Universidad Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

Trabajo de Suficiencia Profesional

Implementación de integridad mecánica-Planta Calidra Perú

Paul Christian Andrade Corimanya

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Mecánico

Arequipa, 2024

Repositorio Institucional Continental
Trabajo de suficiencia profesional

Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

Universidad Continental

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A	:	Decano de la Facultad de Ingeniería
DE	:	Mg. Jonathan Alain Sánchez Paredes Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO	:	Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA	:	7 de Febrero de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:
Implementación de integridad mecánica- planta Calidra Perú

Autor:
PAUL CHRISTIAN ANDRADE CORIMANYA – EAP. Ingeniería Mecánica

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 11 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía — SI [X] NO [ ]
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores — SI [ ] NO [X]
  N° de palabras excluidas **(en caso de elegir "SI")**:
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante — SI [ ] NO [X]

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

Jonathan Alain Sánchez Paredes
Coordinador Académico de EAP Mecánica
Filial Arequipa

Asesor de trabajo de investigación

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a Calidra Perú S.A.C., cuya oportunidad de laborar en la empresa hizo posible este proyecto. A mis compañeros de trabajo y jefes inmediatos, que sin su apoyo no se hubiese logrado completar la información requerida; a mi asesor de tesis, el Ing. Jonathan Alain, por su invaluable orientación, paciencia y apoyo constante durante todo el proceso de investigación.

A mis amigos y compañeros de estudio, por sus palabras de aliento y por estar siempre apoyándome con su ayuda. A mi familia, por su amor incondicional y apoyo durante estos años; y a mis padres, en especial por el gran empuje que me brindaron en estos años para seguir continuando, que los grandes proyectos dan grandes frutos.

Finalmente, quiero agradecer a todas aquellas personas que, de una u otra manera, siempre están presentes, contribuyeron al éxito de esta tesis. Su apoyo y confianza en mí han sido fundamentales todo este tiempo.

DEDICATORIA

A mi padre, Paulino Andrade Colque, que siempre estuvo presente apoyando y guiando a lo largo de estos años, y a mi madre Ceferina Josefa Corimanya Mamani, por su amor incondicional, sacrificio y constante que, aunque no se encuentre presente, sin su guía y ejemplo, este logro no habría sido posible.

A mi hermano, Jason José Andrade Corimanya, por su apoyo, consejos y ánimos en los momentos difíciles que nos tocó pasar. Sus consejos han sido un gran apoyo todos estos años para poder cumplir mis objetivos.

A mis compañeros y jefes inmediatos, Ing. Humberto Sustaita, Ing. Martín Barrios, quienes con su compañía y amistad hicieron más llevadero este camino. Gracias por creer en mí y por los momentos compartidos.

A mi asesor de tesis, el Ing. Jonathan Alain, por su sabiduría, dedicación y valiosas enseñanzas. Su orientación ha sido fundamental para el desarrollo de este trabajo.

A todos aquellos que, de una u otra forma, han dejado una huella en mi vida y han contribuido a que hoy celebre este logro.

Con gratitud y cariño,

Paul Christian Andrade Corimanya

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS ii
DEDICATORIA v
ÍNDICE vi
ÍNDICE DE TABLAS ix
ÍNDICE DE FIGURAS x
RESUMEN EJECUTIVO xii
INTRODUCCIÓN xiv
CAPÍTULO I 1
ASPECTOS GENERALES DE LA EMPRESA Y/O INSTITUCIÓN 1
1.1 Datos generales de la institución 1
1.2 Actividades principales de la institución 1
1.2.1 Procesos realizados en la cantera (Negro Africano). 1
1.2.2 Procesos realizados en planta 2
1.2.3 Proceso de combustible sólido 2
1.3 Reseña histórica de la institución y/o empresa 4
1.4 Organigrama de la empresa Calidra Perú S.A.C. 5
1.5 Visión y misión 7
1.5.1 Misión 7
1.5.2 Visión 7
1.6 Bases legales o documentos administrativos 7
1.6.1 Normas nacionales 8
1.6.2 Normas internacionales 8
1.6.3 Procedimientos de trabajo 9
1.6.4 Integración en las prácticas de mantenimiento 9
1.7 Descripción del área donde se realiza las actividades profesionales 10
1.8 Descripción del cargo y de las responsabilidades del bachiller en la institución 12
1.8.1 Función general del cargo 12
CAPÍTULO II 14
ASPECTOS GENERALES DE LAS ACTIVIDADES PROFESIONALES 14
2.1 Antecedentes o diagnóstico situacional 14
2.2 Actividades de oportunidad o necesidad en el área de actividad profesional 15
2.2.1 Taxonomía de equipos 16
2.2.2 Identificación de equipos críticos 16

