



Universidad del Desarrollo
Facultad de Ingeniería

GESTIÓN DE MANTENIMIENTO: MEJORAS EN LA DISPONIBILIDAD DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

Ignacio Alfonso Rojas Quiroz

PROFESOR(ES) GUÍA: GUSTAVO CANEPA VIVANCO, Máster.
HÉCTOR VALDÉS GONZÁLEZ, PhD

PROYECTO DE GRADO PRESENTADO A LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA
UNIVERSIDAD DEL DESARROLLO PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE
MAGÍSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL Y DE SISTEMAS

CONCEPCION- CHILE
2023



Universidad del Desarrollo
Facultad de Ingeniería

GESTIÓN DE MANTENIMIENTO: MEJORAS EN LA DISPONIBILIDAD DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

POR: IGNACIO ALFONSO ROJAS QUIROZ

Proyecto de Grado presentado a la Comisión integrada por los profesores:

PROFESORES GUIA: GUSTAVO CANEPA VIVANCO, Máster y HÉCTOR VALDÉS GONZÁLEZ, PhD.

PROFESOR INTEGRANTE 1: Miguel Ángel González Lorenzo, PhD

PROFESOR INTEGRANTE 2: José Luis Salazar, PhD

Para completar las exigencias del Grado de Magíster en Ingeniería Industrial y de
Sistemas.

Diciembre, 2023

Concepción, Chile

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Por medio de la presente, declaro que el trabajo titulado: **GESTIÓN DE MANTENIMIENTO: MEJORAS EN LA DISPONIBILIDAD DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS**, que presento a la Universidad del Desarrollo de Chile, es de mi autoría (o co-autoría) y no ha sido publicado previamente, ni está siendo considerado para publicación bajo otra filiación. En igual sentido, declaro que el trabajo de tesis y su contenido, son originales y que todos los datos y referencias a trabajos ya publicados con anterioridad han sido debidamente identificados, referenciados o citados en el documento, y que estas citas han sido incluidas en las referencias bibliográficas. Afirmo, asimismo, que los materiales presentados no se encuentran protegidos por derechos de autor; y en caso de que así lo estuvieran, me hago responsable de cualquier litigio o reclamo relacionado con la violación de derechos de propiedad intelectual, exonerando de toda responsabilidad a la Universidad del Desarrollo de Chile.

Finalmente, me comprometo a no someter este trabajo (o parte de este), a consideración en ninguna revista o congreso para publicación sin contar con la aprobación y haber pasado el debido proceso de revisión en Universidad del Desarrollo. En caso de que un artículo sea aprobado para su publicación, autorizo a la Universidad del Desarrollo a incluir dicho artículo en sus revistas, y a reproducirlo, editarlo, distribuirlo, exhibirlo y comunicarlo en el país y en el extranjero, por medios impresos, electrónicos, Internet o cualquier otro medio, para propósitos científicos y sin fines de lucro.



Ignacio Alfonso Rojas Quiroz

Firma

*A todos los soñadores incansables y valientes,
que encuentran fuerza en sus objetivos
su constancia será recompensada con éxito.*

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, expresar mi profundo agradecimiento a mis progenitores, quienes me han concedido el inestimable don de la existencia y me han proporcionado un respaldo incuestionable y una fortaleza que han sido pilares fundamentales desde mi infancia, instándome a perseguir mis metas y a avanzar independiente de los obstáculos.

Mis hermanos han constituido una fuente mutua de apoyo, siempre a mi lado en la consecución de mis objetivos y desafíos personales, brindándome un sólido respaldo moral y humano.

A mi pareja dándome su apoyo constante en esta etapa de mi vida y motivación para continuar con los distintos obstáculos presentados.

A mis amigos y a todas aquellas personalidades notables que han cruzado mi camino, les agradezco por enriquecer mi existencia con valiosas lecciones, experiencias y vivencias que han propiciado cambios significativos, impulsándome a evolucionar tanto a nivel personal como profesional.

Este logro representa el fruto de un proceso de formación personal y profesional extenso y profundo, que, aunque aparentemente individual, he llegado a comprender que nunca se resuelve de manera aislada. Todo este conjunto de personas significativas ha brindado un constante respaldo en este trayecto repleto de desafíos y adversidades, donde nos hemos respaldado mutuamente.

En el ámbito profesional, deseo expresar mi fascinación hacia la facultad de ingeniería y los profesores del programa del magister. Ellos han proporcionado una amplia gama de herramientas y conocimientos que trascienden mi formación inicial. Su encanto y pasión por transmitir y enseñar sus materias me cautivaron y motivaron a seguir estudiando y creciendo en este apasionante campo. Sin duda, sin su influencia, este estudio no habría sido posible.

Un agradecimiento especial dirigido a Gustavo y Héctor, mis profesores guías, cuya riqueza de experiencia, herramientas y profesionalismo fueron esenciales para llevar a cabo esta investigación.

A todos ellos, mis sinceros agradecimientos por constituir parte integral de mi vida, por su apoyo incondicional, sus consejos y por acompañarme en los momentos de altibajos que han contribuido a forjar la persona que soy en la actualidad.

GESTIÓN DE MANTENIMIENTO: MEJORAS EN LA DISPONIBILIDAD DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

Ignacio Alfonso Rojas Quiroz

Bajo la supervisión de los Profesores Gustavo Canepa Vivanco, Máster y Héctor Valdés-González, Phd en la Universidad del Desarrollo de Chile

Resumen

Este trabajo presenta un diagnóstico realizado a los sistemas de protección contra incendios en un Complejo Forestal Industrial, identificando brechas que afectan en la disponibilidad y operatividad de estos sistemas frente a emergencias bajo un enfoque de mejora continua. El objetivo de esta investigación es priorizar oportunidades de mejora que impiden una gestión activa del mantenimiento de sistemas de protección contra incendio en el rubro industrial para una mayor disponibilidad y operatividad de estos sistemas frente emergencias. Para lograrlo se propone la utilización de la metodología DMAIC de manera de conocer los porqués y las razones por las que suceden los procesos que se manifiestan, la que se sustenta en su etapa de medición con la realización de una aproximación cualitativa basada en entrevistas semiestructuradas a 7 profesionales que participan activamente en la operación de los sistemas de protección contra incendio en un complejo forestal industrial de Arauco, considerando las normativas vigentes nacional e internacionales para la comprensión de cómo porque ciertas barreras impiden en una correcta gestión y mantenimiento para la adecuada disponibilidad de dichos sistemas, detectando causas y sus respectivas propuestas de mejoras. Tras el análisis de los datos, se observa que al superar las barreras detectadas y considerando las oportunidades de mejoras identificadas, estas impactan de forma positiva a la gestión de mantenimiento lo cual permitiría en el aumento de la disponibilidad de los sistemas de protección contra incendios, entregando confianza al entorno productivo debido a una mejor percepción de seguridad de las personas e instalaciones de la compañía. En síntesis, se concluye que el atenuar las barreras identificadas en esta investigación reduce el riesgo de daños y mejora la confiabilidad del proceso de gestión de mantenimiento.

Palabras claves: Equipos contra Incendio; NFPA; Análisis de Vulnerabilidad; Mejora Continua; Gestión Emergencia

HIGHLIGHTS

GESTIÓN DE MANTENIMIENTO: MEJORAS EN LA DISPONIBILIDAD DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

Ignacio Alfonso Rojas Quiroz

- Comprensión de los equipos que inciden en la protección industrial frente incendios.
- Prioriza mejoras en mantenimiento de sistemas protección contra incendio.
- Utiliza herramienta DMAIC aplicado en el ámbito industrial para equipos contra incendios.
- Se sugiere ser implementado a través de las recomendaciones mencionadas.

ÍNDICE GENERAL

1 Tabla de contenido

1	INTRODUCCIÓN	8
1.1	OPERATIVIDAD DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS	9
1.2	BREVE DISCUSIÓN DE LA LITERATURA	9
1.3	CONTRIBUCIÓN DEL TRABAJO	17
1.4	OBJETIVO GENERAL	17
1.4.1	<i>Objetivos específicos</i>	18
1.5	PROPUESTA METODOLÓGICA	18
1.6	ORGANIZACIÓN Y PRESENTACIÓN DE ESTE TRABAJO	22
2	INFORMACIÓN Y RESULTADOS	24
2.1	PROCEDIMIENTO DE RECOGIDA Y ANÁLISIS DE DATOS	24
2.2	PROCESO DE RECOGIDA DE INFORMACIÓN	26
2.3	LOS DATOS RECOGIDOS:	26
2.4	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS	28
2.5	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	32
3	ARTÍCULO	36
4	CONCLUSIONES GENERALES	52
4.1	PROPUESTA PARA TRABAJOS FUTUROS	54
5	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	55
6	ANEXO: REPORTE DE PLAGIO	60

1 INTRODUCCIÓN

Los incendios industriales representan una seria amenaza en el sector industrial, siendo catalogados como uno de los riesgos no catastróficos más recurrentes con consecuencias significativas para las plantas industriales (Willis Towers Watson, 2020). En este contexto, se resalta la imperiosa necesidad de priorizar las acciones y medidas de seguridad que permiten aportar a la disponibilidad de los Sistemas de Protección Contra Incendios (abreviado como SPCI) garantizando no solo la continua operatividad de estos sistemas y de su correcto mantenimiento, sino también la protección integral de personas, comunidades y activos industriales. Esto no solo fortalece la resiliencia del sector ante contingencias, sino que también promueve la adopción de prácticas sostenibles y la preparación proactiva para enfrentar desafíos futuros, contribuyendo a un entorno industrial más seguro y sostenible.

La gestión de mantenimiento se erige como un componente esencial para preservar los recursos empresariales y asegurar una producción eficiente (Juarez, 2020). La ausencia de un mantenimiento adecuado puede desencadenar interrupciones productivas, incumplimiento de plazos y, en última instancia, aumentar la probabilidad de accidentes (Arata & Furlanetto, 2005). En este escenario, esta investigación se enfoca en la vital importancia de la gestión de mantenimiento de los SPCI en instalaciones industriales, con el objetivo primordial de asegurar su operatividad mediante una planificación cuidadosa y la pronta reparación de posibles fallas, fortaleciendo así a la capacidad de respuesta ante emergencias, mejorando la seguridad general en el entorno industrial y de continuidad operacional.

Este estudio explora la filosofía de mejora continua como un enfoque clave para mejorar procesos y maximizar el valor empresarial en el contexto de la seguridad contra incendios. A lo largo de la investigación, se analizarán metodologías como DMAIC, vinculadas a Six Sigma, con el propósito de identificar y abordar eficientemente los problemas que puedan afectar negativamente los procesos en estudio. Este enfoque metodológico permite una evaluación exhaustiva y una respuesta efectiva a posibles deficiencias en los SPCI, contribuyendo así a la priorización de mejoras que permitan entornos industriales más seguros y resilientes utilizando como referencia un complejo forestal industrial de Arauco.

1.1 Operatividad de los Sistemas de Protección Contra Incendios

La gestión de mantenimiento implica en la preservación de los recursos de la empresa para el resguardo de una producción eficiente evitando el desperdicio económico en el proceso. La carencia de un adecuado mantenimiento puede originar problemas o síntomas en las maquinas que consecuentemente, provocan interrupciones productivas, falta de cumplimiento de los plazos establecidos para las entregas, periodos sin actividades, junto con el incremento en la probabilidad de generar accidentes, constituyen algunas de las consecuencias derivadas de esta situación (Juarez, 2020).

Dentro del ámbito del mantenimiento se distinguen primordialmente dos categorías principales, el preventivo y el correctivo. El primero se orienta hacia la preservación de equipos mediante inspecciones y reparaciones, con el objeto de adelantarse y asegurar un funcionamiento óptimo, mejorando la confiabilidad de los equipos previniendo fallas repentinas, así como evitar paradas no planificadas. Mientras que el correctivo es la forma más básica de mantenimiento y consiste en localización de averías o defectos y repararlos (Pinedo, 2017).

Dado lo anterior es relevante llevar una apropiada gestión de mantenimiento a todos los equipos de una instalación los cuales incluyen a los SPCI para que estén operativos en todo momento con su correcta planificación/programación y que además permita la reparación de fallas o equipos en mal estado a tiempo, disminuyendo así el riesgo de la generación de situaciones de emergencias como incendios, fugas, fallas en sistemas de seguridad, entre otras. Emergencias que pueden involucrar a la protección de las instalaciones, a las personas, medio ambiente y comunidades cercanas.

Dada esta realidad presentada surge el siguiente cuestionamiento: ¿Cómo se puede aumentar la disponibilidad operativa de equipos de emergencia contra incendio en una planta industrial?

1.2 Breve discusión de la literatura

Celulosa Arauco se destaca como una empresa líder en el sector forestal en Chile, la cual fue constituida en el año 1970 y con una misión de aportar al bienestar de las personas mediante productos forestales en un entorno sostenible, el cual se ha logrado posicionar y ser

reconocida por sus productos de alta calidad, con estándares de producción, compromiso social, innovación, manejo ambiental y como una de la mayores Forestales a nivel mundial con presencia en Estados Unidos, Canadá, Uruguay, Brasil, México y Argentina. Arauco ha sabido ser visionaria en la globalización de sus operaciones cumpliendo las leyes de cada país en donde está presente como una exigencia propia del holding. Las plantas de Celulosa en Chile están ubicadas en Licanten y Constitución, Nueva Aldea, Arauco y San Jose de Mariquina (Memoria Arauco, 2017).

Dentro del contexto laboral, uno de los aspectos prioritarios en la empresa es la seguridad y protección industrial de todo el personal que trabaja en las distintas instalaciones buscando siempre proteger y resguardar la salud del trabajador, así como también las condiciones del entorno, equipos y materiales que se encuentren dentro de la instalación y a las comunidades vecinas.

Incendios industriales

Los incendios industriales emergen como una de las amenazadas primordiales en el sector industrial, constituyendo intrínsecamente uno de los riesgos no catastróficos más recurrentes, de mayor impacto y repercusión en las plantas industriales (Willis Towers Watson, 2020).

Pese a que no exista tanta estadística oficial sobre cantidad de incendios en Chile. La ocurrencia de siniestro es alta y con consecuencias que pueden generar pérdidas cuantiosas en magnitudes económicas y de seguridad. De acuerdo con (Orelvis, 2006) en el país se ha hecho un esfuerzo importante por incorporar requerimientos y exigencias de protección contra incendios en las edificaciones, pero aún falta bastante por aprender y mejorar en esta área.

Es por lo anterior expuesto que resulta relevante priorizar las medidas de seguridad y equipamiento de los sistemas de protección contra incendios tanto del punto de vista operativo como de mantenimiento, asegurando la disponibilidad de estos equipos y con ello a la protección de las personas, comunidades y los activos de las compañías.

Sistemas de protección contra incendios (SPCI)

Se entiende como SPCI como cualquier mecanismo de alarma destinado a detectar, controlar y extinguir incendios, ya sea de manera individual o en combinación con otros sistemas. Estos dispositivos, que incluyen sistemas de extinción, están diseñados e instalados con el

propósito de alertar a los ocupantes, al cuerpo de bomberos o a ambos, sobre la ocurrencia de un incendio (NFPA 1, 2018).

Por otra parte, en (Ojeda & Aguilera, 2021) se caracteriza como la totalidad de disposiciones y dispositivos implementados en estructuras, instalaciones industriales, construcciones y diversas entidades, con el propósito de salvaguardarlos frente a los efectos adversos del fuego.

Dentro del contexto de los SPCI, se identifican dos modalidades de protección: Sistemas Pasivos y Sistemas Activos, los cuales desempeñan roles complementarios en diversas fases del desarrollo de un incendio.

La primera se fundamenta en elementos constructivos que, debido a sus propiedades físicas, proporcionan un aislamiento temporal de la estructura edificada frente a los efectos del fuego, permitiendo así la evacuación antes que se produzca un posible colapso. En términos generales en Chile se profundiza el enfoque hacia esta categoría de protección encontrándose más normativas y estudios garantizando la protección de la edificación. Por otra parte, la protección activa se estructura con la finalidad de proporcionar intervención directa frente a incendios, buscando la reducción, gestión, control y extinción del fuego hasta la llegada de los bomberos. En este contexto, se identifica tres clasificaciones: Detección, supresión del fuego y ventilación (CDT, 2021).

Gestión de Mantenimiento: Teoría y Definiciones

La gestión de mantenimiento implica en la preservación de los recursos de la empresa para el resguardo de una producción eficiente evitando el desperdicio económico en el proceso. La carencia de un adecuado mantenimiento puede originar problemas o síntomas en las máquinas que consecuentemente, provocan interrupciones productivas, falta de cumplimiento de los plazos establecidos para las entregas, periodos sin actividades, junto con el incremento en la probabilidad de generar accidentes, constituyen algunas de las consecuencias derivadas de esta situación (Juarez, 2020).

El principio fundamental que sustenta el desarrollo del mantenimiento reside en la constante mejora del proceso de mantenimiento. Esto se logra mediante la integración de conocimientos especializados y evaluación crítica que respaldan la adopción de medidas en este ámbito, con el propósito de favorecer los resultados económicos y operativos en su conjunto (Arata & Furlanetto, 2005).

Dentro del ámbito del mantenimiento se distinguen primordialmente dos categorías principales, el preventivo y el correctivo. El primero se orienta hacia la preservación de equipos mediante inspecciones y reparaciones, con el objeto de adelantarse y asegurar un funcionamiento óptimo, mejorando la confiabilidad de los equipos previniendo fallas repentinas, así como evitar paradas no planificadas. Mientras que el correctivo es la forma más básica de mantenimiento y consiste en localización de averías o defectos y repararlos (Pinedo, 2017).

Considerando la necesidad de las distintas compañías, en particular las que son de carácter industrial, se requiere la ejecución de tácticas de mantenimiento dirigidas hacia los equipos de la industria, buscando anticipar y atenuar de manera oportuna posibles fallos que podrían obstaculizar las operaciones vinculadas a los distintos procesos que tenga la planta industrial. De esta manera, se asegura el óptimo rendimiento de los equipos durante periodos de alta demanda, al tiempo que se garantiza el cumplimiento en las entregas de los distintos productos (Blanco & Duque, 2018).

Dado lo anterior es relevante llevar una apropiada gestión de mantenimiento a todos los equipos de una instalación los cuales incluyen a los SPCI para que estén operativos en todo momento con su correcta planificación/programación y que además permita la reparación de fallas o equipos en mal estado a tiempo, disminuyendo así el riesgo de la generación de situaciones de emergencias como incendios, fugas, fallas en sistemas de seguridad, entre otras. Emergencias que pueden involucrar a la protección de las instalaciones, a las personas, medio ambiente y comunidades cercanas.

