente, se comparó la auditoría de diagnóstico versus la auditoría de seguimiento y se realizó un cuadro comparativo con la evaluación inicial versus la evaluación final del estudio del caso, dando a conocer en cuanto mejoró la evaluación y como esto afecta a la empresa.

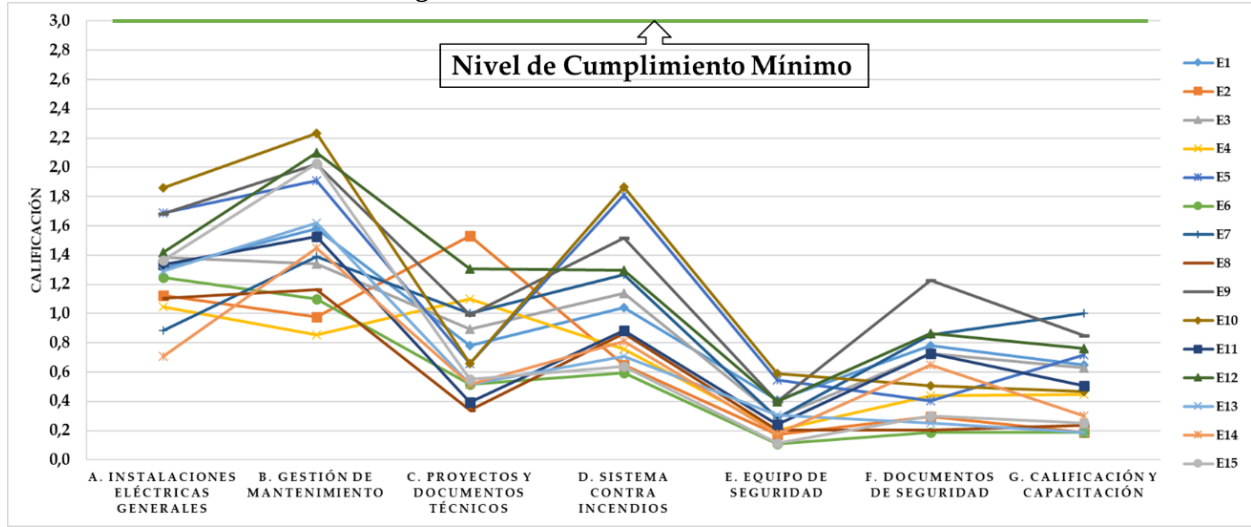
Resultados

Análisis de recopilación de datos

Las auditorías realizadas a distintas empresas mineras fueron agrupadas en la Figura 1, la cual muestra las similitudes en las falencias y sus puntos mejores evaluados.

A través de las auditorías se pudo detectar incumplimientos legales, pérdidas de recursos, incidentes a causa de la electricidad, entre otros hallazgos no deseados producto del desconocimiento de la normativa y/o mala aplicación de la gestión de seguridad eléctrica. De las 15 empresas auditadas, todas desarrollaban actividades de seguridad eléctrica. Sin embargo, ninguna de ellas tenía implementado un sistema de gestión de seguridad eléctrica. También se encontró que la gestión dependía única y exclusivamente del liderazgo de la persona que estaba a cargo, que es justamente lo que un sistema de gestión trata de evitar. Lo que es peor aún, en varias de estas empresas la gestión completa recaía en la superintendencia o departamento eléctrico, no insertando dichos programas en la gestión de SSO de la empresa.

Figura 1
Resultados de auditorías de diagnóstico



Sistema de gestión

Analizando la problemática se identificaron las falencias más comunes entre todas las empresas y se desarrolló un sistema de gestión de seguridad eléctrica para así mejorar los procesos mal evaluados. El sistema propuesto fue desarrollado con base en el ciclo de Deming, el cual es un método de probada eficacia a nivel mundial en gran parte de las organizaciones (Azadeh et al., 2014; Roldán-Molina et al., 2021; Rungtusanatham et al., 2003). Este se compone de cinco grandes etapas (Figura 2), las cuales son la planificación, la implementación, la verificación, la evaluación y la mejora continua la cual se puede efectuar en cada una de las etapas del ciclo.