2.2.3 Realizar los AMFE equipos críticos 16
2.2.4 Mejoramiento de los indicadores de mantenimiento KPI´s 16
2.3 Objetivos de la actividad profesional 16
2.4 Justificación de la actividad profesional 17
2.4.1 Área de extracción 17
2.4.2 Área de trituración 18
2.4.3 Área de manejo de piedra 18
2.4.4 Área del horno Maerz 18
2.4.5 Área de pulverizado de cal 18
2.4.6 Área de manejo de combustible sólido 19
2.5 Resultados esperados 19
CAPÍTULO III 21
MARCO TEÓRICO 21
3.1 Bases teóricas de la metodología o actividades realizadas 21
3.1.1 Integridad mecánica 21
3.1.2 Taxonomía de equipos 21
3.2 Estado del arte en la gestión del mantenimiento 23
3.3 Análisis de criticidad 27
3.3.1 Identificación de los componentes y sistemas críticos 28
3.3.2 Realizar AMFE'S 28
3.4 Realizar indicadores de desempeño KPIs. 30
3.4.1 Tiempo medio entre fallos (MTBF, por sus siglas en inglés). 31
CAPÍTULO IV 33
DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES PROFESIONALES 33
4.1 Descripción de las actividades profesionales 33
4.1.1 Enfoque de las actividades profesionales 33
4.1.2 Alcances de las actividades profesionales 33
4.1.3 Entregables de las actividades profesionales 46
4.2 Aspectos técnicos de las actividades profesionales 61
4.2.1 Análisis previo y evaluación de la metodología propuesta 61
4.2.2 Metodologías 63
4.2.3 Instrumentos 63
4.3 Ejecución de las actividades profesionales 66
4.3.1 Cronograma de actividades realizadas 66
4.3.2 Proceso y secuencia operativa de las actividades profesionales 66
CAPÍTULO V 68

RESULTADOS 68
5.1 Resultados finales de las actividades 68
5.2 Logros alcanzados 69
5.2.1 Logros del plan te mantenimiento 69
5.3 Dificultades encontradas 70
5.4 Planteamiento de mejoras 70
5.4.1 Consideraciones futuras 71
5.4.2 Metodologías propuestas 71
5.4.3 Descripción de la implementación. 72
5.4.4 Impacto en el costo de producción 73
5.5 Discusión de resultados 74
5.5.1 Aporte del bachiller en la empresa 74
CONCLUSIONES 76
RECOMENDACIONES 78
GLOSARIO 80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 82
ANEXOS 86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Métodos de jerarquización de activos físicos: frecuencia de uso y aplicaciones en la industria. 26
Tabla 2. Lista de indicadores para implementación. 32
Tabla 3. Codificación de activos por planta y proceso. 34
Tabla 4. Identificación de equipos con tags y vida útil estimada. 34
Tabla 5. Probabilidad de fallas: frecuencia y paros críticos por año. 36
Tabla 6. Impacto económico y operativo de fallas en el mantenimiento. 36
Tabla 7. Impacto de producción: valores y ponderación de pérdidas operativas. 37
Tabla 8. Evaluación del impacto en seguridad y medio ambiente por escenarios de riesgo.. 38
Tabla 9. Evaluación de detectabilidad de fallas críticas con soporte de sensores. 38
Tabla 10. Disponibilidad de repuestos críticos para la continuidad operativa. 39
Tabla 11. Evaluación de impacto en la calidad y relación con los clientes. 39
Tabla 12. Secuencia de evaluación de partes y componentes críticos del equipo. 41
Tabla 13. Estrategia de evaluación de partes y componentes críticos de equipos. 42
Tabla 14. Niveles de severidad para evaluación de riesgos. 42
Tabla 15. Probabilidad de ocurrencia de riesgos. 43
Tabla 16. Evaluación de detección de fallas y niveles de criticidad. 43
Tabla 17. Lista de instrumentos utilizados en la aplicación de Mantenimiento Industrial (IM). 63
Tabla 18. Equipos y materiales utilizados en el desarrollo de las actividades. 65
Tabla 19. Listado de materiales y equipos utilizados para las actividades de mantenimiento. 66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama referencial de la planta. 3