Una mirada a la filosofía de mejora continua

La mejora continua abarca desde un concepto de filosofía como también un enfoque concebido con el propósito de perfeccionar de manera constante el desempeño diario, los estándares de calidad y productividad, costos, niveles de satisfacción, niveles de seguridad, tiempos totales de los diversos ciclos, tiempos de respuesta y grado de fiabilidad de los procesos (Esquivel et al, 2017)

Se entiende esta filosofía como una o varias actividades que son recurrente y que están enfocadas al mejoramiento del desempeño en los procesos del cual se está estudiando.

Acorde con (Carrillo et al., 2022). A lo largo del tiempo, se han ideado metodologías y filosofías hacia la búsqueda constante de estrategias destinadas al mejoramiento del rendimiento operativo y llevar al máximo el valor intrínseco de las empresas.

Conforme a las circunstancias específicas de cada entidad empresarial, industrial u organizacional, surgen diversas exigencias que requieren adaptarse a su contexto. Estas demandas engloban la mejora de la eficiencia en sus procedimientos y la atención centrada en la identificación y eliminación de actividades perjudiciales que puedan afectar negativamente el desarrollo de dichos procesos.

Estos enfoques emplean diversas herramientas con el propósito de implementar la mejora continua. Como es el caso de DMAIC el cual es una herramienta de la metodología Six Sigma que busca la mejora de procesos a través de una identificación y eliminación de problemas que no generen valor alguno en los distintos procesos en estudio.

Acorde con (Tolamatl Michcol et al., 2011). Diversas empresas han utilizado Six Sigma como un modelo estratégico de gestión, otras como una estructura de trabajo para la eliminación de la variación de procesos y otros únicamente como una herramienta para resolver problemas

DMAIC

La metodología de proceso usada por Seis Sigma se desarrolla mediante el ciclo DMAIC por sus siglas en inglés (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) (Vidal et al., 2018) y dicha metodología es un proceso iterativo que sigue un formato estructurado y disciplinado (McCarty et al., 2004). Facilita a las organizaciones la reconsideración de sus procedimientos, eliminando obstáculos y proporcionando una consistente calidad. Esta metodología consiste en la identificación y solución a problemas a través de cinco etapas:

1. Definir: Primera etapa orientada a la comprensión del problema.
2. Medir: En la segunda etapa está orientada a identificar causas claves del problema.
3. Analizar: Tercera etapa enfocada en procesar los datos hasta llegar a las causas que han originado el problema.
4. Mejorar: Se enfoca en generar posibles soluciones al problema identificando las propuestas de mejoras más convenientes.
5. Controlar: Elaboración de procedimientos o estrategias que permitan controlar las mejoras. (Carrillo et al 2022).

Para ejecutar las diversas fases del DMAIC se utilizan diferentes herramientas, para efecto de este trabajo se detallan las más significativas en esta investigación.

Project Charter

También conocido como Project definition o statement, constituye una descripción que aborda el alcance, los objetivos y los participantes involucrados en una iniciativa específica. Este documento establece de manera preliminar las funciones y responsabilidades, de los objetivos del proyecto, identifica a los principales interesados y establece la autoridad del director del proyecto. Funciona como un punto de referencia que respalda la autoridad a lo largo del desarrollo del proyecto (Farag, 2021).

Diagrama Proceso

El diagrama de proceso representa visualmente las partes de un proceso el cual permite dar como punto de partida a la identificación de actividades que no agregan valor, problemas o ineficiencias en los distintos aspectos del proceso.

Análisis del modo y efecto de falla (AMEF)

Denominado como Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) en inglés o AMEF en español, este enfoque se emplea con la finalidad de anticipar potenciales fallos que puedan existir en un determinado proceso antes de su entrega al cliente. Es una herramienta que permite la identificación y las consecuencias del disfuncionamiento de un equipo de producción, el producto fabricado, la seguridad de las personas y los bienes materiales (Contreras, 2023).

El AMFE es una herramienta ampliamente reconocida para el análisis de los modos de fallo presentes en un sistema. La evaluación en el AMFE se basa en tres elementos que componen el número de prioridad del riesgo (NPR), a saber, la severidad del efecto del fallo (S), la probabilidad de ocurrencia de los distintos modos de fallas (O) y la detección del fallo (D) (es decir, $NPR = S \times O \times D$). Cada elemento se evalúa en una escala de 1 a 10, en la que un valor más alto indica la eventualidad de que ocurra ese particular fallo (Lo et al, 2019).

Por último, se clasifican todos los distintos de fallos en función de sus NPR y se supone que los fallos mejor clasificados deben ser objeto de precauciones correctivas (Liu et al., 2013).

El número de prioridad del riesgo (NPR) ofrece una forma útil para la clasificación los modos de fallo, y se han realizado numerosos estudios que investigan el uso de este número (Su et al, 2012).

El análisis modal y efecto de fallas es una herramienta de calidad eficaz para la eliminación de los riesgos y el mejoramiento de la estabilidad y la seguridad en los ámbitos de la industria manufacturera y de servicios (Ouyang et al, 2020).

Sin embargo, la utilización única del NPR para la determinación en el modo de fallo la cual requiere una acción correctiva, puede causar graves problemas en los estándares o

rendimiento en una organización. Las empresas que deseen evitar las limitaciones del NPR deben evaluar el riesgo con una combinación de índices, como Gravedad, Ocurrencia y Detección (Hartwell, 2022).

Ishikawa

El Diagrama Causa – Efecto también es reconocido como Espina de Pescado, por su similitud al esqueleto de un pez, o Ishikawa en honor al Profesor Kaoru Ishikawa, quien lo desarrolló en 1943. (Neira, 2009)

Es una herramienta que ayuda a la identificación y análisis de las causas potenciales de un problema, el diagrama se basa en que todo problema tiene una causa raíz, y que esta es posible identificarla junto con la realización de un análisis de estas de acuerdo con unas categorías, las que pueden subdividirse en subcausas para entrar en mayor detalle del problema.

Acorde con (Barsalou & Starzyńska, 2023) los cinco porqués pueden integrarse con un Ishikawa para la localización de las causas fundamentales a una escala más detallada. Este proceso implica la expansión de las ramificaciones a medida que se responden sucesivas preguntas sobre los porqués facilitando así la localización de causas raíces a un nivel más profundo.

¿5 Por qué o 5W?

Los cinco porqués tienen su origen en el Sistema de Producción Toyota (Gangidi, 2019) técnica que fue desarrollada por Sakichi Toyada, quien en una ocasión estaba trabajando en el mejoramiento de los procesos de producción de la compañía, y la aplicó para la detección de problemas y resolverlos más rápidamente y con ello el aumento de la productividad. Esta técnica consiste en ir a la causa anterior 5 veces, para comprender el problema originario y atacarlo directamente (Araujo, 2018).

Breve discusión en Chile e Internacional

En el marco chileno la mejora continua ha experimentado un notorio auge, ingresando a sectores tan diversos como la manufactura, los servicios financieros, el bienestar y el progreso tecnológico, con la mira puesta en perfeccionar la eficiencia y calidad en los distintos procesos. Si bien la implementación de las mejoras puede variar según las particularidades de cada metodología, su esencia centrada en la mejora continua ha demostrado ser un catalizador con el propósito de mejorar la eficiencia en las operaciones en diversas áreas.

En Chile y de acuerdo con (Ramírez et al, 2007) se han implementado en diversas empresas aplicaciones de DMAIC como en 3M empresa global conocida por sus innovaciones en diversos sectores destacando su compromiso con la mejora continua o en el sector minero tanto Minera Escondida como Cerro Colorado, este enfoque se ha vuelto crucial para mejorar los procesos caracterizados por su complejidad y demanda de eficiencia. Otro actor de renombre como General Electric que ha desempeñado un papel significativo en la implementación de estas prácticas, así como también Coca Cola optimizando sus procesos de fabricación y distribución asegurando calidad constante de sus productos, entre otros.

En investigaciones realizadas por (Cano, 2019), dentro del contexto de Six Sigma, se ha aplicado este método para la optimización de operaciones en una empresa de codificaciones de productos y marcaje, en donde se observaron mejoras sobre todo en los procesos de almacenamiento, optimizando espacios en bodega y estandarizando secciones donde se realizan operaciones críticas. Otro caso como el de (Hermosilla 2019), donde se propone la implementación de una estrategia DMAIC para la disminución de pérdidas de material en la fabricación de chocolates, se concluye que se alcanza el objetivo de una disminución de pérdidas en demasías mediante la implementación de DMAIC, disminuyendo un 66,8% de las pérdidas de la línea Fabricación Chocolate.

A nivel internacional (Alkunsol et al 2019) investigo efectos de la implementación de proyecto Six sigma en el rendimiento de las organizaciones jordanas de fabricación de productos farmacéuticos y descubrieron una fuerte correlación entre la implementación del proyecto Six sigma y el rendimiento empresarial.

En el trabajo de investigación realizado por (Ramírez et al 2007), menciona una serie de aplicaciones realizadas con Six sigma tal y como se evidencia en (Patton, 2005) donde menciona aplicaciones de Six Sigma en Wal-Mart donde utilizan DMAIC en su cadena de suministro, así como en GE Capital, Bank of America y Quest Diagnostic y (Ruff, 2010) presenta destacadas experiencias en tiendas por departamentos —Macy's, Bloomingdale's, Vanguard Group— y en una empresa que manufactura circuitos electrónicos llamada GAI-Tronics.

Con respecto al análisis de modos y efectos de fallas cada vez es más frecuente su uso para análisis los factores de riesgos y en la detección de mejoras en los procesos de acuerdo con investigaciones realizadas por (ElLithy et al, 2023; Hassan et al, 2023; Ouyang et al, 2022)

DMAIC es una metodología reconocida por sus beneficios al perfeccionar procesos y mejorar operaciones, lo cual se refleja directamente en una elevación del nivel de excelencia en la prestación de servicios, además de la eliminación o disminución de actividades innecesarias. Finalmente, y habiendo revisado las principales contribuciones que aportan o han aportado a la línea de trabajo de este proyecto, es posible indicar que una oportunidad de desarrollo se encuentra en el hecho que no existe, para el caso de un Complejo Forestal Industrial, información suficiente o certeza, respecto de la disponibilidad de los sistemas de protección contra incendios. Lo que autoriza la siguiente como contribución para este proyecto de grado.

1.3 Contribución del trabajo

Habiendo explorado los pilares teóricos esenciales para esta investigación, resulta relevante señalar que la principal razón que ha impulsado la implementación de este proyecto ha sido la preocupación por la disponibilidad y operatividad de los SPCI frente a emergencias de tipo incendios para los complejos forestales industriales, en donde estos sistemas son la primera línea de ataque, prevención y control de emergencias, resguardando tanto a las personas como a la compañía. Es importante la visualización de aquellas barreras que afectan en la disponibilidad de estos sistemas y que permita la organización de una estructura robusta de mantenimiento y con ello la disminución de riesgos que puedan generarse debido a que no estén operativos. Ante esto se propone un análisis de los factores asociados en el mantenimiento de los SPCI que permitan un aumento en la disponibilidad operativa. En este sentido este trabajo contribuye a la comprensión de los componentes que conforman obstáculos operativos y cuyas oportunidades de mejoras conllevan a una mayor disponibilidad y operatividad de los sistemas de protección contra incendio. De acuerdo con lo mencionado anteriormente, este trabajo considera los siguientes como objetivo general y objetivos específicos para este trabajo de tesis.

1.4 Objetivo general

Priorizar oportunidades de mejora que impiden una gestión activa del mantenimiento de SPCI en el rubro industrial para una mayor disponibilidad y operatividad de estos sistemas frente emergencias.

1.4.1 Objetivos específicos

- Explorar normativas, literatura y casos de estudios sobre protección contra incendio industrial.
- Detectar las vulnerabilidades y deficiencias fundamentales que inciden en la disponibilidad y funcionamiento de los sistemas de protección contra incendios a través de la herramienta DMAIC.
- Llevar a cabo el análisis de modos y efectos de fallas con el propósito de proponer mejoras y ofrecer recomendaciones para abordar las deficiencias identificadas.

1.5 Propuesta metodológica

Paradigma y Diseño: En el marco de la investigación se ha optado por la utilización de la metodología DMAIC, la cual responde a un enfoque sistemático y estructurado que ha demostrado ser efectivo en la mejora de proceso en diversos contextos y con ello detectando las causas y la priorización de mejoras en los SPCI. De manera de conocer los porqués y las razones por las que suceden los procesos que se manifiestan, se realiza una serie de entrevistas que sustentan principalmente a la etapa de medición, en donde a través de una selección por conveniencia, se considera 7 entrevistas semiestructuradas con un contenido preestablecido la cual queda determinada por criterio de saturación teórica (Esto quiere decir entrevistar hasta que no haya nuevos descubrimientos o categorías) y así garantizar la evaluación de un amplio número de entrevistados con el fin de profundizar en materia del objeto en estudio.

Población sobre la que se efectuará el estudio: Para la población de estudio se consideró al personal activo en el mantenimiento y operación de los SPCI. Para ello se escogió una muestra de 7 personas con cargos de jefes o supervisores (5) y técnicos o generales (2). Los estudios de los entrevistados varían de estudios profesionales como ingeniería y carreras técnicas, las experiencias en el cargo varían desde 2 hasta un máximo de 17 años y tienen promedio 41 años y de 17 años de experiencia laboral aproximadamente.

Entorno: Arauco se sitúa como una de las principales compañías a nivel global en el sector de productos forestales, englobando operaciones en el área de Celulosa, Forestal, Maderas y Generación Eléctrica.

Se posiciona como uno de los productores más relevantes de celulosa a nivel global, contando con una capacidad operativa de 4 millones de toneladas al año. Este logro se basa en la gestión de distintas instalaciones productivas ubicadas tanto en Chile, una en Argentina, y otra en Uruguay.

Arauco opera un alto grado de integración hacia el recurso forestal y la energía. La compañía posee el principal acervo forestal de Sudamérica, abarcando aproximadamente 1 millón de hectáreas cultivadas, respaldadas con almacenamiento forestal que aseguran la continuidad del suministro y calidad de materia prima.

El enfoque estratégico de la empresa se sustenta en la mejora de la productividad y el desarrollo sostenible de sus plantaciones. Se distingue por la localización estratégica de sus instalaciones en estrecha proximidad a zonas de embarques; la implementación de tecnología de vanguardia y el compromiso continuo con las investigaciones para lograr mejoras constantes en la calidad y eficiencia productiva.

DMAIC: permitió la identificación y el abordaje de las causas raíz de los principales problemas en la disponibilidad de los SPCI conduciendo a propuestas de mejoras en donde:

Definir: Para el desarrollo de esta etapa se sustenta con los principios del Project Charter:

1. Nombre del Proyecto: Gestión de Mantenimiento Mejora en la disponibilidad de los SPCI.
2. Descripción del Proyecto: El proyecto surge como respuesta a la preocupación en la operatividad y disponibilidad de los SPCI. Las brechas identificadas durante el proceso de mantenimiento y operación agravan esta problemática. Para superar estos desafíos, se propone una búsqueda con un enfoque integral que incluye la planificación detallada de trabajos, estructura de responsables, comunicaciones, seguimiento y control riguroso de las acciones que no solo buscan mejorar la confiabilidad del entorno laboral, sino también reducir efectivamente los riesgos para las personas. La implementación exitosa de estas prácticas podrá replicarse en otros entornos, siempre y cuando se mantenga una estrategia de ejecución integral, evitando descuidar otros equipos de trabajo.
3. Caso de Negocio: La mala operatividad y disponibilidad de los SPCI representan un riesgo significativo para la seguridad y la integridad de los activos. Esta situación compromete la capacidad de respuesta ante emergencias, aumentando la probabilidad de daños catastróficos en caso de un incidente. Además, la falta de disponibilidad puede

generar retrasos significativos en la detección y contención de incendios, permitiendo que las situaciones de emergencia se agraven antes de intervenir de manera efectiva.

4. Objetivos del Proyecto:

- Aumentar la confiabilidad operativa de los SPCI.
- Establecer una estructura de trabajo eficiente.
- Gestionar de manera óptima el inventario de equipos.
- Fortalecer la cultura de seguridad en el entorno laboral.
- Mejorar la gestión de riesgos asociados a los SPCI.

5. Alcance del Proyecto:

- Inicio del Proceso: Análisis detallado de la situación actual de la operatividad y confiabilidad de los SPCI.
- Fin del Proceso: Generación de propuestas de mejoras concretas basadas en el análisis previo.

6. Plazo de Ejecución: 4 meses.

Medir: A través de las entrevistas y diagrama de proceso permitieron la articulación de un esquema global de las actividades que involucran el proceso del mantenimiento de los SPCI y su entendimiento por el personal.

Analizar: Por medio de AMEF se visualiza las posibles razones de las causas basales que afectan a los SPCI priorizando mejoras para cada una identificada, las que se evaluaron a través de las distintas puntuaciones de los elementos (S), (O) y (D) que se describen en la tabla I, la cual está alineada con la America Society of Quality (ASQ). Los productos de esta multiplicación y que dan origen a la clasificación de los NPR de acuerdo con (Gómez, 2019) son los siguientes:

- 500 - 1000 = Alto riesgo
- 125 - 499 = Falla medio
- 1 - 124 = Falla bajo
- 0 = No existe riesgo de falla

Tabla I Clasificación de gravedad para el cálculo de NPR

Severidad (S)		Ocurrencia (O)		Detección (D)	
Valor	Gravedad	Valor	Gravedad	Valor	Gravedad
10	Peligroso: Sin Aviso	10	Muy Alto > 1 en 2	1	Casi Imposible
9	Peligroso: Con Aviso	9	Muy Alto 1 en 3	2	Muy Remota
8	Muy Alto	8	Alta 1 en 8	3	Remota
7	Alto	7	Alta 1 en 20	4	Muy Baja
6	Moderado	6	Moderada 1 en 80	5	Baja
5	Bajo	5	Moderada 1 en 400	6	Moderada
4	Muy Bajo	4	Moderada 1 en 2.000	7	Altamente Moderada
3	Pequeño	3	Baja 1 en 15.000	8	Moderada
2	Muy Pequeño	2	Baja 1 en 150.000	9	Muy Alta
1	Ninguno	1	Remota < 1 en 1.500.000	10	Casi Seguro

(Fuente Elaboración Propia.)

Para la profundización en la búsqueda de los distintos fallos y así la obtención de una visión más compleja se utiliza herramientas como Ishikawa y cinco porqués.

Mejorar: La implementación de AMEF condujo a la generación de propuestas de mejora y acciones específicas dirigidas a abordar las causas identificadas.

Control: Entre las mejoras detectadas en la etapa previa se incorporan actividades de control las cuales aseguran la sostenibilidad a largo plazo de las propuestas formuladas.