Figura 2
Representación gráfica del sistema de gestión de seguridad eléctrica propuesto



Adicionalmente, para dar inicio al ciclo propuesto por el sistema, se considera la evaluación de contexto, en la cual se lleva a cabo un análisis del contexto interno y externo de la organización, igualmente se establecen las políticas y objetivos concernientes a la seguridad eléctrica con la que se da comienzo la etapa de planificación.

La primera etapa del sistema es la planificación, donde se desarrolla toda la esquematización y estructuración del sistema de gestión. Para ello se realiza un análisis de los aspectos de seguridad ocupacionales y de mantenimiento, igualmente se establecen aspectos organizacionales como el alcance, los roles y responsabilidades y posteriormente se realiza la identificación de peligros y evaluación de riesgos eléctricos con el fin de establecer las medidas de control preventivas y mitigatorias a los riesgos asociados.

A continuación, en la etapa de implementación se elabora la documentación del sistema propuesto, esta documentación debe ser realizada con base en el cumplimiento de los requisitos básicos exigidos por las normas de referencia (ISO 31000, ISO 45000), considerando también la normativa legal y técnica que aplique. Como mínimo considera elaborar un manual de gestión de seguridad eléctrica, el cual contiene toda la documentación general, técnica, de la gestión de prevención de riesgos eléctricos y de mantenimiento, plasmada en procedimientos e instructivos, enfocados a la operatividad del sistema de gestión de seguridad eléctrica. Además, considera todas las acciones que se desprenden de la planificación.

En la etapa de verificación se realiza el seguimiento de las acciones implementadas bajo una frecuencia establecida en la planificación. Esto se lleva a cabo mediante la ejecución de una auditoría específica para el sistema de gestión de seguridad eléctrica, la cual se centra en diversos objetivos, incluyendo la verificación del cumplimiento de requisitos legales y normativos, la evaluación de la eficacia del sistema de gestión de seguridad eléctrica, la identificación de riesgos y medidas de prevención, la promoción de la mejora continua y la promoción de una cultura de seguridad eléctrica. Esta auditoría abarca siete aspectos clave: la gestión de seguridad eléctrica, el diseño e ingeniería de áreas de trabajo seguras, el mantenimiento de instalaciones eléctricas, el estado de recintos eléctricos, la documentación normativa y procedimientos, los sistemas contra incendios relacionados con electricidad, la capacitación y calificación del personal expuesto a riesgos eléctricos, así como el estado de los equipos de protección personal y los sistemas de protección eléctrica disponibles.

En la evaluación se establece el nivel de cumplimiento de las acciones planificadas versus las acciones implementadas, pudiendo determinar las brechas y las buenas prácticas mediante el análisis de los resultados de las verificaciones realizadas; finalmente en este punto se entregan recomendaciones sobre los hallazgos e inicia el nuevo ciclo planificando las acciones para corregir las brechas detectadas.

La mejora continua se ubica al centro del ciclo, para demostrar que esta mejora se puede realizar en cualquiera de las etapas del ciclo, donde se detecte la desviación y no tener que esperar hasta las etapas de verificación y evaluación para hacer una nueva planificación. Por el contrario, en la etapa que se detecta la desviación se vuelve a la planificación para después implementar correctamente y, por consiguiente, verificar y evaluar la mejora propuesta.

Caso de estudio

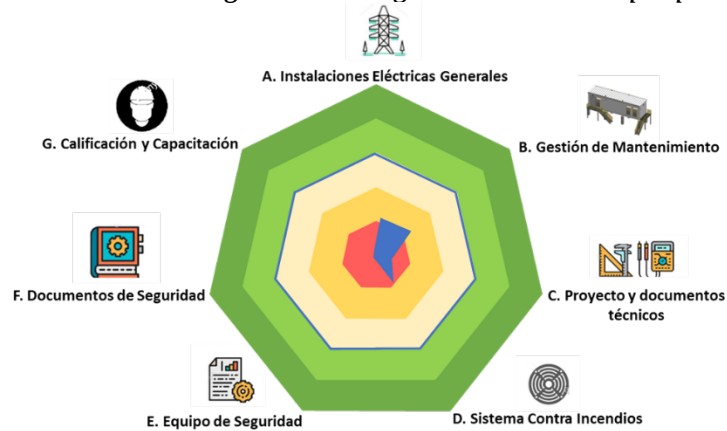
De la Figura 1 se seleccionó la empresa N°8 (E8), para realizar un estudio de implementación y seguimiento y así evaluar el impacto de la implementación de un sistema de gestión de riesgos eléctricos.