Figura 2. Zonificación de las Áreas funcionales en la planta. 3

Figura 3. Organigrama operativo de la empresa Calidra Perú S.A.C. 6

Figura 4. Ubicación de Plantas Calidra por regiones en México y Sudamérica. 7

Figura 5. Organigrama estructural del área Mantenimiento Calidra Perú S.A.C. 11

Figura 6. Esquema de Clasificación Jerárquica de la Taxonomía según Niveles Taxonómicos. 25

Figura 7. Formato de Equipos por Área y Estado de Avance en el Análisis de Modo y Efecto de Fallas [AMFE] 35

Figura 8. Análisis de criticidad de activos: impactos y consecuencias. 40

Figura 9. Diagrama sinóptico del proceso AMFE para componentes críticos. 41

Figura 10. Formato de Análisis de Modo de Falla y Efecto (AMFE). 44

Figura 11. Formato de instructivo para tareas críticas de mantenimiento. 45

Figura 12. Lista de equipos críticos por área y código. 47

Figura 13. Formato de análisis de criticidad para el área de manejo de piedra. 48

Figura 14. Formato de análisis de criticidad para el área de horno. 49

Figura 15. Formato de análisis de criticidad para el área de Manejo de cal viva. 50

Figura 16. Análisis de criticidad para el área de Manejo de combustible sólido. 51

Figura 17. Análisis de criticidad para el área de Pulverizado de Pet Coke. 52

Figura 18. Análisis de criticidad para el área de Envasado. 53

Figura 19. Análisis de criticidad para el área Pulverizado de cal. 54

Figura 20. Análisis de criticidad para el área de Extracción. 55

Figura 21. Análisis de criticidad para el área de Trituración. 56

Figura 22. Análisis AMFE para la evaluación de equipos en el proceso de extracción. 57

Figura 23. Procedimiento detallado para la elaboración de instructivo en mantenimiento predictivo. 58

Figura 24. Horas de paro no programado por área y mes (2023). 59

Figura 25. Indicador de tiempo medio entre fallas para el año 2023. 59

Figura 26. Indicador de tiempo medio para la reparación del año 2023. 60

Figura 27. Indicador de disponibilidad general de la planta año 2023. 60

Figura 28. Indicador de equipos con más eventos correctivos (Malos Antores). 61

Figura 29. Indicador equipo con más tiempo de paro. 61

Figura 30. Proceso de implementación de estrategias de mantenimiento en la Planta Calidra. 63

Figura 31. Vernier (Mitutoyo). 64
Figura 32. Micrometro (Mitutoyo). 64
Figura 33. Galgas comparadoras. 64
Figura 34. Multímetro digital. 64
Figura 35. Pinzas Amperimétricas. 65
Figura 36. Flexómetro 8 mts. 65
Figura 37. Cronograma de ejecución de actividades profesionales en la Planta Calidra. . 66
Figura 38. Flujo de implementación de estrategias de gestión y mantenimiento en la Planta Calidra. 67
Figura 39. Costos de impacto producción paro por horas. 73