Instrumentos: Se utilizó técnicas de obtención de datos cualitativas, entre las cuales se incluyen entrevistas semiestructuradas a los involucrados en el mantenimiento de los SPCI. Antes de su aplicación se introduce a los participantes en el contexto de estudio con el fin de evitar la generación de respuestas que se desvíen del mismo. La mayoría cuenta con un grado de conocimiento respecto al concepto. De las entrevistas realizadas se utilizaron una serie de preguntas abiertas las cuales consideran 3 etapas las que se describen a continuación:

Etapas 1: Caracterización del presente y comprensión de la realidad

1. ¿Cómo entiende usted el funcionamiento la red contra incendio?
2. ¿Cómo opera hoy la gestión mantenimiento de la red contra incendio?
3. ¿Cómo afectaría a la compañía si en una emergencia no funciona el sistema de protección contra incendio?

Etapas 2: Propuestas de alto impacto

4. ¿Cómo podríamos mejorar la situación actual sobre el mantenimiento de protección contra incendio?
5. Si yo le propusiera un modelo de gestión que facilite el abordaje de brechas en el proceso de mantenimiento y operatividad de los equipos de protección contra incendio ¿Estaría dispuesto a aplicarlo?

Etapas 3: Alertas sobre las transformaciones

6. ¿Cuál sería su principal preocupación al no identificar las brechas que afectan en la operatividad de los equipos de protección contra incendio?
7. ¿Cuáles son los factores que obstaculizarían la implementación de un proceso de mejora de nuestra gestión de mantenimiento de los sistemas de protección contra incendio?
8. ¿Cuál sería su principal preocupación respecto de la aplicación o implementación de mejoras de la gestión de mantenimiento de los sistemas de protección contra incendios?

Plan de análisis de datos: Se confecciono un set de preguntas categorizadas en 3 etapas que permiten comprender la situación actual de la problemática, los primeros entrevistados permitieron la calibración y el ajuste de las preguntas de manera de obtener una mejor aproximación a las respuestas.

Simultáneamente, se investigó información sobre las distintas actividades que involucran el proceso de mantenimiento de los sistemas de protección contra incendio determinándose las barreras que afectan en la disponibilidad de estos equipos.

Todo lo anterior se contrasto con trabajo de investigación de literatura sobre el proceso DMAIC lo que permitió la articulación de las oportunidades de mejoras.

1.6 Organización y presentación de este trabajo

Este trabajo de grado posee cuatro capítulos principales y se organiza como sigue:

Capítulo 1: Presenta el marco conceptual del proyecto, contextualizándolo, proponiendo objetivos y discutiendo desde la literatura la pertinencia del foco de la investigación, su contribución, y presentando a su vez un marco metodológico para su desarrollo e implementación.

Capítulo 2: Asociado a recogida de información, modelos y datos. También explicita resultados.

Capítulo 3: El proyecto de grado, se presenta en formato resumido en un artículo académico que se estructura de la siguiente manera:

1. Título
2. Resumen
3. Introducción

- a. Sistemas de protección contra incendios (SPCI)
 - b. Gestión de Mantenimiento: Teoría y Definiciones
 - c. Una mirada a la filosofía de mejora continua
 - d. DMAIC
 - e. Diagrama Proceso
 - f. Análisis del modo y efecto de falla (AMEF)
 - g. Ishikawa
 - h. ¿5 Por qué o 5W?
 - i. Breve discusión en Chile e Internacional
4. Metodología
- a. Paradigma y diseño:
 - b. Población sobre la que se efectuará el estudio
 - c. Entorno
 - d. DMAIC
 - e. Instrumentos
 - f. Plan de análisis de datos
5. Resultados
- a. Análisis de datos de entrevistas
 - b. Discusión de resultados
6. Conclusiones
7. Referencias

Capítulo 4: Finalmente las conclusiones generales derivadas de este trabajo, y una dirección para la investigación futura, la cual considera aquellas preguntas no contestadas durante el desarrollo de este trabajo, se presentan en este capítulo.

Referencias generales

Anexos

2 INFORMACIÓN Y RESULTADOS

Para abordar este trabajo de investigación se ha optado por una aproximación cualitativa, que permite considerar la siguiente estructura para la presentación de la información y sus análisis:

2.1 Procedimiento de recogida y análisis de datos

Esta investigación analiza la cultura de la operatividad de los sistemas contra incendios dentro de un complejo forestal industrial y como esta es percibida. Por tal motivo, se llevó a cabo en el año 2023 entrevistas con preguntas abiertas con la finalidad de recoger información para su posterior análisis. En particular se solicitó responder preguntas y temáticas, explicando sus ideas y respuestas con sus palabras.

El método utilizado en este estudio es de carácter descriptivo, dado que se miden y recolecta información de diferentes aspectos o dimensiones del elemento en la investigación.

Fechas en que se recogieron los datos:

Entre el 14 de agosto de 2023 y 19 de octubre de 2023.

Coherencia con lo planificado:

Le entrevista propuesta inicialmente, debió ser modificada parcialmente desde el piloteo de la entrevista, agregando y modificando preguntas en sus etapas, para hacerla más precisa y coherente. Esto permitió presentar preguntas de manera asertiva la cual se aplicó el mismo instrumento a todos los intervinientes.

Fortalezas y debilidades del proceso:

Fortalezas:

- La naturaleza focalizada de las entrevistas permite una retroalimentación inmediata.
- Al identificar las debilidades operativas, las entrevistas proporcionan una base sólida para implementar mejoras continuas en los procesos y procedimientos.
- El proceso se desarrolló de manera ética.
- Permitted dar respuesta a la pregunta de investigación y la metodología DMAIC planteada.

Las debilidades propias de la investigación de contexto se circunscriben a:

- La realización de entrevistas puede consumir tiempo y recursos considerables lo que podría afectar la operatividad general.

- Considerar ampliar entrevistas a otros complejos forestal industriales.
- Analizar exhaustivamente la utilización de otros instrumentos como métodos matemáticos-estadísticos.
- Se recomienda ser llevado a cabo a través de un equipo multidisciplinario que tenga experiencia en el tema de estudio.

Población y muestras

Además de lo planteado en el marco metodológico, en la sección de población sobre la que se efectuará el estudio, donde se identifica la muestra, se hace notar que para la selección de participantes se utilizó una muestra no probabilística ya que se seleccionó a profesionales dentro de la organización porque se estimó que pudieran tener mayor conocimiento de la materia.

Instrumento.

Como se indicó anteriormente, para recoger información sobre el tema denominado sistema de continuidad de negocio, se utilizó el cuestionario con base en tres etapas y una encuesta. Este cuestionario que sirve en una primera instancia para lograr introducir al entrevistado sobre el tema de continuidad de negocio y su percepción respecto al tema. Este instrumento consta de ocho preguntas, todas respuestas abiertas, de la misma forma como se muestra en la tabla siguiente.

<ol style="list-style-type: none"> 1. ¿Cómo entiende usted el funcionamiento de nuestra red contra incendio? 2. ¿Cómo opera hoy la gestión mantenimiento de la red contra incendio? 3. ¿Cómo afectaría a la compañía si en una emergencia no funciona nuestro sistema de protección contra incendio? 4. ¿Cómo podríamos mejorar la situación actual sobre el mantenimiento de nuestra protección contra incendio? 5. Si yo le propusiera un modelo de gestión que facilite el abordaje de brechas en el proceso de mantenimiento y operatividad de los equipos de protección contra incendio ¿Estaría dispuesto a aplicarlo? 6. ¿Cuál sería su principal preocupación al no identificar las brechas que afectan en la operatividad de los equipos de protección contra incendio?
--

7. ¿Cuáles son los factores que obstaculizarían la implementación de un proceso de mejora de nuestra gestión de mantenimiento de los sistemas de protección contra incendio?
8. ¿Cuál sería su principal preocupación respecto de la aplicación o implementación de mejoras de la gestión de mantenimiento de los sistemas de protección contra incendios?

Este cuestionario se aplicó como elemento de consulta durante las entrevistas personales realizadas, previo consentimiento informado. A partir de dichas instancias se provoca un espacio de conversación en relación con la preparación que tiene la organización respecto a la continuidad de negocio, además de conocer cómo se entienden las normativas internacionales de la continuidad de negocio.

2.2 Proceso de recogida de información

Como se ha indicado anteriormente, se aplicó un instrumento basado en una entrevista semi-estructurada, a través de un cuestionario de respuestas abiertas las que han permitido agrupar las respuestas por categorías claves, concentrando la información para analizarla posteriormente de forma cualitativa.

2.3 Los datos recogidos:

La agrupación de resultados por categorías claves, agrupando la información para su posterior análisis queda dada por la siguiente tabla.

Tabla II: Categorías del estudio

<i>Preguntas</i>	<i>Categorías</i>
<i>¿Cómo entiende usted el funcionamiento de nuestra red contra incendio?</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Red de Distribución • Sistema Integral
<i>¿Cómo opera hoy la gestión mantenimiento de la red contra incendio?</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Planes de Mantenimiento

<p><i>¿Cómo afectaría a la compañía si en una emergencia no funciona nuestro sistema de protección contra incendio?</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Inspecciones, Pruebas y Mantenimiento • Continuidad Operacional • Daños de equipos e infraestructuras y riesgos de seguridad
<p><i>¿Cómo podríamos mejorar la situación actual sobre el mantenimiento de nuestra protección contra incendio?</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Confiabilidad y Mantenimiento • Equipo de Trabajo • Cultura de Uso • Conformidad
<p><i>Si yo le propusiera un modelo de gestión que facilite el abordaje de brechas en el proceso de mantenimiento y operatividad de los equipos de protección contra incendio ¿Estaría dispuesto a aplicarlo?</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Si • No
<p><i>¿Cuál sería su principal preocupación al no identificar las brechas que afectan en la operatividad de los equipos de protección contra incendio?</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Problemas de Mantenimiento • Vulnerabilidades
<p><i>¿Cuáles son los factores que obstaculizarían la implementación de un proceso de mejora de nuestra gestión de mantenimiento de los sistemas de protección contra incendio?</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Cultura al Cambio • Costos de Implementación • Factores Técnicos
<p><i>¿Cuál sería su principal preocupación respecto de la aplicación o implementación de mejoras de la gestión de mantenimiento de los sistemas de protección contra incendios?</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Continuidad en el Tiempo • Compatibilidad de equipos y Certificaciones

(Fuente: elaboración propia)

2.4 Análisis e interpretación de los datos

Pregunta 1: ¿Cómo es el funcionamiento de nuestra red contra incendio?

De los resultados generales de la primera pregunta del cuestionario se identifica que un 100% de los entrevistados entiende y conoce el funcionamiento de la red de incendios en la planta industrial, lo que queda en evidencia cuando se indica: “Es un sistema integral diseñado para detectar, prevenir y controlar incendios, estos sistemas están compuestos por una serie de elementos interconectados que trabajan juntos para garantizar la seguridad de la industria” (Entrevistado 4) o “El funcionamiento comienza en el almacenamiento de agua en el estanque principal de agua, donde a través de bombas se distribuye a las diferentes áreas de la planta industrial por red Underground, y disponible a través de grifos, gabinetes, rociadores, manifold de distribución, entre otros los que están disponible en caso de Incendio” (Entrevistado 5). Este hallazgo se mantiene consistente en todas las entrevistas llevadas a cabo, las que indican que no hay disparidades significativas según las actividades laborales de los participantes. Esta coherencia es relevante, ya que demuestra que el personal se apropia adecuadamente del concepto de la red contra incendio y su funcionamiento. Se puede inferir que el personal ha recibido una formación adecuada en el tema.

Pregunta 2: ¿Cómo opera hoy la gestión mantenimiento de la red contra incendio?

Respecto a los resultados de la segunda pregunta, se obtuvo que un 100% de los entrevistados asocia a grandes rasgos la gestión de mantenimiento de los sistemas de protección contra incendios, los que se ve respaldado de acuerdo: “A través de un sistema de inspección se detectan anomalías que luego deriva al personal mecánico para lo correspondiente al mantenimiento de acuerdo con los planes de mantención (Entrevistado 2) o “Mediante planes de mantenimiento los que considera las inspecciones, pruebas y reparaciones y están cargados en el sistema SAP el cual se va programando semanalmente” (Entrevistado 6). Las respuestas de los entrevistados son claras y evidencian un conocimiento sólido del proceso de mantenimiento. Se observan diferentes niveles de profundidad en el tema, los cuales se atribuyen a las funciones laborales específicas de cada entrevistado. A pesar de las variaciones identificadas es clave que todo el personal activo en

la gestión de mantenimiento tenga conocimiento del funcionamiento de los sistemas de protección contra incendio, comprensión del mantenimiento, formación periódica e involucramiento y responsabilidad en los planes de mantenimiento.

Pregunta 3: ¿Cómo afectaría a la compañía si en una emergencia no funciona nuestro sistema de protección contra incendio?

De los resultados de la tercera pregunta se observa que un 29% de los entrevistados relaciona en primera instancia a un concepto de continuidad operacional, en donde se aprecia en respuesta como: “El principal problema es el daño a la infraestructura que puede generar un problema de continuidad operacional del proceso industrial” (Entrevistado 2). En relación con el otro 71% lo vinculan a un daño de equipos y riesgos de seguridad a las personas los que se reflejan bajo las respuestas “ Sería trágico ya que debido al proceso en nuestras instalaciones son en general de alto riesgo los que podrían dañar equipos e infraestructuras. Podría haber incluso muerte de personas con todo lo que eso significa (Entrevistado 3).” o “La falta de un funcionamiento adecuado del sistema de protección contra incendios en una emergencia puede tener consecuencias graves y poner en riesgo la seguridad de las personas, la instalación y comunidades” (Entrevistado 7). Si bien se observa una leve tendencia en las percepciones sobre los posibles efectos adversos derivados en la falta de operatividad de los sistemas de protección contra incendios, en general hay una coincidencia en la importancia de estos sistemas. Sin embargo, a pesar de los resultados alentadores es importante seguir reforzando esta consciencia y asegurar que los equipos de emergencias sean correctamente mantenidos y operados.

Pregunta 4: ¿Cómo podríamos mejorar la situación actual sobre el mantenimiento de nuestra protección contra incendio?

Al analizar las propuestas de alto impacto realizadas a los entrevistados con respecto a la pregunta 4 se visualiza que un 57% vincula a mejorar en términos de confiabilidad y mantenimiento del proceso, en donde se sustenta en respuesta como: “La mejora significativa es destinar recursos destinado a la confiabilidad de estos procesos. Es decir, con estudios de análisis de fallas, para estar con diagnósticos precisos y bajo los estándares de mantenimiento preventivo” (Entrevistado 2). Complementando con lo anterior un 29% vincula a mejorar y generar un equipo multidisciplinario que este supervisando

constantemente la gestión de mantenimiento de los sistemas de protección contra incendio de acuerdo con lo indicado“ Asignar un equipo específico para que cubra y asegure la disponibilidad de la RCI” (Entrevistado 5). Respecto al otro 17% de los resultados, los entrevistados lo asocian a un concepto cultural de que estos elementos se utilizan para otras actividades o tareas no relacionadas con emergencias como “Para mejorar sería muy importante darle la importancia uso de la red de incendio, dejarla solo para casos de emergencia como debiera ser” (Entrevistado 4). En términos generales, los resultados reflejan que existen diversas perspectivas sobre cómo se puede abordar y mejorar la situación actual. Los entrevistados demuestran comprender el concepto de la importancia de mejora continua y reconocen barreras que podrían afectarla. Las propuestas presentadas son factibles y tienen el potencial de contribuir a mejorar la disponibilidad de estos equipos.

Pregunta 5: Si yo le propusiera un modelo de gestión que facilite el abordaje de brechas en el proceso de mantenimiento y operatividad de los equipos de protección contra incendio ¿Estaría dispuesto a aplicarlo?

Respecto a los resultados de la quinta pregunta, se obtuvo que un 100% de los entrevistados accedería y acepta la idea de evaluar e implementar un modelo que permita abordar las brechas que actualmente se identifican en el mantenimiento de los sistemas de protección contra incendio, esto se afirma cuando “Creo que todo en su correcto planteamiento y ejecución suma, y es importante invertir en la seguridad de la compañía”(Entrevistado 2) o también en “Creo que todo sistema que ayude a ser más eficiente en un proceso es bueno tanto para la organización como para los colaboradores, Estoy de acuerdo” (Entrevistado 4). Las respuestas de los entrevistado muestran que aceptan la idea de mejorar la seguridad de la compañía y de ser más eficientes en los procesos.

Pregunta 6: ¿Cuál sería su principal preocupación al no identificar las brechas que afectan en la operatividad de los equipos de protección contra incendio?

Al analizar las alertas sobre transformaciones en la compañía se aprecia que en la sexta pregunta un 57% vincula una preocupación en términos de problemas de mantenimiento, en donde se puede observar de acuerdo con las siguientes respuestas: “No abordar las deficiencias en el sistema de protección contra incendios previamente de manera de atacar el problema antes y no generemos una consecuencia mayor” (Entrevistado 7) o “Desconocer

el comportamiento de nuestros equipos frente a un siniestro debido al mantenimiento y que esto genere un daño grave o fatal como una vida” (Entrevistado 4). Complementando con lo anterior un 29% vinculan a temas de desconocer las vulnerabilidades actuales de los sistemas de protección contra incendio de acuerdo con lo indicado. “Implicaría una demora en el levantamiento del problema y posterior reparación, esto podría transformarse en un problema mayor en termino de producción” (Entrevistado 1). Respecto al otro 17% de los resultados, los entrevistados lo asocian a un concepto de incertidumbre en la planificación de acuerdo a: ” Las áreas que hoy están descubiertas ante un evento y no saber dónde están para al menos tener medidas de mitigación alternativas“ (Entrevistado 3). Estas diversas perspectivas de preocupación contribuyen a la identificación de brechas, ofreciendo una guía clara para las acciones que son necesarias realizar para mejorar la disponibilidad de los sistemas de protección contra incendios.

Pregunta 7: ¿Cuáles son los factores que obstaculizarían la implementación de un proceso de mejora de nuestra gestión de mantenimiento de los sistemas de protección contra incendio?

Al revisar los resultados de la séptima pregunta se visualiza un 29% quienes vinculan los factores a problemas de cultura al cambio, esto se aprecia en respuesta como “Los factores que podrían obstaculizar seria factor humano, muchas veces como reacio a la modernización a los cambios para mejorar un proceso” (Entrevistado 4). Complementando con lo anterior un 57% asocia a factores como el costo de implementar nuevas iniciativas en donde se puede ver en respuestas como “En nuestra organización si se proyecta como plan de inversión, una buena mejora que nos permita dar confianza a nuestra red siempre está sujeta a evaluación” (Entrevistado 5). Respecto al otro 14% de los resultados, los entrevistados lo asocian a un concepto de factores técnicos de acuerdo a: ” Por la naturaleza del proceso se encuentran equipos que no se pueden intervenir en servicio de producción, por lo que es un gran factor para considerar al momento de implementar una mejora en mantenimiento” (Entrevistado 6). De los resultados se observa que los entrevistados son conscientes de los desafíos que implica la implementación y que quieren mejorar la confiabilidad y disponibilidad de estos sistemas. Por otra parte, la diversidad de respuestas implica que hay varios elementos que hay que tener en consideración y que ofrecen aportes para el análisis y la implementación de mejoras en el mantenimiento de los sistemas de protección contra incendios.