Evaluación de contexto

La auditoría inicial (Figura 3), muestra los resultados de la evaluación de los distintos tópicos antes de la implementación del sistema de gestión desarrollado en el caso de estudio. Tal es el caso de los tópicos extremos, como sería el tópico mejor evaluado que son las salas eléctricas. Aquí muestra una evaluación de 1.2 pts. En contraste, el punto peor evaluado es la documentación del sistema eléctrico, con una evaluación de 0.2 pts, sin mencionar que se muestra el nivel de cumplimiento legal mínimo señalado con la línea verde.

Figura 3

Representación gráfica del sistema de gestión de seguridad eléctrica propuesto



Por otro lado, mediante la auditoría inicial, realizada en 2019, en el análisis documental se logró establecer que han ocurrido 3 accidentes y 5 incidentes sin daño a las personas. Posterior a esto, el caso de estudio (la empresa E8 señalada en la Figura 1), brindó las facilidades para realizar la implementación del sistema de gestión de seguridad eléctrica y se dispuso a crear un comité de seguridad eléctrica que será responsable de implementar las distintas etapas definidas en el sistema de gestión, por lo que también se definieron: objetivos, alcances y planes de los grupos de trabajo, programas de reuniones, planes de trabajo, métodos de evaluación de los resultados del sistema de gestión, entre otros.

Planificación

Los factores fundamentales para el éxito de esta implementación es el apoyo de la alta administración y el apoyo de personal experimentado con conocimiento actualizado. Según las normas de seguridad eléctrica los requisitos mínimos a cumplir son:

- Establecimiento de roles y responsabilidades de los encargados de gestionar e implementar el sistema como representantes, un comité de seguridad eléctrica o coordinadores.

- Diseño y mantenimiento de instalaciones mediante un procedimiento para las condiciones de ingeniería y construcción de instalaciones eléctricas y se elaboró un estándar para el mantenimiento de equipos e instalaciones eléctricas.
- Identificación de peligros y evaluación de riesgos eléctricos en base a las actividades presentes en las tareas del personal de la organización, tanto personal especialista como usuarios, de la energía eléctrica.
- Inspección y evaluación los equipos eléctricos a través de revisiones documentales e inspecciones de campo.
- Elaboración de procedimientos generales, específicos y permisos de trabajos, requeridos para la seguridad eléctrica. Esto puede incluir manuales, auditorías, procedimientos para realizar tareas específicas, entre otros.
- Desarrollo de un modelo de capacitación y calificación del personal, para la implementación en las organizaciones.
- Diseño de procedimientos de emergencia de seguridad eléctrica para emergencias operacionales, este se elaboró en conjunto con el personal de emergencias, medico, eléctrico y SSO un procedimiento de emergencias eléctricas, así como capacitaciones sobre el rescate víctimas relacionados a accidentes eléctricos.

Implementación

Algunas de las acciones que se implementaron para el refuerzo y mejoramiento de los procesos fueron:

- La alta gerencia consideró la integración de los requisitos de SSO en los procesos del sistema de gestión de seguridad eléctrica, además de la misión, visión y la política de seguridad eléctrica.
- Elaboración de una normativa de seguridad eléctrica de acuerdo con la normativa legal y norma técnicas aplicables a la seguridad eléctrica.
- Implementación de planes de mantenimiento los cuales contienen las acciones, los procedimientos, los recursos, los métodos y el tiempo necesario para desarrollo y sistematización de las tareas mediante software como SAP.
- Estudios de los sistemas eléctricos como lo son, los de potencia, de cortocircuitos, coordinación de protecciones y de energía incidente.
- Evaluación de riesgos eléctricos mediante el desarrollo de un método específico que incluye, la probabilidad, la consecuencia y el factor humano, además de las medidas de control apropiadas respetando la jerarquía de controles.
- Aplicación de procesos de calificación y autorización del personal electricista y capacitación a los usuarios de la energía eléctrica respecto a los riesgos eléctricos a que se exponen desarrollando un modelo el cual incluye inducciones generales y específicas, capacitaciones y entrenamientos relacionados con la seguridad eléctrica y evaluaciones.