RESUMEN EJECUTIVO

El proyecto en la planta Calidra Perú tiene como objetivo implementar la metodología de integridad mecánica para evaluar y mejorar sus equipos. La metodología utilizada incluye la clasificación y taxonomía de equipos según la norma ISO 14224, la identificación y evaluación de equipos críticos mediante el análisis de criticidad, y la realización de análisis de modos y efectos de fallas (AMFE) para identificar modos de falla y sus efectos asociados. Además, se implementaron indicadores clave de desempeño (KPIs) como el tiempo medio entre fallas (MTBF), el tiempo medio de reparación (MTTR) y la disponibilidad de los equipos. La población y muestra del estudio abarcan todas las áreas de producción de la planta, como extracción, trituración, manejo de piedra, horno Maerz, cal viva, pulverizado de cal y manejo de combustibles sólidos. Se emplearon diversos instrumentos de medición como vernier, micrómetro, galgas comparadoras, multímetro digital y pinzas amperimétricas, además del software de gestión MP9 para la programación y control del mantenimiento. Los resultados obtenidos incluyen una evaluación completa de la maquinaria y equipos de la planta, con la actualización de códigos y tags, la identificación de equipos críticos y la mejora de los indicadores de mantenimiento, lo que ha permitido reducir los paros no programados y aumentar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos. También se crearon instructivos para el mantenimiento y operación de equipos críticos. En conclusión, la implementación de la metodología de integridad mecánica ha permitido una mejora significativa en la gestión y mantenimiento de los equipos en la planta Calidra Perú, asegurando una mayor eficiencia y confiabilidad en el proceso de producción.

Palabras Claves: Integridad mecánica, Análisis crítico, Mantenimiento industrial, Desempeño operativo y AMFE.

Integridad mecánica. Análisis Crítico, Mantenimiento industrial, Desempeño operativo, AMFE.

INTRODUCCIÓN

El propósito del presente trabajo, desarrollado en la empresa Calidra Perú S.A.C., es implementar la metodología de integridad mecánica en la planta, cuyo principal producto es el óxido de calcio. Las actividades de la empresa incluyen la extracción y trituración en la cantera de Arequipa Caylloma “negro africano”, seguido del proceso de calcinación en un horno vertical Maerz.

Uno de los objetivos principales fue estandarizar los códigos de todos los equipos de planta y cantera, y realizar una evaluación exhaustiva de los mismos utilizando procedimientos de análisis de fallas potenciales. Se identificaron los equipos más críticos y se evaluaron con un control de indicadores. Además, se buscó generar manuales operativos y estandarizar los procedimientos, alineándolos con otras plantas del grupo Calidra, para mejorar el control de repuestos críticos en el almacén.

El estudio está organizado en varios capítulos. En el capítulo I se presentan los aspectos generales de la empresa, incluyendo datos generales, actividades principales, reseña histórica y la descripción del área donde se desarrollan las actividades profesionales. El capítulo II aborda los aspectos generales de las actividades profesionales, destacando los antecedentes, las oportunidades de mejora, los objetivos y la justificación de la actividad profesional, así como los resultados esperados.

El capítulo III desarrolla el marco teórico, fundamentando las metodologías aplicadas como la taxonomía de equipos, el análisis de criticidad, la realización de AMFEs y la implementación de indicadores de desempeño (KPIs). En el capítulo IV, se describen las actividades profesionales realizadas, incluyendo el enfoque y alcance de las actividades, la descripción de las técnicas e instrumentos utilizados y la ejecución de las actividades.

Finalmente, el capítulo V presenta los resultados obtenidos, los logros alcanzados, las dificultades encontradas y las propuestas de mejora. Este proyecto ha permitido mejorar significativamente la gestión y mantenimiento de los equipos en la planta Calidra Perú, asegurando una mayor eficiencia y confiabilidad en el proceso de producción.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES DE LA EMPRESA Y/O INSTITUCIÓN

En Calidra, la empresa mexicana, se dedica a producir y comercializar cal y sus derivados. La ubicación de la planta está a 5 kilómetros de Callalli, en la provincia de Caylloma, ubicada en Arequipa - Perú.