Pregunta 8: ¿Cuál sería su principal preocupación respecto de la aplicación o implementación de mejoras de la gestión de mantenimiento de los sistemas de protección contra incendios?

Al revisar los resultados de la octava pregunta se visualiza un 71% quienes vinculan sus preocupaciones en la permanencia o continuidad en el tiempo con respecto a las nuevas implementaciones que se generen, los que se validan de acuerdo con: “Que el personal le dificulte el cambio y que esto provoque confusiones en nuestro sistema actual y que no tenga el efecto deseado” (Entrevistado 1). Complementando con lo anterior un 33% lo asocia a términos de costos y de recursos a factores como falta de recursos en donde se puede ver en respuestas como “Como todo proyecto las principales preocupaciones son el costo de implementación y la compatibilidad con lo ya instalado, sin dejar de lado los tiempos de implementación, asistencia, Post venta de repuestos, Disponibilidad de repuestos, etc.” (Entrevistado 5). Respecto al otro 17% de los resultados, los entrevistados lo asocian a un concepto de permanencia en el tiempo de acuerdo con: “Mi preocupación sería la continuidad de estas implementaciones en el tiempo y el cómo funcionara este sistema para identificar las brechas y repararlas” (Entrevistado 4). Estas preocupaciones son válidas y merecen ser analizadas al momento de implementar mejoras. Las diferentes perspectivas se reflejan en términos de preocupaciones, subrayando la importancia de considerar distintos puntos de vista al llevar a cabo mejoras en la gestión de mantenimiento de los sistemas de protección contra incendios.

2.5 Discusión de resultados

De acuerdo con un análisis de la literatura se resalta la relevancia de tener un plan de mantenimiento que considere los diferentes factores que afectan a los SPCI de acuerdo con su función y diseño.

Considerando la etapa de las entrevistas se contempló que un porcentaje significativo de los colaboradores de la empresa tienen un entendimiento del funcionamiento de los sistemas de protección contra incendio, lo cual va en concordancia con los resultados expuestos por (Chopade, 2020) quien indica que es esencial que el personal sepa sobre los sistemas de extinción de incendios instalados en sus instalaciones además de la importancia en la capacitación sobre el uso de ellos.

Por otra parte, en términos de mantenimiento de estos sistemas, se aprecia que todo el personal entrevistado tiene un conocimiento sobre el concepto sobre los programas de mantención, algunos más que otros y esto se debe principalmente a su rol de participación con respecto a los SPCI. Asimismo, entienden que la no realización de actividades preventivas como identificación de averías, pruebas y mantenimiento de estos equipos afectaría gravemente en diferentes aspectos como en la disponibilidad y operatividad frente a emergencias.

Estos hallazgos están en concordancia con lo indicado por (Kumar, 2023) en donde se indica que la fiabilidad de los SPCI depende de varios factores vitales como la calidad del mantenimiento, la durabilidad de los materiales, el uso de estos equipos y la integridad del diseño. Asimismo, se complementa con lo revisado por (Kodur et al, 2019) en donde se indica que la fiabilidad de los sistemas protección contra incendio no es siempre el 100% disminuyendo las posibilidades de la extinción o control del incendio en su fase de crecimiento. Por lo que es clave contar con un programa de mantención que incluya las correspondientes actividades de inspección y pruebas de manera de aumentar la confiabilidad y operatividad de estos equipos.

Complementando lo anterior y de acuerdo con lo investigado por (Viveros, 2013) el proceso de mantención sigue un ciclo operativo que se describe mediante una secuencia lógica que comienza con la planificación para luego seguir con la programación que deriva a una asignación de recursos, ejecución terminando con el ciclo de mejora continua. Todos estos pasos deben alinearse con los objetivos establecidos por la organización.

Esto va en concordancia con el diagrama de mantenimiento que tiene la compañía y el cual está reflejado en (Figura 1).

Sumado a lo anterior, las entrevistas desempeñaron un papel crucial al inicio del análisis abriendo una ventana directa a sus experiencias y percepciones.

Mediante estas interacciones, se detectaron áreas problemáticas que sirvieron como fundamento para la formulación de un diagnóstico del problema, el cual fue sometido a un proceso de mejora mediante DMAIC, lo que posibilitó descubrir avances en la disponibilidad de los SPCI.

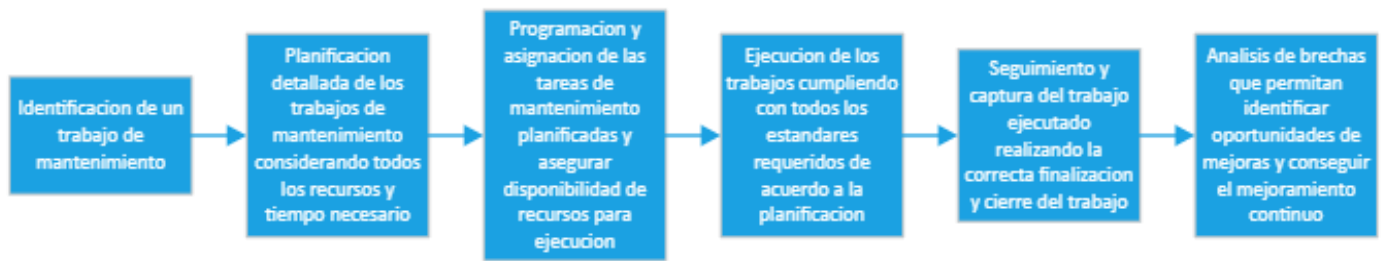


Fig.1. Diagrama de Proceso Mantención, (Fuente: elaboración propia).

La implicación del equipo en la investigación y en el proceso de mejora es esencial, el que además se sustenta de acuerdo con lo mencionado por (Pérez et al, 2020) para promover la mejora resulta crucial instigar un cambio de actitud orientado hacia la excelencia, aprovechando las capacidades de todo el personal con el objetivo constante de conducir a la empresa hacia el éxito en sus procesos.

A través de las entrevistas y diagrama de proceso permitió una panorámica inicial para la articulación del AMFE permitiendo la identificación de las posibles causas y determinando su NPR (ver tabla III).

De los distintos modos de fallas se identificaron 7 causas de las cuales tres se requiere eliminar el riesgo o la reducción de su nivel correspondiente a las puntuaciones NPR más altas (>100):

- Planificación de mantenimiento deficiente para los equipos contra incendio.
- Ambigüedad sobre programa de mantenimiento preventivo para todos los equipos de protección contra incendio.
- Desconocimiento de repuestos y elementos que deben tener los equipos de protección contra incendio.

Tabla III: AMEF

Factores	Modos de Falla	Efecto	Causa	S	O	D	NPR
	Escases de recursos debido a situaciones de mantenimiento de momento	1. Gasto de recursos en replanificar actividades. 2. Incremento del riesgo de falla del equipo.	Planificación de mantenimiento deficiente para los equipos contra incendio	8	6	5	240
Personal que participa en el proceso de mantenimiento	El uso de los equipos para las actividades operativas	1. Reducción de la vida útil de los equipos contra incendios. 2. Aumento de daños a los equipos contra incendio.	Actividades y vulnerabilidad operacionales implican uso de sistemas de protección contra incendio	5	4	3	75
	Equipos de emergencias en mal estado debido a la falta de cuidados	1. Incremento de costos de mantenimiento. 2. Puede provocar accidentes ya que no están en buen estado.	Carencia en la cultura sobre el cuidado de los equipos contra incendio	5	4	3	75
Métodos utilizados para realizar el proceso	Complejidades con las coordinaciones de mantenciones de algunos equipos contra incendios	1. Reduce la eficacia de estos sistemas. 2. Aumenta riesgo de daños.	Desconocimiento de quienes son los responsables de la red contra incendio	4	4	3	48
	Confiabilidad de los sistemas de protección contra incendio	1. El equipo no funciona correctamente. 2. Aumenta riesgo de incidentes.	Ambigüedad sobre programa de mantenimiento preventivo para todos los equipos de protección contra incendio	8	6	5	240
Materiales utilizados en el proceso	Falta de stock de materiales en bodega	1. Aumento de costos. 2. Retrasos en mantenimiento.	Desconocimiento de repuestos y elementos que deben tener los equipos de protección contra incendio	7	7	3	147
	Equipos Obsoletos	1. Aumenta riesgo de daño.					
Factores ambientales que afectan al proceso	Condiciones ambientales pueden afectar al funcionamiento de los equipos	1. Incremento costos de mantenimiento. 2. Reducción de la vida útil.	Los equipos de protección contra incendio se ubican o se utilizan en entornos que no siempre están controlados	4	4	2	32

(Fuente: elaboración propia)

Estas causas identificadas concuerdan con (Bukowski, 2001) en donde se indica que dentro de las causas que conducen al fallo en el funcionamiento de SPCI son la falta de mantenimiento y pruebas. Asimismo, de acuerdo con lo comentado por (Sotelo, 2015) dentro de los eventos en que los rociadores (equipos contra incendios) no operaron o fallaron en su objetivo de control del fuego, se debe principalmente a falta de mantenimiento. Además, coinciden con el estudio de (Kironji, 2015) en edificios comerciales de gran altura los que carecen de un adecuado programa de mantenimiento. De igual modo, (Scarf et al, 2023) menciona que retrasos en la gestión de repuestos y almacenamiento afectan a las acciones de mantenimientos, concluyendo que los inventarios existen para la agilización del mantenimiento, y no puede haber mantenimiento si no hay piezas de recambio en stock.

3 ARTÍCULO

El presente apartado, recoge la investigación contextualizada motivo de este proyecto de grado, y es presentada en formato de artículo académico. Se trata de un artículo conciso, escrito en el formato típico de revistas especializadas o de conferencias, de acuerdo con reglas específicas definidas por la dirección del programa.

El artículo, ha sido cuidadosamente redactado con el fin de que se haga fácilmente entendible y logre expresar de un modo claro y sintético lo que se pretende comunicar, considerando las citas y referencias respectivas de los estudios que lo fundamentan. El trabajo realizado, se sintetiza entonces como artículo, para facilitar al trabajo de quienes puedan estar interesados en consultar la obra original.

Este trabajo, considera y discute, a través de un proyecto aplicado, desarrollado en un contexto de realidad profesional, la integración de herramientas y conocimientos que se han adquirido en las líneas de desarrollo del programa. Lo que se consolida en una investigación profesional contextualizada a la realidad profesional que se expone, la que se relacionada con líneas y ámbitos específicos abordados en el plan de estudios del programa, permitiendo integrar, de manera adecuada, los conocimientos teóricos y metodológicos desarrollados en él.

GESTIÓN DE MANTENIMIENTO: MEJORAS EN LA DISPONIBILIDAD DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

Ignacio Alfonso Rojas Quiroz

*^aGraduado del programa de Magister en Ingeniería Industrial y de Sistemas,
Facultad de Ingeniería, Universidad de Desarrollo, irojasq@udd.cl*

Resumen:

Este trabajo presenta un diagnóstico realizado a los sistemas de protección contra incendios en un Complejo Forestal Industrial, identificando brechas que afectan en la disponibilidad y operatividad de estos sistemas frente a emergencias bajo un enfoque de mejora continua. El objetivo de esta investigación es priorizar oportunidades de mejora que impiden una gestión activa del mantenimiento de sistemas de protección contra incendio en el rubro industrial para una mayor disponibilidad y operatividad de estos sistemas frente emergencias. Para lograrlo se propone la utilización de la metodología DMAIC de manera de conocer los porqués y las razones por las que suceden los procesos que se manifiestan, la que se sustenta en su etapa de medición con la realización de una aproximación cualitativa basada en entrevistas semiestructuradas a 7 profesionales que participan activamente en la operación de los sistemas de protección contra incendio en un complejo forestal industrial de Arauco, considerando las normativas vigentes nacional e internacionales para la comprensión de cómo porque ciertas barreras impiden en una correcta gestión y mantenimiento para la adecuada disponibilidad de dichos sistemas, detectando causas y sus respectivas propuestas de mejoras. Tras el análisis de los datos, se observa que al superar las barreras detectadas y considerando las oportunidades de mejoras identificadas, estas impactan de forma positiva a la gestión de mantenimiento lo cual permitiría en el aumento de la disponibilidad de los sistemas de protección contra incendios, entregando confianza al entorno productivo debido a una mejor percepción de seguridad de las personas e instalaciones de la compañía. En síntesis, se concluye que el atenuar las barreras identificadas en esta investigación reduce el riesgo de daños y mejora la confiabilidad del proceso de gestión de mantenimiento.

Palabras claves: Equipos contra Incendio; NFPA; Análisis de Vulnerabilidad; Mejora Continua; Gestión Emergencia

1. Introducción

Celulosa Arauco se destaca como una empresa líder en el sector forestal en Chile, la cual fue constituida en el año 1970 y con una misión de aportar al bienestar de las personas mediante productos forestales en un entorno sostenible, el cual se ha logrado posicionar y ser reconocida por sus productos de alta calidad, con estándares de producción, compromiso social, innovación, manejo ambiental y como una de la mayores Forestales a nivel mundial con presencia en Estados Unidos, Canadá, Uruguay, Brasil, México y Argentina. Arauco ha sabido ser visionaria en la globalización de sus operaciones cumpliendo las leyes de cada país en donde está presente como una exigencia propia del holding. Las plantas de Celulosa en Chile están ubicadas en Licanten y Constitución, Nueva Aldea, Arauco y San Jose de Mariquina (Memoria Arauco, 2017).

Dentro del contexto laboral, uno de los aspectos prioritarios en la empresa es la seguridad y protección industrial de todo el

personal que trabaja en las distintas instalaciones buscando siempre proteger y resguardar la salud del trabajador, así como también las condiciones del entorno, equipos y materiales que se encuentren dentro de la instalación y a las comunidades vecinas.

Incendios industriales

Los incendios industriales emergen como una de las amenazas primordiales en el sector industrial, constituyendo intrínsecamente uno de los riesgos no catastróficos más recurrentes, de mayor impacto y repercusión en las plantas industriales (Willis Towers Watson, 2020).

Pese a que no exista tanta estadística oficial sobre cantidad de incendios en Chile. La ocurrencia de siniestro es alta y con consecuencias que pueden generar pérdidas cuantiosas en magnitudes económicas y de seguridad. De acuerdo con (Orelvis, 2006) en el país se ha hecho un esfuerzo importante por incorporar requerimientos y exigencias de protección contra

incendios en las edificaciones, pero aún falta bastante por aprender y mejorar en esta área.

Es por lo anterior expuesto que resulta relevante priorizar las medidas de seguridad y equipamiento de los sistemas de protección contra incendios tanto del punto de vista operativo como de mantenimiento, asegurando la disponibilidad de estos equipos y con ello a la protección de las personas, comunidades y los activos de las compañías.

Sistemas de protección contra incendios (SPCI)

Se entiende como SPCI como cualquier mecanismo de alarma destinado a detectar, controlar y extinguir incendios, ya sea de manera individual o en combinación con otros sistemas. Estos dispositivos, que incluyen sistemas de extinción, están diseñados e instalados con el propósito de alertar a los ocupantes, al cuerpo de bomberos o a ambos, sobre la ocurrencia de un incendio (NFPA 1, 2018).

Por otra parte, en (Ojeda & Aguilera, 2021) se caracteriza como la totalidad de disposiciones y dispositivos implementados en estructuras, instalaciones industriales, construcciones y diversas entidades, con el propósito de salvaguardarlos frente a los efectos adversos del fuego.

Dentro del contexto de los SPCI, se identifican dos modalidades de protección: Sistemas Pasivos y Sistemas Activos, los cuales desempeñan roles complementarios en diversas fases del desarrollo de un incendio.

La primera se fundamenta en elementos constructivos que, debido a sus propiedades físicas, proporcionan un aislamiento temporal de la estructura edificada frente a los efectos del fuego, permitiendo así la evacuación antes que se produzca un posible colapso. En términos generales en Chile se profundiza el enfoque hacia esta categoría de protección encontrándose más normativas y estudios garantizando la protección de la edificación. Por otra parte, la protección activa se estructura con la finalidad de proporcionar intervención directa frente a incendios, buscando la reducción, gestión, control y extinción del fuego hasta la llegada de los bomberos. En este contexto, se identifica tres clasificaciones: Detección, supresión del fuego y ventilación (CDT, 2021).

Gestión de Mantenimiento: Teoría y Definiciones

La gestión de mantenimiento implica en la preservación de los recursos de la empresa para el resguardo de una producción eficiente evitando el desperdicio económico en el proceso. La carencia de un adecuado mantenimiento puede originar problemas o síntomas en las máquinas que consecuentemente, provocan interrupciones productivas, falta de cumplimiento de los plazos establecidos para las entregas, periodos sin actividades, junto con el incremento en la probabilidad de generar accidentes, constituyen algunas de las consecuencias derivadas de esta situación (Juarez, 2020).

El principio fundamental que sustenta el desarrollo del mantenimiento reside en la constante mejora del proceso de mantenimiento. Esto se logra mediante la integración de conocimientos especializados y evaluación crítica que respaldan la adopción de medidas en este ámbito, con el propósito de favorecer los resultados económicos y operativos en su conjunto (Arata & Furlanetto, 2005).

Dentro del ámbito del mantenimiento se distinguen primordialmente dos categorías principales, el preventivo y el correctivo. El primero se orienta hacia la preservación de equipos mediante inspecciones y reparaciones, con el objeto de adelantarse y asegurar un funcionamiento óptimo, mejorando la confiabilidad de los equipos previniendo fallas repentinas, así como evitar paradas no planificadas. Mientras que el correctivo es la forma más básica de mantenimiento y consiste en localización de averías o defectos y repararlos (Pinedo, 2017).

Considerando la necesidad de las distintas compañías, en particular las que son de carácter industrial, se requiere la ejecución de tácticas de mantenimiento dirigidas hacia los equipos de la industria, buscando anticipar y atenuar de manera oportuna posibles fallos que podrían obstaculizar las operaciones vinculadas a los distintos procesos que tenga la planta industrial. De esta manera, se asegura el óptimo rendimiento de los equipos durante periodos de alta demanda, al tiempo que se garantiza el cumplimiento en las entregas de los distintos productos (Blanco & Duque, 2018).

Dado lo anterior es relevante llevar una apropiada gestión de mantenimiento a todos los equipos de una instalación los cuales incluyen a los SPCI para que estén operativos en todo momento con su correcta planificación/programación y que además permita la reparación de fallas o equipos en mal estado a tiempo, disminuyendo así el riesgo de la generación de situaciones de emergencias como incendios, fugas, fallas en sistemas de seguridad, entre otras. Emergencias que pueden involucrar a la protección de las instalaciones, a las personas, medio ambiente y comunidades cercanas.