Verificación y Evaluación

Para verificar el proceso de implementación se realizó una auditoría de seguimiento. Esta auditoría entregó resultados de la implementación del sistema de gestión de seguridad eléctrica (Figura 4). En este caso, a pesar de que los valores obtenidos no logran llegar al cumplimiento legal (línea verde marcada en la nota 3), todos los tópicos evaluados están muy

próximo a lograrlo. La brecha disminuyó considerablemente destacando la documentación que pasa de un 0,2 a 2.8.

Se realizó una tabla comparativa (Tabla 3), entre los resultados de la auditoría inicial versus los resultados de la auditoría de seguimiento. En esta tabla se logra observar la disminución de las brechas en cada uno de los tópicos evaluados, en contraposición a la baja evaluación que obtuvieron en la auditoría inicial.

Figura 4

Gráfico de superficie que muestra los resultados de la auditoría de seguimiento y evaluación de la implementación del sistema de gestión de seguridad eléctrica

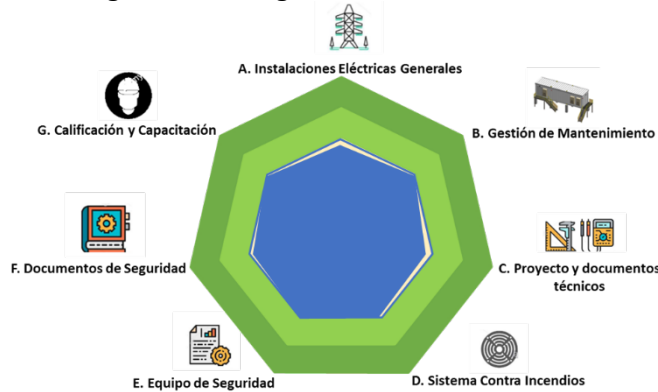


Tabla 3

Tabla comparativa entre los resultados de la auditoría inicial v/s la auditoría final

Tópicos evaluados en las auditorías	Inicial	Final
Instalaciones eléctricas generales	1.1	2.8
Gestión de mantenimiento	1.2	3.0
Proyecto y documentos técnicos	0.3	2.8
Sistema contra incendios	0.9	2.9
Equipo de seguridad	0.2	2.9
Documentos de seguridad	0.2	2.8
Calificación y capacitación	0.2	3.0

Discusión y conclusiones

Interpretación de los datos

En la Figura 1, se puede observar como las diferentes auditorías muestran una tendencia negativa en la evaluación lo que permitió determinar fallas en la gestión o vulnerabilidades existentes en la organización (Biler, 2017), en donde los puntos mejores evaluados siempre son las instalaciones generales, las salas eléctricas y el equipo eléctrico y, aun así sus evaluaciones no logran alcanzar los requisitos mínimos para cumplir la normativa. Por otro lado, los puntos peores evaluados son los procedimientos de seguridad, la documentación y el entrenamiento eléctrico, que no logra llegar a la puntuación 1, lo que significa que el desempeño en estas áreas fue más que deficiente demostrando las falencias administrativas, falla en el seguimiento, falta de sistematización de los procesos en la

evaluaciones del riesgo y desconocimiento de los requisitos mínimos de las normativas vigentes, producto de la falta de un sistema de gestión de seguridad eléctrica.

Un sistema de gestión brinda soluciones eficientes para resolver los problemas de las organizaciones a través de principios dinámicos, previsoros, holísticos y contingentes, además de darles la oportunidad que puedan desarrollar mejores estrategias para la supervivencia de las organizaciones aprovechando métodos más regulares y lógicos (Gholizadeh et al., 2021). Por lo mismo, para resolver los problemas planteados en el estudio se desarrolló un sistema de gestión que logre subsanar las problemáticas identificadas (Figura 2), el cual consiste en una serie de pasos que luego de una acción inicial de evaluación del contexto correspondiente al análisis de un estado inicial de la empresa, se procede a seguir un ciclo de etapas, la que consta en la planificación de las medidas necesarias para la mejora de las falencias, la implementación de estas medidas, la verificación de la efectividad del sistema y la evaluación final y la toma de acciones de contingencias si estas fuesen necesarias.