El producto principal producido es el óxido de calcio (CaO) en alta pureza y se puede identificar con la marca OXID, siendo un nuevo producto para el mercado nacional, que cuenta con garantía de alta calidad que caracteriza a Calidra en todos los productos que logra distribuir.

1.1 Datos generales de la institución

- Razón social: CALIDRA PERÚ S.A.C.
- Página web: http://www.calquipa.com
- Tipo empresa: Sociedad Anónima Cerrada.
- Condición: activo.
- Fecha de inicio de actividades: 01 / abril / 2011
- Actividades comerciales: fabricación de Cal. Transporte de Carga por Carretera.
- Dirección legal: calle coronel Andrés Reyes Nro. 360 Int. 504.
- Urbanización: Jardín Distrito / Ciudad: San Isidro.
- Departamento: Lima, Perú Reconocida por el Ministerio de Energía y Minas como Gran y Mediana Minería. Algunas marcas / frases registradas de Calidra Perú S.A.C. - 90 Quimex Hidróxido de Calcio, Calidra, Estabilical, Oxid Óxido de Calcio. («Calidra Perú S.A.C.» 2024)

1.2 Actividades principales de la institución

Grupo Calidra Perú S.A.C. se dedica a la extracción de piedra de su cantera, para su posterior procesamiento en la planta industrial y comercialización de cal y sus derivados en distintos por medios, plataformas y bombonas.

1.2.1 Procesos realizados en la cantera (Negro Africano).

- Realiza el estudio de suelos con los geólogos de campo.
- Se encarga de la perforación y minado de suelo.

- Se extrae con maquinaria la piedra caliza para el proceso de producción.
- Se traslada hasta el proceso de trituración donde la piedra caliza es reducida de 2", 3" y finos para el siguiente proceso en la planta de calcinación.
- Se realiza el acarreo del carbonato a planta de producción.

1.2.2 Procesos realizados en planta

- Se apila la piedra de carbonato en pilas de material en su almacenamiento.
- Ingresa al proceso de manejo de piedra (Área 200), donde la piedra, tras ser acopiada, es transportada al horno de calcinación.
- Ingresa al proceso de calcinación en el Horno Maerz de 400TN. (Área 300). El material es ingresado a un vertical donde es sometido a altas temperaturas de entre 800°C a 1000°C.
- Ingresa al proceso de cal viva. (Área 400). La cal ya transformada pasada para ser clasificada por su tamaño, y es procesada según las especificaciones que el cliente requiera.
- Ingresa al proceso de pulverizado de cal. (Área 600). Es el proceso donde las piedras de cal son trituradas con un molino pendular, dando como producto cal pulverizada.
- En la etapa final del proceso, el producto es empaquetado en súper sacos Big Bags con capacidades de 1 Tn, 1.5 Tn, o en bombonas, listo para su despacho.

1.2.3 Proceso de combustible sólido

- Se procesa combustible en triturado de coke. (Área 501). El combustible coke es recogido del almacén donde es triturado y trasladado al siguiente proceso.
- Se procesa combustible en pulverizado de Coke. (Área 502). Proceso donde el coke en piedra es pulverizado en molino pendular ANIVI, transformando en polvo para su uso como combustible para el horno.

Es importante destacar que Calidra Perú S.A.C. utiliza tecnología de vanguardia en la producción de sus productos, respetando las normativas y estándares tanto nacionales como internacionales; lo que refleja un sólido compromiso con la sociedad y el entorno ambiental que nos rodea.