Una mirada a la filosofía de mejora continua

La mejora continua abarca desde un concepto de filosofía como también un enfoque concebido con el propósito de perfeccionar de manera constante el desempeño diario, los estándares de calidad y productividad, costos, niveles de satisfacción, niveles de seguridad, tiempos totales de los diversos ciclos, tiempos de respuesta y grado de fiabilidad de los procesos (Esquivel et al, 2017)

Podemos entender esta filosofía como una o varias actividades que son recurrente y que están enfocadas al mejoramiento del desempeño en los procesos del cual se está estudiando.

Acorde con (Carrillo et al., 2022). A lo largo del tiempo, se han ideado metodologías y filosofías hacia la búsqueda constante de estrategias destinadas al mejoramiento del rendimiento operativo y llevar al máximo el valor intrínseco de las empresas.

Conforme a las circunstancias específicas de cada entidad empresarial, industrial u organizacional, surgen diversas exigencias que requieren adaptarse a su contexto. Estas demandas engloban la mejora de la eficiencia en sus procedimientos y la atención centrada en la identificación y eliminación de actividades perjudiciales que puedan afectar negativamente el desarrollo de dichos procesos.

Estos enfoques emplean diversas herramientas con el propósito de implementar la mejora continua. Como es el caso de DMAIC el cual es una herramienta de la metodología Six Sigma que busca la mejora de procesos a través de una identificación y eliminación de problemas que no generen valor alguno en los distintos procesos en estudio.

Acorde con (Tolamatl Michcol et al., 2011). Diversas empresas han utilizado Six Sigma como un modelo estratégico de gestión, otras como una estructura de trabajo para la eliminación de la variación de procesos y otros únicamente como una herramienta para resolver problemas

DMAIC

La metodología de proceso usada por Seis Sigma se desarrolla mediante el ciclo DMAIC por sus siglas en inglés (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) (Vidal et al., 2018) y dicha metodología es un proceso iterativo que sigue un formato estructurado y disciplinado (McCarty et al., 2004). Facilita a las organizaciones la reconsideración de sus procedimientos, eliminando obstáculos y proporcionando una consistente calidad. Esta metodología consiste en la identificación y solución a problemas a través de cinco etapas:

1. **Definir:** Primera etapa orientada a la comprensión del problema.
2. **Medir:** En la segunda etapa está orientada a identificar causas claves del problema.
3. **Analizar:** Tercera etapa enfocada en procesar los datos hasta llegar a las causas que han originado el problema.
4. **Mejorar:** Se enfoca en generar posibles soluciones al problema identificando las propuestas de mejoras más convenientes.
5. **Controlar:** Elaboración de procedimientos o estrategias que permitan controlar las mejoras. (Carrillo et al 2022).

Para ejecutar las diversas fases del DMAIC se utilizan diferentes herramientas, para efecto de este trabajo se detallan las más significativas en esta investigación.

Project Charter

También conocido como Project definition o statement, constituye una descripción que aborda el alcance, los objetivos y los participantes involucrados en una iniciativa específica. Este documento establece de manera preliminar las funciones y responsabilidades, de los objetivos del proyecto, identifica a los principales interesados y establece la autoridad del director del

proyecto. Funciona como un punto de referencia que respalda la autoridad a lo largo del desarrollo del proyecto (Farag, 2021).

Diagrama Proceso

El diagrama de proceso representa visualmente las partes de un proceso el cual nos permite dar como punto de partida a la identificación de actividades que no agregan valor, problemas o ineficiencias en los distintos aspectos del proceso.

Análisis del modo y efecto de falla (AMEF)

Denominado como Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) en inglés o AMEF en español, este enfoque se emplea con la finalidad de anticipar potenciales fallos que puedan existir en un determinado proceso antes de su entrega al cliente. Es una herramienta que permite la identificación y las consecuencias del disfuncionamiento de un equipo de producción, el producto fabricado, la seguridad de las personas y los bienes materiales (Contreras, 2023).

El AMFE es una herramienta ampliamente reconocida para el análisis de los modos de fallo presentes en un sistema. La evaluación en el AMFE se basa en tres elementos que componen el número de prioridad del riesgo (NPR), a saber, la severidad del efecto del fallo (S), la probabilidad de ocurrencia de los distintos modos de fallas (O) y la detección del fallo (D) (es decir, $NPR = S \times O \times D$). Cada elemento se evalúa en una escala de 1 a 10, en la que un valor más alto indica la eventualidad de que ocurra ese particular fallo (Lo et al, 2019).

Por último, se clasifican todos los distintos de fallos en función de sus NPR y se supone que los fallos mejor clasificados deben ser objeto de precauciones correctivas (Liu et al., 2013).

El número de prioridad del riesgo (NPR) ofrece una forma útil para la clasificación los modos de fallo, y se han realizado numerosos estudios que investigan el uso de este número (Su et al, 2012).

El análisis modal y efecto de fallas es una herramienta de calidad eficaz para la eliminación de los riesgos y el mejoramiento de la estabilidad y la seguridad en los ámbitos de la industria manufacturera y de servicios (Ouyang et al, 2020).

Sin embargo, la utilización única del NPR para la determinación en el modo de fallo la cual requiere una acción correctiva, puede causar graves problemas en los estándares o rendimiento en una organización. Las empresas que deseen evitar las limitaciones del NPR deben evaluar el riesgo con una combinación de índices, como Gravedad, Ocurrencia y Detección (Hartwell, 2022).

Ishikawa

El Diagrama Causa – Efecto también es reconocido como Espina de Pescado, por su similitud al esqueleto de un pez, o Ishikawa en honor al Profesor Kaoru Ishikawa, quien lo desarrolló en 1943. (Neira, 2009)

Es una herramienta que ayuda a la identificación y análisis de las causas potenciales de un problema, el diagrama se basa en que

todo problema tiene una causa raíz, y que esta es posible identificarla junto con la realización de un análisis de estas de acuerdo con unas categorías, las que pueden subdividirse en subcausas para entrar en mayor detalle del problema.

Acorde con (Barsalou & Starzyńska, 2023) los cinco porqués pueden integrarse con un Ishikawa para la localización de las causas fundamentales a una escala más detallada. Este proceso implica la expansión de las ramificaciones a medida que se responden sucesivas preguntas sobre los porqués facilitando así la localización de causas raíces a un nivel más profundo.

¿5 Por qué o 5W?

Los cinco porqués tienen su origen en el Sistema de Producción Toyota (Gangidi, 2019) técnica que fue desarrollada por Sakichi Toyada, quien en una ocasión estaba trabajando en el mejoramiento de los procesos de producción de la compañía, y la aplicó para la detección de problemas y resolverlos más rápidamente y con ello el aumento de la productividad. Esta técnica consiste en ir a la causa anterior 5 veces, para comprender el problema originario y atacarlo directamente (Araujo, 2018).

Breve discusión en Chile e Internacional

En el marco chileno la mejora continua ha experimentado un notorio auge, ingresando a sectores tan diversos como la manufactura, los servicios financieros, el bienestar y el progreso tecnológico, con la mira puesta en perfeccionar la eficiencia y calidad en los distintos procesos. Si bien la implementación de las mejoras puede variar según las particularidades de cada metodología, su esencia centrada en la mejora continua ha demostrado ser un catalizador con el propósito de mejorar la eficiencia en las operaciones en diversas áreas.

En Chile y de acuerdo con (Ramírez et al, 2007) se han implementado en diversas empresas aplicaciones de DMAIC como en 3M empresa global conocida por sus innovaciones en diversos sectores destacando su compromiso con la mejora continua o en el sector minero tanto Minera Escondida como Cerro Colorado, este enfoque se ha vuelto crucial para mejorar los procesos caracterizados por su complejidad y demanda de eficiencia. Otro actor de renombre como General Electric que ha desempeñado un papel significativo en la implementación de estas prácticas, así como también Coca Cola optimizando sus procesos de fabricación y distribución asegurando calidad constante de sus productos, entre otros.

En investigaciones realizadas por (Cano, 2019), dentro del contexto de Six Sigma, se ha aplicado este método para la optimización de operaciones en una empresa de codificaciones de productos y marcaje, en donde se observaron mejoras sobre todo en los procesos de almacenamiento, optimizando espacios en bodega y estandarizando secciones donde se realizan operaciones críticas. Otro caso como el de (Hermosilla 2019), donde se propone la implementación de una estrategia DMAIC para la disminución de pérdidas de material en la fabricación de chocolates, se concluye que se alcanza el objetivo de una

disminución de pérdidas en demasías mediante la implementación de DMAIC, disminuyendo un 66,8% de las pérdidas de la línea Fabricación Chocolate.

A nivel internacional (Alkunsol et al 2019) investigo efectos de la implementación de proyecto Six sigma en el rendimiento de las organizaciones jordanas de fabricación de productos farmacéuticos y descubrieron una fuerte correlación entre la implementación del proyecto Six sigma y el rendimiento empresarial.

En el trabajo de investigación realizado por (Ramírez et al 2007), menciona una serie de aplicaciones realizadas con Six sigma tal y como se evidencia en (Patton, 2005) donde menciona aplicaciones de Six Sigma en Wal-Mart donde utilizan DMAIC en su cadena de suministro, así como en GE Capital, Bank of America y Quest Diagnostic y (Ruff, 2010) presenta destacadas experiencias en tiendas por departamentos —Macy's, Bloomingdale's, Vanguard Group— y en una empresa que manufactura circuitos electrónicos llamada GAI-Tronics.

Con respecto al análisis de modos y efectos de fallas cada vez es más frecuente su uso para análisis los factores de riesgos y en la detección de mejoras en los procesos de acuerdo con investigaciones realizadas por (ElLithy et al, 2023; Hassan et al, 2023; Ouyang et al, 2022)

DMAIC es una metodología reconocida por sus beneficios al perfeccionar procesos y mejorar operaciones, lo cual se refleja directamente en una elevación del nivel de excelencia en la prestación de servicios, además de la eliminación o disminución de actividades innecesarias.

Entendida esta realidad y considerando la revisión bibliográfica presentada, surge el siguiente cuestionamiento: ¿Cómo se puede aumentar la disponibilidad operativa de equipos de emergencia contra incendio en una planta industrial?

En efecto, la motivación impulsora que ha impulsado la implementación de este proyecto ha sido la preocupación por la disponibilidad y operatividad de los SPCI frente a emergencias de tipo incendios, los cuales son la primera línea de ataque, prevención y control de emergencias, resguardando tanto a las personas como a la compañía. Es importante la visualización de aquellas barreras que afectan en la disponibilidad de estos sistemas y que permita la organización de una estructura robusta de mantenimiento y con ello la disminución de riesgos que puedan generarse debido a que no estén operativos. Ante esto se propone un análisis de los factores asociados en el mantenimiento de los SPCI que permitan un aumento en la disponibilidad operativa. En este sentido este trabajo contribuye a la comprensión de los componentes que conforman obstáculos operativos y cuyas oportunidades de mejoras conllevan a una mayor disponibilidad y operatividad de los sistemas de protección contra incendio.

Entendido esto, el objetivo de este trabajo es priorizar oportunidades de mejora que impiden una gestión activa del

mantenimiento de SPCI en el rubro industrial para una mayor disponibilidad y operatividad de estos sistemas frente emergencias

2. Metodología

Paradigma y diseño:

En el marco de la investigación se ha optado por la utilización de la metodología DMAIC, la cual responde a un enfoque sistemático y estructurado que ha demostrado ser efectivo en la mejora de proceso en diversos contextos y con ello detectando las causas y la priorización de mejoras en los SPCI. De manera de conocer los porqués y las razones por las que suceden los procesos que se manifiestan, se realiza una serie de entrevistas que sustentan principalmente a la etapa de medición, en donde a través de una selección por conveniencia, se considera 7 entrevistas semiestructuradas con un contenido preestablecido la cual queda determinada por criterio de saturación teórica (Esto quiere decir entrevistar hasta que no haya nuevos descubrimientos o categorías) y así garantizar la evaluación de un amplio número de entrevistados con el fin de profundizar en materia del objeto en estudio.

Población sobre la que se efectuará el estudio. Para la población de estudio se consideró al personal activo en el mantenimiento y operación de los SPCI. Para ello se escogió una muestra de 7 personas con cargos de jefes o supervisores (5) y técnicos o generales (2). Los estudios de los entrevistados varían de estudios profesionales como ingeniería y carreras técnicas, las experiencias en el cargo varían desde 2 hasta un máximo de 17 años y tienen promedio 41 años y de 17 años de experiencia laboral aproximadamente.

Entorno. Arauco se sitúa como una de las principales compañías a nivel global en el sector de productos forestales, englobando operaciones en el área de Celulosa, Forestal, Maderas y Generación Eléctrica.

Se posiciona como uno de los productores más relevantes de celulosa a nivel global, contando con una capacidad operativa de 4 millones de toneladas al año. Este logro se basa en la gestión de distintas instalaciones productivas ubicadas tanto en Chile, una en Argentina, y otra en Uruguay.

Arauco opera un alto grado de integración hacia el recurso forestal y la energía. La compañía posee el principal acervo forestal de Sudamérica, abarcando aproximadamente 1 millón de hectáreas cultivadas, respaldadas con almacenamiento forestal que aseguran la continuidad del suministro y calidad de materia prima.

El enfoque estratégico de la empresa se sustenta en la mejora de la productividad y el desarrollo sostenible de sus plantaciones. Se distingue por la localización estratégica de sus instalaciones en estrecha proximidad a zonas de embarques; la implementación de tecnología de vanguardia y el compromiso continuo con las investigaciones para lograr mejoras constantes en la calidad y eficiencia productiva.

DMAIC permitió la identificación y el abordaje de las causas raíz de los principales problemas en la disponibilidad de los SPCI conduciendo a propuestas de mejoras en donde:

Definir: Para el desarrollo de esta etapa se sustenta con los principios del Project Charter:

1. Nombre del Proyecto: Gestión de Mantenimiento Mejora en la disponibilidad de los SPCI.
2. Descripción del Proyecto: El proyecto surge como respuesta a la preocupación en la operatividad y disponibilidad de los SPCI. Las brechas identificadas durante el proceso de mantenimiento y operación agravan esta problemática. Para superar estos desafíos, se propone una búsqueda con un enfoque integral que incluye la planificación detallada de trabajos, estructura de responsables, comunicaciones, seguimiento y control riguroso de las acciones que no solo buscan mejorar la confiabilidad del entorno laboral, sino también reducir efectivamente los riesgos para las personas. La implementación exitosa de estas prácticas podrá replicarse en otros entornos, siempre y cuando se mantenga una estrategia de ejecución integral, evitando descuidar otros equipos de trabajo.
3. Caso de Negocio: La mala operatividad y disponibilidad de los SPCI representan un riesgo significativo para la seguridad y la integridad de los activos. Esta situación compromete la capacidad de respuesta ante emergencias, aumentando la probabilidad de daños catastróficos en caso de un incidente. Además, la falta de disponibilidad puede generar retrasos significativos en la detección y contención de incendios, permitiendo que las situaciones de emergencia se agraven antes de intervenir de manera efectiva.
4. Objetivos del Proyecto:
 - Aumentar la confiabilidad operativa de los SPCI.
 - Establecer una estructura de trabajo eficiente.
 - Gestionar de manera óptima el inventario de equipos.
 - Fortalecer la cultura de seguridad en el entorno laboral.
 - Mejorar la gestión de riesgos asociados a los SPCI.
5. Alcance del Proyecto:
 - Inicio del Proceso: Análisis detallado de la situación actual de la operatividad y confiabilidad de los SPCI.
 - Fin del Proceso: Generación de propuestas de mejoras concretas basadas en el análisis previo.

6. Plazo de Ejecución: 4 meses.

Medir: A través de las entrevistas y diagrama de proceso permitieron la articulación de un esquema global de las actividades que involucran el proceso del mantenimiento de los SPCI y su entendimiento por el personal.

Analizar: Por medio de AMEF se visualiza las posibles razones de las causas basales que afectan a los SPCI priorizando mejoras para cada una identificada, las que se evaluaron a través de las distintas puntuaciones de los elementos (S), (O) y (D) que se describen en la tabla I, la cual está alineada con la America Society of Quality (ASQ). Los productos de esta multiplicación y que dan origen a la clasificación de los NPR de acuerdo con (Gómez, 2019) son los siguientes:

- 500 – 1000 = Alto riesgo
- 125 – 499 = Falla medio
- 1 – 124 = Falla bajo
- 0 = No existe riesgo de falla

Para la profundización en la búsqueda de los distintos fallos y así la obtención de una visión más compleja se utiliza herramientas como Ishikawa y cinco porqués.

Mejorar: La implementación de AMEF condujo a la generación de propuestas de mejora y acciones específicas dirigidas a abordar las causas identificadas.

Control: Entre las mejoras detectadas en la etapa previa se incorporan actividades de control las cuales aseguran la sostenibilidad a largo plazo de las propuestas formuladas.

Instrumentos. Se utilizó técnicas de obtención de datos cualitativas, entre las cuales se incluyen entrevistas semiestructuradas a los involucrados en el mantenimiento de los SPCI. Antes de su aplicación se introduce a los participantes en el contexto de estudio con el fin de evitar la generación de respuestas que se desvíen del mismo. La mayoría cuenta con un grado de conocimiento respecto al concepto. De las entrevistas realizadas se utilizaron una serie de preguntas abiertas las cuales consideran 3 etapas las que se describen a continuación:

Etapa 1: Caracterización del presente y comprensión de la realidad

1. ¿Cómo entiende usted el funcionamiento la red contra incendio?
2. ¿Cómo opera hoy la gestión mantenimiento de la red contra incendio?
3. ¿Cómo afectaría a la compañía si en una emergencia no funciona el sistema de protección contra incendio?

Etapa 2: Propuestas de alto impacto

4. ¿Cómo podríamos mejorar la situación actual sobre el mantenimiento de protección contra incendio?
5. Si yo le propusiera un modelo de gestión que facilite el abordaje de brechas en el proceso de mantenimiento y

operatividad de los equipos de protección contra incendio ¿Estaría dispuesto a aplicarlo?

Etapa 3: Alertas sobre las transformaciones

6. ¿Cuál sería su principal preocupación al no identificar las brechas que afectan en la operatividad de los equipos de protección contra incendio?
7. ¿Cuáles son los factores que obstaculizarían la implementación de un proceso de mejora de nuestra gestión de mantenimiento de los sistemas de protección contra incendio?
8. ¿Cuál sería su principal preocupación respecto de la aplicación o implementación de mejoras de la gestión de mantenimiento de los sistemas de protección contra incendios?