Implementación del sistema de gestión

Para la implementación y demostración de la efectividad del sistema de gestión de seguridad eléctrica se realizó un estudio de caso. El estudio revisado en esta sección, brinda una visión general sobre algunos aspectos de la integración del sistema de gestión propuesto a la gestión de seguridad y salud ocupacional de la empresa donde se implementó y, más específicamente, sobre los beneficios y dificultades de tenerlo (Simon et al., 2012). De acuerdo con el sistema de gestión de seguridad eléctrica desarrollado, en primera instancia se realiza una evaluación de contexto, en esta etapa se realizó una auditoría inicial (Figura 3), la cual muestra las deficiencias de la empresa estudiada y como se observa en la Figura 1, no está muy alejada de las deficiencias que muestran la mayoría de las empresas antes auditadas.

Siguiendo en las etapas del sistema de gestión de seguridad eléctrica, se procede a realizar la etapa de planificación en donde se formuló un plan de implementación con acciones como mejorar la infraestructura eléctrica, planes de mantenimiento, sistematización de los sistemas de documentación, los procedimientos de seguridad, los entrenamientos eléctricos, entre otros, ya que el sistema de gestión de seguridad eléctrica se basa en un enfoque integral que abarca todos los factores que influyen en la seguridad no solo los controles administrativos y EPP. Si se limita a solo eso, entonces el esfuerzo de seguridad eléctrica no verá un significativo cambio (Liggett, 2006). Posteriormente se procede a implementar lo propuesto en la etapa anterior.

La efectividad de los sistemas de gestión puede ser evaluada y medida por el análisis de una amplia variedad de factores que, en su conjunto, constituyen el aporte a la gestión de seguridad eléctrica (Acosta-Palmer y Troncoso-Fleitas, 2011). Por lo que, para verificar la eficacia del sistema de gestión propuesto se realizó una segunda auditoría, con el fin de recopilar los datos de los progresos y de esta manera cuantificar el mejoramiento alcanzado (Figura 4).

Reconocimiento de los beneficios

La implementación de la gestión de seguridad eléctrica beneficia a todos los empleados y sobre todo a la empresa que lo implante (Lavell, 2001). Lo que queda demostrado en la tabla comparativa entre la auditoría inicial versus la auditoría de

seguimiento (Tabla 3), en donde queda de manifiesto la mejora en todos los tópicos evaluados, pero a pesar de estos grandes resultados aún no se logra tener la evaluación de cumplimiento mínima. Aun así, entre las numerosas ventajas que proporciona la implementación de un sistema de gestión de seguridad eléctrica se lograron reconocer:

- Reducción potencial en el número de accidentes e incidentes en el lugar de trabajo.
- Reducción potencial de tiempos improductivos y costes asociados.
- Demostración frente a todas las partes interesadas del compromiso con la seguridad y salud laboral. Entre las partes interesadas se encuentran, trabajadores, delegados, de personal y prevención, autoridades laborales, etc.
- Reducción potencial de los costos asociados a gastos médicos.
- Permite obtener una posición privilegiada frente a la autoridad competente al demostrar el cumplimiento de la legislación y regulación vigente y de los compromisos adquiridos.
- Asegura credibilidad centrada en el control de la seguridad eléctrica. Se obtiene mayor poder de negociación con compañías aseguradoras gracias al respaldo confiable de la gestión del riesgo en la empresa.
- Mejor manejo de los riesgos en seguridad eléctricos ahora y en un futuro.

Limitación del método

A pesar de que los resultados positivos son evidentes, aun no se logra cumplir con la totalidad de los requerimientos para el cumplimiento de las normativas vigentes, debido a que el tiempo de implementación de un sistema de gestión de seguridad eléctrica como este, necesita como mínimo un periodo de 3 años para cumplir los objetivos planeados. Si bien los controles administrativos son posibles de implementar a corto plazo, acciones como la estandarización de las instalaciones, formulación de planes de mantenimiento, estudios eléctricos y otros requerirán más tiempo porque puede que incluso se tengan que formular planes de inversión a largo plazo.

Otra limitación importante es la cultura de seguridad existente actualmente, la de evaluar la seguridad eléctrica de similar manera a como se evalúan todos los procesos de seguridad, siendo que la seguridad eléctrica está regulada por normas legales y técnicas y que según las evaluaciones realizadas en la mayoría de los casos no son consideradas.