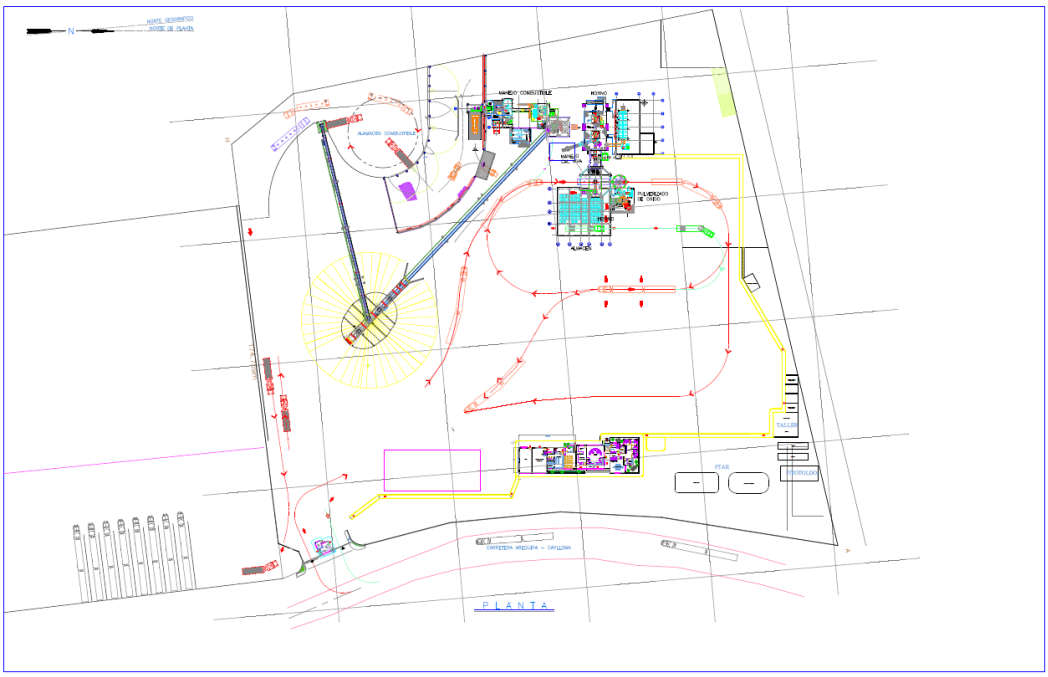


Figura 1. *Diagrama referencial de la planta.*

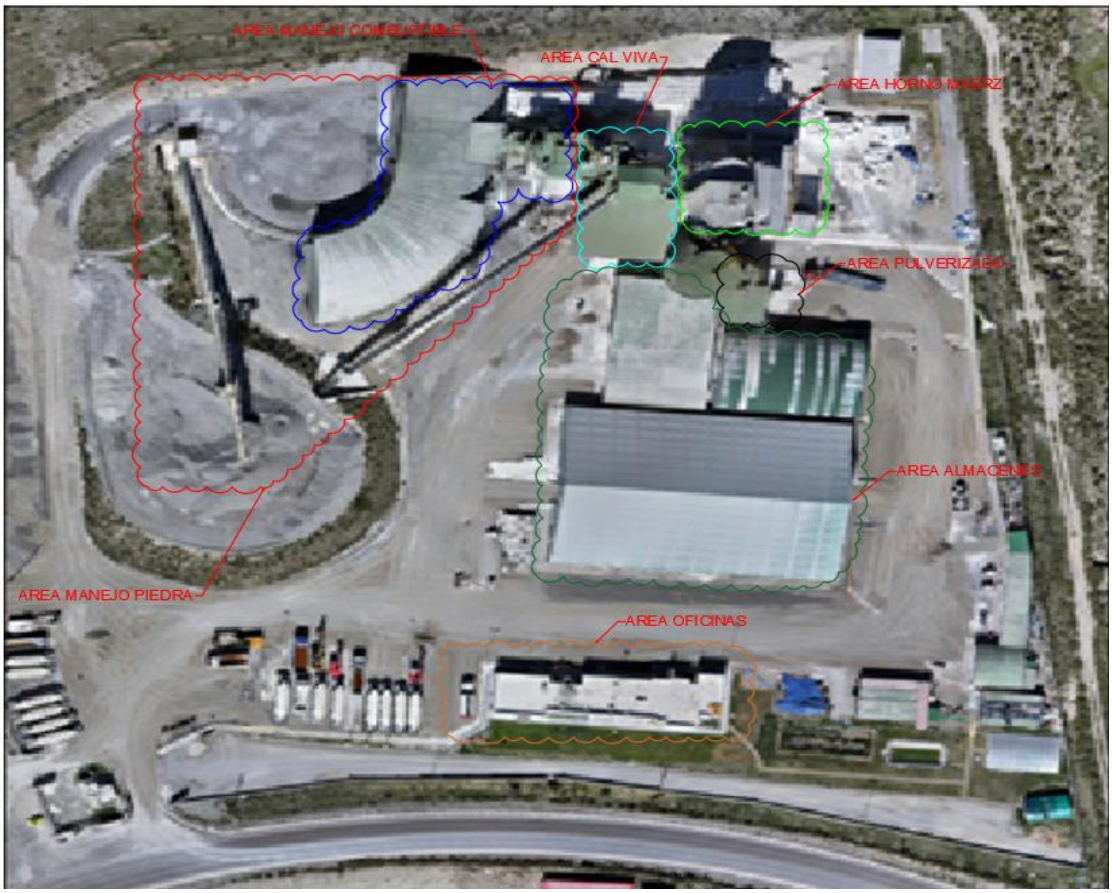


Figura 2. *Zonificación de las Áreas funcionales en la planta.*

1.3 Reseña histórica de la institución y/o empresa

Calidra S.A. fue establecida el 26 de octubre de 1931 por un grupo de industriales que decidieron como misión empresarial la producción de cal hidratada, yeso y sus derivados; además de la comercialización y venta de los productos resultantes de los procesos industriales. En 1933 se implementó la primera planta integral de cal en México, marcando una auténtica innovación para la industria de la construcción en el país. La cal viva que se utilizaba en aquel entonces fue reemplazada por la cal hidratada, gracias a un proceso patentado por los hermanos Alejandro y Luis Riefkohl Espinosa, bajo el número de registro 34 681, con fecha del 17 de febrero de 1934. A lo largo de más de cincuenta años de existencia, Grupo Calidra ha mantenido su posición como líder indiscutible en la industria, gracias a un plan de expansión estratégico y exitoso.

La empresa Calidra Perú S.A.C. contribuye al progreso de la región Arequipa. El grupo mexicano Calidra, con más de 100 años de experiencia en el rubro, instaló la planta más moderna del Perú, iniciando sus operaciones en el año 2015. Su filial peruana, Calidra, es una empresa dedicada a la producción y comercialización de la cal y sus derivados. En el distrito de Callalli, a 120 km de la ciudad de Arequipa, opera la moderna planta de Calidra Perú, con tecnología de punta que utiliza un horno vertical para producir óxido de calcio de alta pureza del mercado peruano destinado a la minería. Con la calidad y garantía del grupo Calidra en todos sus productos a nivel continental (Reynoso 2021).