Plan de análisis de datos. Se confecciono un set de preguntas categorizadas en 3 etapas que permiten comprender la situación actual de la problemática, los primeros entrevistados permitieron la calibración y el ajuste de las preguntas de manera de obtener una mejor aproximación a las respuestas

Simultáneamente, se investigó información sobre las distintas actividades que involucran el proceso de mantenimiento de los sistemas de protección contra incendio determinándose las barreras que afectan en la disponibilidad de estos equipos.

Todo lo anterior se contrasto con trabajo de investigación de literatura sobre el proceso DMAIC lo que permitió la articulación de las oportunidades de mejoras.

Tabla I Clasificación de gravedad para el calculo de NPR

Severidad (S)		Ocurrencia (O)		Detección (D)	
Valor	Gravedad	Valor	Gravedad	Valor	Gravedad
10	Peligroso: Sin Aviso	10	Muy Alto > 1 en 2	1	Casi Imposible
9	Peligroso: Con Aviso	9	Muy Alto 1 en 3	2	Muy Remota
8	Muy Alto	8	Alta 1 en 8	3	Remota
7	Alto	7	Alta 1 en 20	4	Muy Baja
6	Moderado	6	Moderada 1 en 80	5	Baja
5	Bajo	5	Moderada 1 en 400	6	Moderada
4	Muy Bajo	4	Moderada 1 en 2.000	7	Altamente Moderada
3	Pequeño	3	Baja 1 en 15.000	8	Moderada
2	Muy Pequeño	2	Baja 1 en 150.000	9	Muy Alta
1	Ninguno	1	Remota < 1 en 1.500.000	10	Casi Seguro

(Fuente Elaboración Propia.)

3. Resultados

Las categorías producto del estudio se incorporan en la tabla II, además en esta sección solo se incorpora la información relevante para este estudio.

3.1 Análisis de datos de entrevistas

Pregunta 1: ¿Cómo es el funcionamiento de nuestra red contra incendio?

Si revisamos los resultados generales de la primera pregunta del cuestionario nos encontramos que un 100% de los entrevistados entiende y conoce el funcionamiento de la red de incendios en la planta industrial, lo que queda en evidencia cuando se indica: “Es un sistema integral diseñado para detectar, prevenir y controlar incendios, estos sistemas están compuestos por una serie de elementos interconectados que trabajan juntos para garantizar la seguridad da la industria” (Entrevistado 4) o “El funcionamiento comienza en el almacenamiento de agua en el estanque principal de agua, donde a través de bombas se distribuye a las diferentes áreas de la planta industrial por red Underground, y disponible a través de grifos, gabinetes, rociadores, manifold de distribución, entre otros los que están disponible en caso de Incendio” (Entrevistado 5). Este hallazgo se mantiene consistente en todas las entrevistas llevadas a cabo, las que indican que no hay disparidades significativas según las actividades laborales de los participantes. Esta coherencia es relevante, ya que demuestra que el personal se apropia adecuadamente del concepto de la red contra incendio y su funcionamiento. Se puede inferir que el personal ha recibido una formación adecuada en el tema.

Pregunta 2: ¿Cómo opera hoy la gestión mantenimiento de la red contra incendio?

Respecto a los resultados de la segunda pregunta, se obtuvo que un 100% de los entrevistados asocia a grandes rasgos la gestión de mantenimiento de los sistemas de protección contra incendios, los que se ve respaldado de acuerdo: “ A través de un sistema de inspección se detectan anomalías que luego deriva al personal mecánico para lo correspondiente al mantenimiento de acuerdo con los planes de mantención (Entrevistado 2) o “Mediante planes de mantenimiento los que considera las

inspecciones, pruebas y reparaciones y están cargados en el sistema SAP el cual se va programando semanalmente” (Entrevistado 6). Las respuestas de los entrevistados son claras y evidencian un conocimiento solido del proceso de mantenimiento. Se observan diferentes niveles de profundidad en el tema, los cuales se atribuyen a las funciones laborales específicas de cada entrevistado. A pesar de las variaciones identificadas es clave que todo el personal activo en la gestión de mantenimiento tenga conocimiento del funcionamiento de los sistemas de protección contra incendio, comprensión del mantenimiento, formación periódica e involucramiento y responsabilidad en los planes de mantenimiento.

Pregunta 3: ¿Cómo afectaría a la compañía si en una emergencia no funciona nuestro sistema de protección contra incendio?

Si revisamos los resultados de la tercera pregunta observamos que un 29% de los entrevistados relaciona en primera instancia a un concepto de continuidad operacional, en donde se aprecia en respuesta como: “El principal problema es el daño a la infraestructura que puede generar un problema de continuidad operacional del proceso industrial” (Entrevistado 2). En relación con el otro 71% lo vinculan a un daño de equipos y riesgos de seguridad a las personas los que se reflejan bajo las respuestas “ Sería trágico ya que debido al proceso en nuestras instalaciones son en general de alto riesgo los que podrían dañar equipos e infraestructuras. Podría haber incluso muerte de personas con todo lo que eso significa (Entrevistado 3).” o “La falta de un funcionamiento adecuado del sistema de protección contra incendios en una emergencia puede tener consecuencias graves y poner en riesgo la seguridad de las personas, la instalación y comunidades” (Entrevistado 7).

Tabla II: Categorías del estudio

Preguntas	Categorías
<i>¿Cómo entiende usted el funcionamiento de nuestra red contra incendio?</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Red de Distribución • Sistema Integral
<i>¿Cómo opera hoy la gestión mantenimiento de la red contra incendio?</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Planes de Mantenimiento • Inspecciones, Pruebas y Mantenimiento
<i>¿Cómo afectaría a la compañía si en una emergencia no funciona nuestro sistema de protección contra incendio?</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Continuidad Operacional • Daños de equipos e infraestructuras y riesgos de seguridad
<i>¿Cómo podríamos mejorar la situación actual sobre el mantenimiento de nuestra protección contra incendio?</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Confiabilidad y Mantenimiento • Equipo de Trabajo • Cultura de Uso • Conformidad
<i>Si yo le propusiera un modelo de gestión que facilite el abordaje de brechas en el proceso de mantenimiento y operatividad de los equipos de protección contra incendio ¿Estaría dispuesto a aplicarlo?</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Si • No
<i>¿Cuál sería su principal preocupación al no identificar las brechas que afectan en la operatividad de los equipos de protección contra incendio?</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Problemas de Mantenimiento • Vulnerabilidades
<i>¿Cuáles son los factores que obstaculizarían la implementación de un proceso de mejora de nuestra gestión de mantenimiento de los sistemas de protección contra incendio?</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Cultura al Cambio • Costos de Implementación • Factores Técnicos
<i>¿Cuál sería su principal preocupación respecto de la aplicación o implementación de mejoras de la gestión de mantenimiento de los sistemas de protección contra incendios?</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Continuidad en el Tiempo • Compatibilidad de equipos y Certificaciones

(Fuente elaboración propia)

Si bien se observa una leve tendencia en las percepciones sobre los posibles efectos adversos derivados en la falta de operatividad de los sistemas de protección contra incendios, en general hay una coincidencia en la importancia de estos sistemas. Sin embargo, a pesar de los resultados alentadores es importante seguir reforzando esta consciencia y asegurar que los equipos de emergencias sean correctamente mantenidos y operados.

Pregunta 4: *¿Cómo podríamos mejorar la situación actual sobre el mantenimiento de nuestra protección contra incendio?*

Al analizar las propuestas de alto impacto realizadas a los entrevistados con respecto a la pregunta 4 vemos que un 57% vincula a mejorar en términos de confiabilidad y

mantenimiento del proceso, en donde se sustenta en respuesta como: “La mejora significativa es destinar recursos destinado a la confiabilidad de estos procesos. Es decir, con estudios de análisis de fallas, para estar con diagnósticos precisos y bajo los estándares de mantenimiento preventivo” (Entrevistado 2). Complementando con lo anterior un 29% vincula a mejorar y generar un equipo multidisciplinario que este supervisando constantemente la gestión de mantenimiento de los sistemas de protección contra incendio de acuerdo con lo indicado” Asignar un equipo específico para que cubra y asegure la disponibilidad de la RCI” (Entrevistado 5). Respecto al otro 17% de los resultados, los entrevistados lo asocian a un concepto cultural de que estos elementos se utilizan para otras actividades o tareas no relacionadas con emergencias como

“Para mejorar sería muy importante darle la importancia uso de la red de incendio, dejarla solo para casos de emergencia como debiera ser” (Entrevistado 4). En términos generales, los resultados reflejan que existen diversas perspectivas sobre cómo se puede abordar y mejorar la situación actual. Los entrevistados demuestran comprender el concepto de la importancia de mejora continua y reconocen barreras que podrían afectarla. Las propuestas presentadas son factibles y tienen el potencial de contribuir a mejorar la disponibilidad de estos equipos.

Pregunta 5: Si yo le propusiera un modelo de gestión que facilite el abordaje de brechas en el proceso de mantenimiento y operatividad de los equipos de protección contra incendio ¿Estaría dispuesto a aplicarlo?

Respecto a los resultados de la quinta pregunta, se obtuvo que un 100% de los entrevistados accedería y acepta la idea de evaluar e implementar un modelo que permita abordar las brechas que actualmente se identifican en el mantenimiento de los sistemas de protección contra incendio, esto se afirma cuando “Creo que todo en su correcto planteamiento y ejecución suma, y es importante invertir en la seguridad de la compañía”(Entrevistado 2) o también en “Creo que todo sistema que ayude a ser más eficiente en un proceso es bueno tanto para la organización como para los colaboradores, Estoy de acuerdo” (Entrevistado 4). Las respuestas de los entrevistado muestran que aceptan la idea de mejorar la seguridad de la compañía y de ser más eficientes en los procesos.

Pregunta 6: ¿Cuál sería su principal preocupación al no identificar las brechas que afectan en la operatividad de los equipos de protección contra incendio?

Al analizar las alertas sobre transformaciones en la compañía se aprecia que en la sexta pregunta un 57% vincula una preocupación en términos de problemas de mantenimiento, en donde se puede observar de acuerdo con las siguientes respuestas: “No abordar las deficiencias en el sistema de protección contra incendios previamente de manera de atacar el problema antes y no generemos una consecuencia mayor” (Entrevistado 7) o “Desconocer el comportamiento de nuestros equipos frente a un siniestro debido al mantenimiento y que esto genere un daño grave o fatal como una vida” (Entrevistado 4). Complementando con lo anterior un 29% vinculan a temas de desconocer las vulnerabilidades actuales de los sistemas de protección contra incendio de acuerdo con lo indicado. “Implicaría una demora en el levantamiento del problema y posterior reparación, esto podría transformarse en un problema mayor en termino de producción” (Entrevistado 1). Respecto al otro 17% de los resultados, los entrevistados lo asocian a un concepto de incertidumbre en la planificación de acuerdo a: “ Las áreas que hoy están descubiertas ante un evento y no saber dónde están para al menos tener medidas de mitigación alternativas” (Entrevistado 3). Estas diversas perspectivas de preocupación contribuyen a la identificación de brechas, ofreciendo una guía clara para las acciones que son

necesarias realizar para mejorar la disponibilidad de los sistemas de protección contra incendios.

Pregunta 7: ¿Cuáles son los factores que obstaculizarían la implementación de un proceso de mejora de nuestra gestión de mantenimiento de los sistemas de protección contra incendio?

Al revisar los resultados de la séptima pregunta se visualiza un 29% quienes vinculan los factores a problemas de cultura al cambio, esto se aprecia en respuesta como “Los factores que podrían obstaculizar sería factor humano, muchas veces como reacio a la modernización a los cambios para mejorar un proceso” (Entrevistado 4). Complementando con lo anterior un 57% asocia a factores como el costo de implementar nuevas iniciativas en donde se puede ver en respuestas como “En nuestra organización si se proyecta como plan de inversión, una buena mejora que nos permita dar confianza a nuestra red siempre está sujeta a evaluación” (Entrevistado 5). Respecto a otro 14% de los resultados, los entrevistados lo asocian a un concepto de factores técnicos de acuerdo a: “ Por la naturaleza del proceso se encuentran equipos que no se pueden intervenir en servicio de producción, por lo que es un gran factor para considerar al momento de implementar una mejora en mantenimiento” (Entrevistado 6). De los resultados se observa que los entrevistados son conscientes de los desafíos que implica la implementación y que quieren mejorar la confiabilidad y disponibilidad de estos sistemas. Por otra parte, la diversidad de respuestas implica que hay varios elementos que hay que tener en consideración y que ofrecen aportes para el análisis y la implementación de mejoras en el mantenimiento de los sistemas de protección contra incendios.

Pregunta 8: ¿Cuál sería su principal preocupación respecto de la aplicación o implementación de mejoras de la gestión de mantenimiento de los sistemas de protección contra incendios?

Al revisar los resultados de la octava pregunta se visualiza un 71% quienes vinculan sus preocupaciones en la permanencia o continuidad en el tiempo con respecto a las nuevas implementaciones que se generen, los que se validan de acuerdo con: “Que el personal le dificulte el cambio y que esto provoque confusiones en nuestro sistema actual y que no tenga el efecto deseado” (Entrevistado 1). Complementando con lo anterior un 33% lo asocia a términos de costos y de recursos a factores como falta de recursos en donde se puede ver en respuestas como “Como todo proyecto las principales preocupaciones son el costo de implementación y la compatibilidad con lo ya instalado, sin dejar de lado los tiempos de implementación, asistencia, Post venta de repuestos, Disponibilidad de repuestos, etc.” (Entrevistado 5). Respecto al otro 17% de los resultados, los entrevistados lo asocian a un concepto de permanencia en el tiempo de acuerdo con: “Mi preocupación sería la continuidad de estas implementaciones en el tiempo y el cómo funcionara este sistema para identificar las brechas y repararlas” (Entrevistado 4). Estas preocupaciones son válidas y merecen ser analizadas al momento de implementar mejoras. Las diferentes perspectivas se reflejan en términos de preocupaciones,

subrayando la importancia de considerar distintos puntos de vista al llevar a cabo mejoras en la gestión de mantenimiento de los sistemas de protección contra incendios.

3.2 *Discusión de resultados*

De acuerdo con un análisis de la literatura se resalta la relevancia de tener un plan de mantenimiento que considere los diferentes factores que afectan a los SPCI de acuerdo con su función y diseño.

Considerando la etapa de las entrevistas se contempló que un porcentaje significativo de los colaboradores de la empresa tienen un entendimiento del funcionamiento de los sistemas de protección contra incendio, lo cual va en concordancia con los resultados expuestos por (Chopade, 2020) quien indica que es esencial que el personal sepa sobre los sistemas de extinción de incendios instalados en sus instalaciones además de la importancia en la capacitación sobre el uso de ellos.

Por otra parte, en términos de mantenimiento de estos sistemas, se aprecia que todo el personal entrevistado tiene un conocimiento sobre el concepto sobre los programas de mantención, algunos más que otros y esto se debe principalmente a su rol de participación con respecto a los SPCI. Asimismo, entienden que la no realización de actividades preventivas como identificación de averías, pruebas y mantenimiento de estos equipos afectaría gravemente en diferentes aspectos como en la disponibilidad y operatividad frente a emergencias.

Estos hallazgos están en concordancia con lo indicado por (Kumar, 2023) en donde se indica que la fiabilidad de los SPCI depende de varios factores vitales como la calidad del mantenimiento, la durabilidad de los materiales, el uso de estos equipos y la integridad del diseño. Asimismo, se complementa con lo revisado por (Kodur et al, 2019) en donde se indica que la fiabilidad de los sistemas protección contra incendio no es siempre el 100% disminuyendo las posibilidades de la extinción o control del incendio en su fase de crecimiento. Por lo que es clave contar con un programa de mantención que incluya las correspondientes actividades de inspección y pruebas de manera de aumentar la confiabilidad y operatividad de estos equipos.

Complementando lo anterior y de acuerdo con lo investigado por (Viveros, 2013) el proceso de mantención sigue un ciclo operativo que se describe mediante una secuencia lógica que comienza con la planificación para luego seguir con la programación que deriva a una asignación de recursos, ejecución terminando con el ciclo de mejora continua. Todos estos pasos deben alinearse con los objetivos establecidos por la organización.

Esto va en concordancia con el diagrama de mantenimiento que tiene la compañía y el cual está reflejado en (Figura 1).

Sumado a lo anterior, las entrevistas desempeñaron un papel crucial al inicio del análisis abriendo una ventana directa a sus experiencias y percepciones. Mediante estas interacciones, se detectaron áreas problemáticas que sirvieron como

fundamento para la formulación de un diagnóstico del problema, el cual fue sometido a un proceso de mejora mediante DMAIC, lo que posibilitó descubrir avances en la disponibilidad de los SPCI.

La implicación del equipo en la investigación y en el proceso de mejora es esencial, el que además se sustenta de acuerdo con lo mencionado por (Pérez et al, 2020) para promover la mejora resulta crucial instigar un cambio de actitud orientado hacia la excelencia, aprovechando las capacidades de todo el personal con el objetivo constante de conducir a la empresa hacia el éxito en sus procesos.

A través de las entrevistas y diagrama de proceso permitió una panorámica inicial para la articulación del AMFE permitiendo la identificación de las posibles causas y determinando su NPR (ver tabla III).

De los distintos modos de fallas se identificaron 7 causas de las cuales tres se requiere eliminar el riesgo o la reducción de su nivel correspondiente a las puntuaciones NPR más altas (>100):

1. Planificación de mantenimiento deficiente para los equipos contra incendio.
2. Ambigüedad sobre programa de mantenimiento preventivo para todos los equipos de protección contra incendio.
3. Desconocimiento de repuestos y elementos que deben tener los equipos de protección contra incendio.

Estas causas identificadas concuerdan con (Bukowski, 2001) en donde se indica que dentro de las causas que conducen al fallo en el funcionamiento de SPCI son la falta de mantenimiento y pruebas.

Asimismo, de acuerdo con lo comentado por (Sotelo, 2015) dentro de los eventos en que los rociadores (equipos contra incendios) no operaron o fallaron en su objetivo de control del fuego, se debe principalmente a falta de mantenimiento.

Además, coinciden con el estudio de (Kironji, 2015) en edificios comerciales de gran altura los que carecen de un adecuado programa de mantenimiento.

De igual modo, (Scarf et al, 2023) menciona que retrasos en la gestión de repuestos y almacenamiento afectan a las acciones de mantenimientos, concluyendo que los inventarios existen para la agilización del mantenimiento, y no puede haber mantenimiento si no hay piezas de recambio en stock.

4. Conclusiones

Este trabajo presenta oportunidades de mejora que dificultan en la disponibilidad de los SPCI. En efecto, al examinar los datos, se observa que al trascender las limitaciones identificadas y considerando las oportunidades de mejoras identificadas, estas impactan de forma positiva a la gestión del mantenimiento garantizando en la disponibilidad de los SPCI.