Recomendaciones

Dado que los resultados obtenidos son consistentemente positivos, se recomienda la implementación del sistema propuesto de seguridad eléctrica integrado al sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional de la empresa que lo implemente, ya que quedaron demostrados los beneficios que el sistema propuesto proporciona. Además, la sistematización de la gestión aumenta la eficiencia y eficacia de los procesos considerados en el sistema de gestión de seguridad eléctrica.

Proyecciones

Si bien los resultados se basan en una sola empresa, el sistema de gestión de seguridad eléctrica se está implementado en 5 empresas incluidas en las auditorías iniciales. Los resultados de los procesos de implementación no se incluyen en este estudio debido a que no

fue posible realizar la auditoría de seguimiento, por las restricciones de la actual pandemia de COVID-19 la implementación se ha visto retrasada. Se proyecta que a partir de la publicación de los resultados de los procesos de implementación de esta y las otras empresas que lo están implementando, más empresas estarán interesadas en implementar, ya que la seguridad eléctrica en los distintos países es uno de los procesos de seguridad más regulado tanto por normativas legales como por normas técnicas. Precisamente, uno de los objetivos del sistema de gestión propuesto es cumplir con la normativa tanto legal como técnica según sea la empresa que lo implemente y el país donde se implementa, más si se considera que todas las prácticas propuestas se integran fácilmente a la gestión habitual en materia de Seguridad y Salud Ocupacional.

Las principales conclusiones derivadas de esta investigación son:

- En conclusión, con base a los resultados obtenidos de las auditorías iniciales queda demostrado el problema planteado en este estudio. Es decir, que las empresas analizadas no aplican un sistema de gestión de seguridad eléctrica, principalmente por desconocimiento de este concepto o porque no existe un sistema el cual implementar.
- Con la implementación del sistema de gestión propuesto los estándares de seguridad eléctrica necesarios para cumplir con las normativas vigentes, son alcanzables ya que existe un mejoramiento en la cultura y educación acerca de la seguridad eléctrica, se mejoran las instalaciones, el mantenimiento pasa a ser un control preventivo y eficiente, una sistematización de gestión documental facilita también la calificación y autorización, lo que se traduce en mejores y específicos procedimientos, capacitaciones y entrenamiento lo que finalmente mejora los sistemas de protección y prevención de incidentes eléctricos en la empresa que implementa el sistema.
- Estas mejoras significan una serie de beneficios tangibles como es la protección de los equipos eléctricos, disminución de costos producidos por la interrupción operacional y la disminución de incidentes, sin mencionar los beneficios intangibles como el aumento en la sensación de seguridad de los trabajadores, mejores capacitaciones, etc.
- Finalmente quedó demostrado que el sistema propuesto está basado en los principios de la seguridad eléctrica, lo que se traduce en reducir los accidentes a las personas, reducir los costos por daños a los equipos e instalaciones y optimizar la continuidad operacional buscando el uso seguro y eficiente de la energía eléctrica.

Referencias

- Acosta-Palmer, Héctor R., & Troncoso-Fleitas, Mayra de la C. (2011). Auditoria integral de mantenimiento en instalaciones hospitalarias, un análisis objetivo. *Ingeniería Mecánica*, 14(2), 107-118.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442011000200003&lng=es&tlng=es.