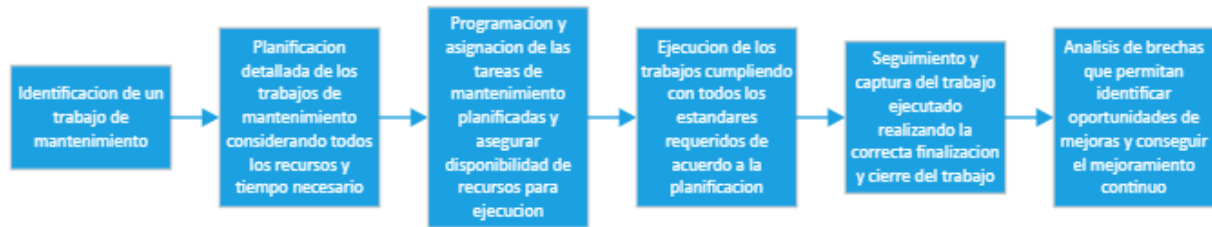


Fig.1. Diagrama de Proceso Mantención, (Fuente: elaboración propia).

Tabla III: AMEF

Factores	Modos de Falla	Efecto	Causa	S	O	D	NPR
Personal que participa en el proceso de mantenimiento	Escases de recursos debido a situaciones de mantenimiento de momento	1. Gasto de recursos en replanificar actividades. 2. Incremento del riesgo de falla del equipo.	Planificación de mantenimiento deficiente para los equipos contra incendio	8	6	5	240
	El uso de los equipos para las actividades operativas	1. Reducción de la vida útil de los equipos contra incendios. 2. Aumento de daños a los equipos contra incendio.	Actividades y vulnerabilidad operacionales implican uso de sistemas de protección contra incendio	5	4	3	75
	Equipos de emergencias en mal estado debido a la falta de cuidados	1. Incremento de costos de mantenimiento. 2. Puede provocar accidentes ya que no están en buen estado.	Carencia en la cultura sobre el cuidado de los equipos contra incendio	5	4	3	75
Métodos utilizados para realizar el proceso	Complejidades con las coordinaciones de mantenciones de algunos equipos contra incendios	1. Reduce la eficacia de estos sistemas. 2. Aumenta riesgo de daños.	Desconocimiento de quienes son los responsables de la red contra incendio	4	4	3	48
	Confiabilidad de los sistemas de protección contra incendio	1. El equipo no funciona correctamente. 2. Aumenta riesgo de incidentes.	Ambigüedad sobre programa de mantenimiento preventivo para todos los equipos de protección contra incendio	8	6	5	240
Materiales utilizados en el proceso	Falta de stock de materiales en bodega	1. Aumento de costos. 2. Retrasos en mantenimiento.	Desconocimiento de repuestos y elementos que deben tener los equipos de protección contra incendio	7	7	3	147
	Equipos Obsoletos	1. Aumenta riesgo de daño.					
Factores ambientales que afectan al proceso	Condiciones ambientales pueden afectar al funcionamiento de los equipos	1. Incremento costos de mantenimiento. 2. Reducción de la vida útil.	Los equipos de protección contra incendio se ubican o se utilizan en entornos que no siempre están controlados	4	4	2	32

(Fuente: elaboración propia)

Este trabajo explora literatura, normativas y casos de estudios nacional e internacional enfocados en la protección contra incendio industrial, la que se complementa con la mirada de mejora continúa detectando acciones o factores que no aportan valor al proceso. Para este caso, el trabajo de investigación propuesto a través del DMAIC, particularmente en su etapa de análisis con la herramienta AMEF, facilitó el reconocimiento de fallas probables que afectan en la disponibilidad de los SPCI, priorizando así sus causas principales y oportunidades de mejoras en el proceso del mantenimiento, algunos de estos modos de fallas son (NPR>100):

1. Escases de recursos debido a situaciones de mantenimiento.
2. Confiabilidad de los SPCI.

3. Equipos obsoletos y poca claridad de registros de elementos de repuesto.

En este sentido, la priorización de mejoras y de acuerdo con las entrevistas realizadas, es bien recibida y las que permitieron la generación de los hallazgos que contribuyen al mejoramiento de las principales brechas que afectan en el proceso de la disponibilidad de los sistemas de protección contra incendios reflejados en la tabla IV.

Tabla IV Plan de mejoras

Causa	Iniciativa/Mejora	Frecuencia	Resultado Esperado	Control
Planificación de mantenimiento deficiente para los equipos contra incendio	Realizar un análisis de riesgos identificando los equipos críticos que requiere mayor atención con relación a la protección contra incendio y actualización en los planes de mantenimiento.	Una vez al año y actualizar periódicamente según planificación de mantenimiento	Disminuir riesgo de generar problema mayor.	Generar reuniones mensuales y revisión de equipos críticos
Actividades y vulnerabilidad operacionales implican uso de sistemas de protección contra incendio	Levantamiento de vulnerabilidades operacionales que impliquen el uso de los sistemas de protección contra incendio en las distintas áreas y con ello realizar solicitudes de mejoras.	Al menos una vez al año o con mayor frecuencia si es necesario	Disminuir costos de mantenimiento y mejorar la seguridad de la empresa	Auditoria para medir cumplimiento de vulnerabilidades
Carencia en la cultura sobre el cuidado de los equipos contra incendio	Capacitar y empoderar al personal en la importancia de la seguridad y el cuidado de los sistemas de protección contra incendio	De manera constante a través de diferentes canales y formatos de comunicación	Aumento en la cultura de la seguridad y operatividad de estos equipos	Auditoria para medir cumplimiento de programa de capacitación
Desconocimiento de quienes son los responsables de la red contra incendio	Establecer equipo de trabajo para los equipos de protección contra incendio indicando estructura, funciones y actualización de procedimientos	Una vez al año actualizar o de acuerdo con cambios de personal	Identificar a todos los involucrados con sus funciones y responsabilidades	Revisión en reuniones periódicas y actualizar en caso de cambios
Ambigüedad sobre programa de mantenimiento preventivo para todos los equipos de protección contra incendio	Actualizar plan mantenimiento preventivo a todos los sistemas de protección contra incendio que incluya objetivos, metas, recursos, inspecciones, pruebas y responsables además de incorporar frecuencias a los equipos mas críticos	Una vez al año para luego revisar y actualizar periódicamente según sea necesario	Ordenar actividades de mantenimiento, mejorar la disponibilidad de los equipos y reducción de los costos de mantenimiento	Reuniones semanales de programación y cumplimiento de planes preventivos
Desconocimiento de repuestos y elementos que deben tener los equipos de protección contra incendio	Realizar un inventario de todos los equipos contra incendio de la empresa e incorporarlos al sistema de gestión	Una vez al semestre o con mayor frecuencia si fuera necesario	Registro actualizado en el sistema de gestión	Auditoria para medir levantamiento inventario
Los equipos de protección contra incendio se ubican o se utilizan en entornos que no siempre están controlados	Levantamiento y actualización de equipos críticos que tengan mayores riesgos al deterioro debido al entorno y con ello realizar solicitudes de mejoras	De acuerdo con plan de mantenimiento y actualizarse según sea necesario	Mejorar la seguridad y operatividad de los equipos	Revisión en reuniones periódicas

(Fuente elaboración propia)

Dicho lo anterior y para el abordaje de las brechas detectadas se propone las siguientes acciones para cada una de ellas:

1. Capacitar y empoderar al personal en la importancia de la seguridad y el cuidado de los sistemas de protección contra incendio.
2. Realizar un análisis de riesgos identificando los equipos críticos que requiere mayor atención con relación a la protección contra incendio y actualización en los planes de mantenimiento.
3. Levantamiento de vulnerabilidades operacionales que impliquen el uso de los SPCI en las distintas áreas y con ello realizar solicitudes de mejoras.
4. Establecer el equipo de trabajo que se encargará de los equipos contra incendio indicando estructura, funciones y actualización de procedimientos.
5. Actualizar plan mantenimiento preventivo a todos los SPCI que incluya objetivos, metas, recursos, inspecciones, pruebas y responsables además de incorporar frecuencias a los equipos más críticos.
6. Realizar un inventario los equipos contra incendio de la empresa e incorporarlos al sistema de gestión.
7. Levantamiento y actualización de equipos críticos que tengan mayores riesgos al deterioro debido al entorno y con ello realizar solicitudes de mejoras.

En este estudio ofrece herramientas para la detección de factores que afectan en la disponibilidad y operatividad de los SPCI en un Complejo Industrial Forestal.

La formulación de estas estrategias debe llevarse a cabo con precisión en cuanto a los conceptos subyacentes a las tecnologías de protección contra incendios disponibles, y debe ser liderada por un equipo multidisciplinario de profesionales competentes y con una perspectiva global que abarque tanto el ámbito empresarial específico como las prácticas normativas nacionales e internacionales en la gestión de riesgos. De manera congruente, se resalta la importancia de considerar proveedores que cuenten con aprobaciones, tecnologías y equipos certificados de acuerdo con lo establecidos con las normativas.

En síntesis, se concluye que el atenuar las barreras identificadas en esta investigación reduce el riesgo de daños y mejora la confiabilidad del proceso de mantenimiento.

Se recomienda que las organizaciones que necesiten aplicar la metodología DMAIC, junto con el uso de la herramienta AMEF en la etapa análisis, configuren un equipo multidisciplinario con conocimientos específicos sobre el tema de investigación. Esto permitiría la colaboración entre los responsables de la gestión y los empleados, contribuyendo así a reducir los riesgos inherentes y mejorar la disponibilidad y operatividad de estos sistemas.

Referencias

Alkunsol, W., Sharabati, A., AlSalhi, N. & El-Tamimi, H. (2019). Lean Six Sigma effect on Jordanian

- pharmaceutical industry's performance. Disponible en <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJLSS-01-2017-0003/full/html>
- Arata, A. & Furlanetto, L. (2005). *Manual de Gestión de Activos y Mantenimiento*. RIL Editores. 1a Edición. Santiago, Chile. p. 924. 2005. ISBN: 9562844331.
- Araujo, M. (2018). Los 5 porqués de Toyota: una técnica para identificar y resolver problemas. Recuperado a partir de <https://www.linkedin.com/pulse/los-5-porqu%C3%A9s-de-toyota-una-t%C3%A9cnica-para-identificar-y-araujo/?originalSubdomain=es>
- Barsalou, M. & Starzyńska, B. (2023). Inquiry into the Use of Five Whys in Industry. *Quality Innovation Prosperity*. 27. 62-78. 10.12776/qip.v27i1.1771.
- Blanco, J. & Duque, O. (2018). "Ingeniería de mantenimiento basada en confiabilidad a los equipos altamente críticos de la Empresa Comercializadora LICRATEX C.A.". Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6638700>
- Bukowski, J. Modeling and analyzing the effects of periodic inspection on the performance of safety-critical Systems. in *IEEE Transactions on Reliability*, vol. 50, no. 3, pp. 321-329, Sept. 2001, doi: 10.1109/24.974130.
- Cano, H. (2019). Propuesta de mejoras en base al modelo Six sigma para el área logística de la empresa Videojet Technologies Chile. Disponible en <https://repositoriobiblioteca.udp.cl/IT4280.pdf>
- Carrillo, M, Vargas, L., Severiche, C., Peralta, J. & Ortega, V. (2022). Metodología DMAIC de Lean Seis Sigma: Una revisión en el contexto del ruido industrial - sector metalmeccánico. Recuperado a partir de <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/2081>
- CDT (2021). Protección contra el fuego: Novedades para el control de incendios. Recuperado a partir de <https://www.cdt.cl/proteccion-contra-el-fuego-novedades-para-el-control-de-incendios/#:~:text=La%20protecci%C3%B3n%20pasiva%2C%20es%20aquella,del%20eventual%20colapso%20de%20la>
- Contreras, G. (2023). "AMEF: evaluación de riesgos y calidad en una sola herramienta" Recuperado a partir de <https://www.blog-qhse.com/es/amef-evaluacion-de-riesgos-y-calidad-en-una-sola-herramienta>
- ElLithy, M., ElSamani, O., Salah, H., Opinion, F., & Abdelghani, L. (2023). Challenges experienced during pharmacy automation and robotics implementation in JCI accredited hospital in the Arabian Gulf Area: FMEA Analysis-Qualitative approach. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 31(9), 101725. <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2023.101725>
- Esquivel, A., Leon, R. & Castellanos, G. (2017). Mejora continua de los procesos de gestión del conocimiento en instituciones de educación superior ecuatorianas. Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&id=S2306-91552017000200005
- Farag, A. (2021). 4.4. Project Charter. *Essentials of Project Management*. Recuperado a partir de <https://ecampusontario.pressbooks.pub/essentialsofprojectmanagement/chapter/4-4-project-charter/>
- Gangidi, P. (2019). A systematic approach to root cause analysis using 3 × 5 why's technique. *International Journal of Lean Six Sigma*, [e-journal] 10(1), pp.295-310. DOI: 10.1108/IJLSS-10-2017-0114.
- Gómez, H. (2019). Propuesta de plan de mantenimiento para equipo crítico del mantenimiento de áreas verdes. Recuperado de <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/48906/3560901064831UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hartwell, J (2022). FMEA RPN – Risk Priority Number. How to Calculate and Evaluate? Disponible en <https://www.iqasystem.com/news/risk-priority-number/>
- Hassan, F., Nguyen, T., Le, T., & Le, C. (2023). Automated prioritization of construction project requirements using machine learning and Fuzzy Failure Mode and Effects Analysis (FMEA). *Automation in Construction*, 154, 105013. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105013>
- Hermosilla N. (2019). Aplicación de metodología Dmaic para la disminución de pérdida en fabricación chocolate de una planta productora de chocolates. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/191407>
- Juarez, R. (2020), ¿Que es la Gestión de Mantenimiento? Recuperado a partir de https://www.linkedin.com/pulse/qu%C3%A9-es-la-gesti%C3%B3n-de-mantenimiento-ross-ju%C3%A1rez?trk=public_profile_article_view.
- Kironji, M. (2015). Evaluation of Fire Protection Systems in Commercial Highrise Buildings for Fire Safety Optimization. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/329363530_Evaluation_of_Fire_Protection_Systems_in_Commercial_Highrise_Buildings_for_Fire_Safety_Optimization_A_Case_of_Nairobi_Central_Business_District

- Kodur, V., Kumar, P. & Rafi, M. (2019). Fire hazard in buildings: review, assessment and strategies for improving fire safety. *PSU Research Review*. ahead-of-print. 10.1108/PRR-12-2018-0033.
- Liu, H., Ling, L., & Liu, N. (2013). Risk Evaluation Approaches in Failure Mode and Effects Analysis: A literature review. *Expert Systems with Applications*, 40(2), 828-838. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.08.010>
- Lo, H., Liou, J., Huang, C. & Chuang, Y. (2019). A novel failure mode and effect analysis model for machine tool risk analysis. *Reliability Engineering & System Safety*, 183, 173-183. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2018.11.018>
- McCarty, T, Bremer, M. & Daniels, L. (2005): Six Sigma black belt handbook. Editorial McGraw Hill.
- Memoria Arauco (2017). Recuperado a partir de https://www.arauco.cl/peru/wp-content/uploads/sites/22/2017/07/MEMORIA_ARAUUCO_2017_FINAL.pdf.
- Neira, K. (2009). Mejoramiento del proceso del área comercial mujer en Mavesa Ltda. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/102017>
- NFPA 1 (2018). Código de Incendio Disponible en <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=1>
- Ojeda, C & Aguilera, R. (2021). Reingeniería del sistema de bombeo e implementación de un SCADA para la supervisión y control automático del sistema contra incendio, en la planta industrial Petróleos Paraguayos PETROPAR. *Revista Científica de la UCSA*, 8(3), 20-38. Epub December 00, 2021. <https://doi.org/10.18004/ucsa/2409-8752/2021.008.03.020>
- Orelvis, G. (2006). En Chile falta una efectiva capacitación a profesionales sobre como ejecutar ingeniería de protección contra incendios. Recuperado a partir de <https://emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=1454&edi=65&xit=orelvis-gonzalez-en-chile-falta-una-efectiva-capacitacion-a-profesionales-sobre-como-ejecutar-ingenieria-de-proteccion-contra-incendios>
- Ouyang, L, Zheng, W, Zhu, Y & Zhou, X (2020). An interval probability-based FMEA model for risk assessment: A real-world case. *Qual Reliab Engng Int*. 2020; 36: 125–143. <https://doi.org/10.1002/qre.2563>
- Ouyang, L., Che, Y., Ling, Y., & Park, C. (2022). Multiple Perspectives on analyzing risk factors in FMEA. *Computers in Industry*, 141, 103712. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2022.103712>
- Patton, F (2005). Does Six Sigma Work in Service Industries? Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4618167>
- Pérez, L., Pérez, J., García, L. & Gómez, P. (2020). Aplicación de metodología DMAIC en la resolución de problemas de calidad. *Mundo FESC*, 10(19), 55–66. Recuperado a partir de <https://www.fesc.edu.co/Revistas/OJS/index.php/mundofesc/article/view/508>
- Pinedo, J. (2017). Generar Estrategia de Mantenimiento para Sistemas Contra Incendio en Campus San Joaquín". Tesis de Titulación, Universidad Federico Santa Maria. Repositorio Institucional - Universidad Federico Santa Maria
- Ramírez, M., Navarro, S., Serpell, A. & Enberg, L. (2007). ¿Seis Sigma en hospitales chilenos? Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2949915>
- Ruff, M. (2010). The Employee Perspective of the Six Sigma Methodology. Disponible en <https://www.isixsigma.com/change-management-implementation/employee-perspective-six-sigma-methodology/>
- Scarf, P., Syntetos, A. & Teunter, R. Joint maintenance and spare-parts inventory models: a review and discussion of practical stock-keeping rules, *IMA Journal of Management Mathematics*, 2023, dpad020, <https://doi.org/10.1093/imaman/dpad020>
- Sotelo, J. (2015). "Responsabilidades del propietario o su designado en la inspección, prueba y mantenimiento de sistemas contra incendio" Recuperado a partir de <https://firereport.net/responsabilidades-del-propietario-o-su-designado-en-la-inspeccion-prueba-y-mantenimiento-de-sistemas-contra-incendio/>
- Su, X., Deng, Y., Mahadevan, S., & Bao, Q. (2012). An improved method for risk evaluation in failure modes and effects analysis of aircraft engine rotor blades. *Engineering Failure Analysis*, 26, 164-174. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2012.07.009>
- Tolamatl Michcol, J., Gallardo García, D., Varela Loyola, J. A., & Flores Ávila, E. (2011). Aplicación de Seis Sigma en una Microempresa del Ramo Automotriz. *Conciencia Tecnológica*, (42), 11-18.
- Vidal, B., Soler, V. & Molina, A. (2018). Metodología Six Sigma. Comparación entre ciclo PDCA y DMAIC. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7173589>

- Viveros, P., Stegmaier, R., Kristjanpoller, F., Barbera, L. & Crespo, A. (2013). Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 21(1), 125-138. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052013000100011>.
- Willis Towers Watson (2020). Incendios en Chile: Perspectiva como Brokers de Seguros. Recuperado a partir de <https://www.wtwco.com/es-CL/Insights/2020/11/incendios-en-chile-perspectiva-como-brokers-de-seguros>.

4 CONCLUSIONES GENERALES

Este trabajo presenta oportunidades de mejora que dificultan en la disponibilidad de los SPCI. En efecto, al examinar los datos, se observa que al trascender las limitaciones identificadas y considerando las oportunidades de mejoras detectadas, estas impactan de forma positiva a la gestión del mantenimiento garantizando en la disponibilidad de los SPCI.

Este trabajo explora literatura, normativas y casos de estudios nacional e internacional enfocados en la protección contra incendio industrial, la que se complementa con la mirada de mejora continúa detectando acciones o factores que no aportan valor al proceso. Para este caso, el trabajo de investigación propuesto a través del DMAIC, particularmente en su etapa de análisis con la herramienta AMEF, facilitó el reconocimiento de fallas probables que afectan en la disponibilidad de los SPCI, priorizando así sus causas principales y oportunidades de mejoras en el proceso del mantenimiento, algunos de estos modos de fallas son (NPR>100):

1. Escases de recursos debido a situaciones de mantenimiento.
2. Confiabilidad de los SPCI.
3. Equipos obsoletos y poca claridad de registros de elementos de repuesto.

En este sentido, la priorización de mejoras y de acuerdo con las entrevistas realizadas, es bien recibida y las que permitieron la generación de los hallazgos que contribuyen al mejoramiento de las principales brechas que afectan en el proceso de la disponibilidad de los sistemas de protección contra incendios reflejados en la tabla IV y la cual además se incluyen actividades de seguimiento y control específicas para cada oportunidad detectada con el fin de evaluar periódicamente el impacto de estas acciones.

Tabla IV Plan de mejoras

Causa	Iniciativa/Mejora	Frecuencia	Resultado Esperado	Control
Planificación de mantenimiento deficiente para los equipos contra incendio	Realizar un análisis de riesgos identificando los equipos críticos que requiere mayor atención con relación a la protección contra incendio y actualización en los planes de mantenimiento.	Una vez al año y actualizar periódicamente según planificación de mantenimiento	Disminuir riesgo de generar problema mayor.	Generar reuniones mensuales y revisión de equipos críticos
Actividades y vulnerabilidad operacionales implican uso de sistemas de protección contra incendio	Levantamiento de vulnerabilidades operacionales que impliquen el uso de los sistemas de protección contra incendio en las distintas áreas y con ello realizar solicitudes de mejoras.	Al menos una vez al año o con mayor frecuencia si es necesario	Disminuir costos de mantenimiento y mejorar la seguridad de la empresa	Auditoria para medir cumplimiento de vulnerabilidades
Carencia en la cultura sobre el cuidado de los equipos contra incendio	Capacitar y empoderar al personal en la importancia de la seguridad y el cuidado de los sistemas de protección contra incendio	De manera constante a través de diferentes canales y formatos de comunicación	Aumento en la cultura de la seguridad y operatividad de estos equipos	Auditoria para medir cumplimiento de programa de capacitación
Desconocimiento de quienes son los responsables de la red contra incendio	Establecer equipo de trabajo para los equipos de protección contra incendio indicando estructura, funciones y actualización de procedimientos	Una vez al año actualizar o de acuerdo con cambios de personal	Identificar a todos los involucrados con sus funciones y responsabilidades	Revisión en reuniones periódicas y actualizar en caso de cambios
Ambigüedad sobre programa de mantenimiento preventivo para todos los equipos de protección contra incendio	Actualizar plan mantenimiento preventivo a todos los sistemas de protección contra incendio que incluya objetivos, metas, recursos, inspecciones, pruebas y responsables además de incorporar frecuencias a los equipos mas críticos	Una vez al año para luego revisar y actualizar periódicamente según sea necesario	Ordenar actividades de mantenimiento, mejorar la disponibilidad de los equipos y reducción de los costos de mantenimiento	Reuniones semanales de programación y cumplimiento de planes preventivos
Desconocimiento de repuestos y elementos que deben tener los equipos de protección contra incendio	Realizar un inventario de todos los equipos contra incendio de la empresa e incorporarlos al sistema de gestión	Una vez al semestre o con mayor frecuencia si fuera necesario	Registro actualizado en el sistema de gestión	Auditoria para medir levantamiento inventario
Los equipos de protección contra incendio se ubican o se utilizan en entornos que no siempre están controlados	Levantamiento y actualización de equipos críticos que tengan mayores riesgos al deterioro debido al entorno y con ello realizar solicitudes de mejoras	De acuerdo con plan de mantenimiento y actualizarse según sea necesario	Mejorar la seguridad y operatividad de los equipos	Revisión en reuniones periódicas

(Fuente elaboración propia)

Dicho lo anterior y para el abordaje de las brechas detectadas se propone las siguientes acciones para cada una de ellas:

- Capacitar y empoderar al personal en la importancia de la seguridad y el cuidado de los sistemas de protección contra incendio.
- Realizar un análisis de riesgos identificando los equipos críticos que requiere mayor atención con relación a la protección contra incendio y actualización en los planes de mantenimiento.
- Levantamiento de vulnerabilidades operacionales que impliquen el uso de los SPCI en las distintas áreas y con ello realizar solicitudes de mejoras.
- Establecer el equipo de trabajo que se encargará de los equipos contra incendio indicando estructura, funciones y actualización de procedimientos.
- Actualizar plan mantenimiento preventivo a todos los SPCI que incluya objetivos, metas, recursos, inspecciones, pruebas y responsables además de incorporar frecuencias a los equipos más críticos.

- Realizar un inventario los equipos contra incendio de la empresa e incorporarlos al sistema de gestión.
- Levantamiento y actualización de equipos críticos que tengan mayores riesgos al deterioro debido al entorno y con ello realizar solicitudes de mejoras.

En este estudio ofrece herramientas para la detección de factores que afectan en la disponibilidad y operatividad de los SPCI en un Complejo Industrial Forestal.

La formulación de estas estrategias debe llevarse a cabo con precisión en cuanto a los conceptos subyacentes a las tecnologías de protección contra incendios disponibles, y debe ser liderada por un equipo multidisciplinario de profesionales competentes y con una perspectiva global que abarque tanto el ámbito empresarial específico como las prácticas normativas nacionales e internacionales en la gestión de riesgos. De manera congruente, se resalta la importancia de considerar proveedores que cuenten con aprobaciones, tecnologías y equipos certificados de acuerdo con lo establecidos con las normativas.

En síntesis, se concluye que el atenuar las barreras identificadas en esta investigación reduce el riesgo de daños y mejora la confiabilidad del proceso de mantenimiento.

Se recomienda que las organizaciones que necesiten aplicar la metodología DMAIC, junto con el uso de la herramienta AMEF en la etapa análisis, configuren un equipo multidisciplinario con conocimientos específicos sobre el tema de investigación. Esto permitiría la colaboración entre los responsables de la gestión y los empleados, contribuyendo así a reducir los riesgos inherentes y mejorar la disponibilidad y operatividad de estos sistemas.

4.1 Propuesta para trabajos futuros

Como continuación de este trabajo de tesis, hay varias líneas de desarrollo que quedan pendientes, y en las que es posible continuar trabajando; algunas de ellas, están más directamente relacionadas con este trabajo de tesis y son el resultado de preguntas que han ido surgiendo durante el proceso de investigación, como otras que son más tangenciales a la investigación. A continuación, revisaremos trabajos futuros que pueden investigarse como conclusión de esta investigación:

- Realizar una investigación sobre como impacta en el tiempo las oportunidades de mejoras identificadas en este trabajo de investigación.
- Investigar estrategias y tecnologías para mejorar la detección y gestión de vulnerabilidades operacionales relacionadas con el uso de los SPCI en diversas áreas, con el fin de proponer soluciones más efectivas.
- Evaluación Continua del Plan de Mantenimiento Preventivo.
- Ampliar investigación en otros rubros industriales.
- Realizar una evaluación detallada del costo-beneficio de las mejoras propuestas, considerando no solo los aspectos financieros, sino también los beneficios en términos de seguridad, disponibilidad operativa y cumplimiento de normativas.
- Investigar las normativas y estándares internacionales más recientes relacionados con la gestión de sistemas de protección contra incendios, con el objetivo de garantizar la alineación de las prácticas de la empresa con las mejores prácticas a nivel global.
- Ampliar los métodos utilizados para dar validez estadística a la propuesta, utilizando además otras técnicas cualitativas y la incorporación de cuantitativas.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alkunsol, W., Sharabati, A., AlSalhi, N. & El-Tamimi, H. (2019). Lean Six Sigma effect on Jordanian pharmaceutical industry's performance. Disponible en <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJLSS-01-2017-0003/full/html>
- Arata, A. & Furlanetto, L. (2005). Manual de Gestión de Activos y Mantenimiento. RIL Editores. 1a Edición. Santiago, Chile. p. 924. 2005. ISBN: 9562844331.
- Araujo, M. (2018). Los 5 porqués de Toyota: una técnica para identificar y resolver problemas. Recuperado a partir de <https://www.linkedin.com/pulse/los-5-porqu%C3%A9s-de-toyota-una-t%C3%A9cnica-para-identificar-y-araujo/?originalSubdomain=es>
- Barsalou, M. & Starzyńska, B. (2023). Inquiry into the Use of Five Whys in Industry. Quality Innovation Prosperity. 27. 62-78. 10.12776/qip.v27i1.1771.
- Blanco, J. & Duque, O. (2018). "Ingeniería de mantenimiento basada en confiabilidad a los equipos altamente críticos de la Empresa Comercializadora LICRATEX C.A.". Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6638700>

- Bukowski, J. Modeling and analyzing the effects of periodic inspection on the performance of safety-critical Systems. in IEEE Transactions on Reliability, vol. 50, no. 3, pp. 321-329, Sept. 2001, doi: 10.1109/24.974130.
- Cano, H. (2019). Propuesta de mejoras en base al modelo Six sigma para el área logística de la empresa Videojet Technologies Chile. Disponible en <https://repositoriobiblioteca.udp.cl/IT4280.pdf>
- Carrillo, M, Vargas, L., Severiche, C., Peralta, J. & Ortega, V. (2022). Metodología DMAIC de Lean Seis Sigma: Una revisión en el contexto del ruido industrial - sector metalmecánico. Recuperado a partir de <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/2081>
- CDT (2021). Protección contra el fuego: Novedades para el control de incendios. Recuperado a partir de <https://www.cdt.cl/proteccion-contra-el-fuego-novedades-para-el-control-de-incendios/#:~:text=La%20protecci%C3%B3n%20pasiva%2C%20es%20aquella,del%20eventual%20colapso%20de%20la>
- Contreras, G. (2023). “AMEF: evaluación de riesgos y calidad en una sola herramienta” Recuperado a partir de <https://www.blog-qhse.com/es/amef-evaluacion-de-riesgos-y-calidad-en-una-sola-herramienta>
- ElLithy, M., ElSamani, O., Salah, H., Opinion, F., & Abdelghani, L. (2023). Challenges experienced during pharmacy automation and robotics implementation in JCI accredited hospital in the Arabian Gulf Area: FMEA Analysis-Qualitative approach. Saudi Pharmaceutical Journal, 31(9), 101725. <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2023.101725>
- Esquivel, A., Leon, R. & Castellanos, G. (2017). Mejora continua de los procesos de gestión del conocimiento en instituciones de educación superior ecuatorianas. Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2306-91552017000200005
- Farag, A. (2021). 4.4. Project Charter. Essentials of Project Management. Recuperado a partir de <https://ecampusontario.pressbooks.pub/essentialsofprojectmanagement/chapter/4-4-project-charter/>
- Gangidi, P. (2019). A systematic approach to root cause analysis using 3 × 5 why's technique. International Journal of Lean Six Sigma, [e-journal] 10(1), pp.295-310. DOI: 10.1108/IJLSS-10-2017-0114.
- Gómez, H. (2019). Propuesta de plan de mantenimiento para equipo crítico del mantenimiento de áreas verdes. Recuperado de

<https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/48906/3560901064831UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Hartwell, J (2022). FMEA RPN – Risk Priority Number. How to Calculate and Evaluate? Disponible en <https://www.iqasystem.com/news/risk-priority-number/>

Hassan, F., Nguyen, T., Le, T., & Le, C. (2023). Automated prioritization of construction project requirements using machine learning and Fuzzy Failure Mode and Effects Analysis (FMEA). *Automation in Construction*, 154, 105013. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105013>

Hermosilla N. (2019). Aplicación de metodología Dmaic para la disminución de pérdida en fabricación chocolate de una planta productora de chocolates. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/191407>

Juarez, R. (2020), ¿Que es la Gestión de Mantenimiento? Recuperado a partir de https://www.linkedin.com/pulse/qu%C3%A9-es-la-gesti%C3%B3n-de-mantenimiento-ross-ju%C3%A1rez?trk=public_profile_article_view.

Kironji, M. (2015). Evaluation of Fire Protection Systems in Commercial Highrise Buildings for Fire Safety Optimization. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/329363530_Evaluation_of_Fire_Protection_Systems_in_Commercial_Highrise_Buildings_for_Fire_Safety_Optimization_A_Case_of_Nairobi_Central_Business_District

Kodur, V., Kumar, P. & Rafi, M. (2019). Fire hazard in buildings: review, assessment and strategies for improving fire safety. *PSU Research Review*. ahead-of-print. 10.1108/PRR-12-2018-0033.

Liu, H., Ling, L., & Liu, N. (2013). Risk Evaluation Approaches in Failure Mode and Effects Analysis: A literature review. *Expert Systems with Applications*, 40(2), 828-838. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.08.010>

Lo, H., Liou, J., Huang, C. & Chuang, Y. (2019). A novel failure mode and effect analysis model for machine tool risk analysis. *Reliability Engineering & System Safety*, 183, 173-183. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2018.11.018>

McCarty, T, Bremer, M. & Daniels, L. (2005): *Six Sigma black belt handbook*. Editorial McGraw Hill.

Memoria Arauco (2017). Recuperado a partir de https://www.arauco.cl/peru/wp-content/uploads/sites/22/2017/07/MEMORIA_ARAUCO_2017_FINAL.pdf.

- Neira, K. (2009). Mejoramiento del proceso del área comercial mujer en Mavesa Ltda. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/102017>
- NFPA 1 (2018). Código de Incendio Disponible en <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=1>
- Ojeda, C & Aguilera, R. (2021). Reingeniería del sistema de bombeo e implementación de un SCADA para la supervisión y control automático del sistema contra incendio, en la planta industrial Petróleos Paraguayos PETROPAR. Revista Científica de la UCSA, 8(3), 20-38. Epub December 00, 2021. <https://doi.org/10.18004/ucsa/2409-8752/2021.008.03.020>
- Orelvis, G. (2006). En Chile falta una efectiva capacitación a profesionales sobre como ejecutar ingeniería de protección contra incendios. Recuperado a partir de <https://emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=1454&edi=65&xit=orelvis-gonzalez-en-chile-falta-una-efectiva-capacitacion-a-profesionales-sobre-como-ejecutar-ingenieria-de-proteccion-contra-incendios>
- Ouyang, L, Zheng, W, Zhu, Y & Zhou, X (2020). An interval probability-based FMEA model for risk assessment: A real-world case. Qual Reliab Engng Int. 2020; 36: 125–143. <https://doi.org/10.1002/qre.2563>
- Ouyang, L., Che, Y., Ling, Y., & Park, C. (2022). Multiple Perspectives on analyzing risk factors in FMEA. Computers in Industry, 141, 103712. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2022.103712>
- Patton, F (2005). Does Six Sigma Work in Service Industries? Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4618167>
- Pérez, L., Pérez, J., García, L. & Gómez, P. (2020). Aplicación de metodología DMAIC en la resolución de problemas de calidad. Mundo FESC, 10(19), 55–66. Recuperado a partir de <https://www.fesc.edu.co/Revistas/OJS/index.php/mundofesc/article/view/508>
- Pinedo, J. (2017). Generar Estrategia de Mantenimiento para Sistemas Contra Incendio en Campus San Joaquín”. Tesis de Titulación, Universidad Federico Santa Maria. Repositorio Institucional - Universidad Federico Santa Maria
- Ramírez, M., Navarro, S., Serpell, A. & Enberg, L. (2007). ¿Seis Sigma en hospitales chilenos? Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2949915>
- Ruff, M. (2010). The Employee Perspective of the Six Sigma Methodology. Disponible en <https://www.isixsigma.com/change-management-implementation/employee-perspective-six-sigma-methodology/>

- Scarf, P., Syntetos, A. & Teunter, R. Joint maintenance and spare-parts inventory models: a review and discussion of practical stock-keeping rules, *IMA Journal of Management Mathematics*, 2023, dpad020, <https://doi.org/10.1093/imaman/dpad020>
- Sotelo, J. (2015). "Responsabilidades del propietario o su designado en la inspección, prueba y mantenimiento de sistemas contra incendio" Recuperado a partir de <https://firereport.net/responsabilidades-del-propietario-o-su-designado-en-la-inspeccion-prueba-y-mantenimiento-de-sistemas-contra-incendio/>
- Su, X., Deng, Y., Mahadevan, S., & Bao, Q. (2012). An improved method for risk evaluation in failure modes and effects analysis of aircraft engine rotor blades. *Engineering Failure Analysis*, 26, 164-174. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2012.07.009>
- Tolamatl Michcol, J., Gallardo García, D., Varela Loyola, J. A., & Flores Ávila, E. (2011). Aplicación de Seis Sigma en una Microempresa del Ramo Automotriz. *Conciencia Tecnológica*, (42), 11-18.
- Vidal, B., Soler, V. & Molina, A. (2018). Metodología Six Sigma. Comparación entre ciclo PDCA y DMAIC. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7173589>
- Viveros, P., Stegmaier, R., Kristjanpoller, F., Barbera, L. & Crespo, A. (2013). Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 21(1), 125-138. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052013000100011>.
- Willis Towers Watson (2020). Incendios en Chile: Perspectiva como Brokers de Seguros. Recuperado a partir de <https://www.wtwco.com/es-CL/Insights/2020/11/incendios-en-chile-perspectiva-como-brokers-de-seguros>.

6 ANEXO: REPORTE DE PLAGIO

El reporte de posibilidad de plagio de este trabajo, con otros trabajos publicados entrega un porcentaje de similitud de: 8%



Plagiarism Checker X - Report

Originality Assessment

8%



Overall Similarity

Date: dic. 15, 2023

Matches: 611 / 8063 words

Sources: 31

Remarks: Low similarity detected, consider making necessary changes if needed.

Verify Report:

Scan this QR Code