- Anderson, R., McGaw, S., & Parra, G. (2019). An analysis of a decade of electrical safety incidents in the global EPC industry. In 2019 IEEE Petroleum and Chemical Industry Committee Conference (PCIC). <https://doi.org/10.1109/PCIC30934.2019.9074527>
- Azadeh, A., Gaeini, Z. & Moradi, B. (2014). Optimization of HSE in maintenance activities by integration of continuous improvement cycle and fuzzy multivariate approach: A gas refinery. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 32, 415–427. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2014.10.006>
- Becker, T. & Davis, C. (2015). Electrical Safety: A Program Development Guide. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 51(5), 4284–4290. <https://doi.org/10.1109/TIA.2015.2433893>
- Biler, S. (2017). Auditoria. Elementos esenciales Audit. *Essential elements Auditoria. elementos essenciais. Dominio de Las Ciencias*, 3, 138–151. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5907383>
- Crow, D., Liggett, D., & Scott, M. (2018). Changing the electrical safety culture. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 9(1), 93–96. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v9.i1.pp93-96>
- Drewiske, G. W. & Kalcec, A. (2020). Assessing the Health of an Electrical System: An Approach From the Forest Products Industry. *IEEE Industry Applications Magazine*, 26(4), 54-58. <https://doi.org/10.1109/MIAS.2020.2981099>
- Eastwood, K., Liggett, D., & Hesla, E. (2002). Electrical safety programs. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 38(6), 1677–1681. <https://doi.org/10.1109/TIA.2002.805562>
- Electro Industria. (2016). *El panorama de la seguridad eléctrica en los lugares de trabajo*. <https://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2711&ni=el-panorama-de-la-seguridad-electrica-en-los-lugares-de-trabajo>
- Fisher, C. M., Barfield, J., Li, J., & Mehta, R. (2005). Retesting a model of the deming management method. *Total Quality Management and Business Excellence*, 16(3), 401–412. <https://doi.org/10.1080/14783360500053758>
- Gholizadeh, P., Onuchukwu, I. S., & Esmaeili, B. (2021). Trends in Catastrophic Occupational Incidents among Electrical Contractors, 2007–2013. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(10), 5126. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph18105126>
- IEEE. (2012). IEEE recommended practice for electrical safety in industrial and commercial power systems. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2012.6179956>
- Landis, H. (2022). Considerations for a Balanced Scorecard of Leading and Lagging Indicators for Your Electrical Safety Program: Leading and Lagging Indicators. *IEEE Industry Applications Magazine*, 28(3), 16-20. <https://doi.org/10.1109/MIAS.2021.3114640>
- Lavell, A. (2001). Sobre la gestión del riesgo: apuntes hacia una definición. *Biblioteca Virtual en Salud de Desastres-OPS*, 4, 1-22. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/019254/PDF/SobrelagestiondelriesgosAllanLavell.pdf>
- Lebedev, G., Zakharov, S., Zakharenko, S., Sytnik, V., & Zakharova, R. (2021). Influence of individual psychophysical characteristics of the worker on electrical accidents. In *E3S Web of Conferences*, 315, 02010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202131502010>
- Lee, K. Y., Moon, H. W., Kim, D. W., Lim, Y. B., & Ryu, I. H. (2021). A study on the development of an autonomous electrical safety management service using an IoT-based smart

- outlet. *The International Journal of Electrical Engineering & Education*, 58(2), 168-178. <https://doi.org/10.1177/0020720918822753>
- Liggett, D. (2006). Refocusing electrical safety. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 42(5), 1340–1345. <https://doi.org/10.1109/TIA.2006.880902>
- Lopez Cachero, M. (1998). La gestión integral de la calidad, los riesgos medioambientales y los laborales: Ventajas de la gestión integrada frente a la gestión independiente. *UNE: boletín mensual de AENOR*, 121, 9. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/019254/PDF/SobrelagestiondelriesgosAllanLavell.pdf>
- National Fire Protection Association. (2021). Standard for electrical safety in the workplace. <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=70E>
- Organización internacional de normalización. (2018). Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo — Requisitos con orientación para su uso <https://www.iso.org/standard/63787.html>
- Kaplan, R., y Norton, D. (2008). Cómo dominar el sistema de gestión. *Harvard Business Review*, 86(1), 40-57. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2506525>
- Roldán-Molina, G. R., Ruano-Ordás, D., Basto-Fernandes, V., & Méndez, J. R. (2021). An ontology knowledge inspection methodology for quality assessment and continuous improvement. *Data and Knowledge Engineering*, 133, 101889. <https://doi.org/10.1016/j.datak.2021.101889>
- Rungtusanatham, M., Ogden, J. A., & Wu, B. (2003). Advancing theory development in total quality management: A “Deming management method” perspective. *International Journal of Operations and Production Management*, 23(7–8), 918–936. <https://doi.org/10.1108/01443570310486356>
- Sarkar, F., & Sarkar, I. (2021). Development of Proactive Mine Electrical Safety Management System (MESMS) for Indian Underground Hard Rock Mines: A Risk Assessment Based Approach. <https://www.ieomsociety.org/proceedings/2021india/179.pdf>
- Simon, A., Karapetrovic, S., & Casadess, M. (2012). Difficulties and benefits of integrated management systems. *Industrial Management and Data Systems*, 112(5), 828–846. <https://doi.org/10.1108/02635571211232406>