La cal es un producto químico natural y que se obtiene de la piedra caliza sometida a altas temperaturas que llegan de 800°C a 1000°C. Permite obtener cal viva, también llamada óxido de calcio. El producto, por su alta calidad, permite a la minería lograr importantes ahorros en el procesamiento de minerales para atender a sus clientes. Cuenta con almacenes situados en Arequipa y Lima, y cubre todo el territorio nacional para asegurar de manera permanente el abastecimiento. Cuenta, además, con la producción de nuestra central en México y nuestras filiales en Honduras, Colombia, Chile y Argentina (Begazo y Delgado 2024).

En Calidra podemos atender por los siguientes medios de transporte pista, mar y a cualquier altura. La producción se realiza con un equipamiento cerrado y un control computarizado que permite preservar de manera óptima el cuidado del medio ambiente. Además, cumple con estándares internacionales para reducir y evitar todo impacto ambiental en los ocho primeros años de operación en Arequipa. Ha generado empleo en la zona de operaciones, tanto a nivel personal como la generación de empresas de servicios. También cumple con las tareas de responsabilidad social, vinculándose activamente con las comunidades aledañas a las cuales se brinda el apoyo para el bienestar de sus pobladores. Grupo Calidra tiene más de 100 años de

experiencia, ahora operando en Perú desde 2015 a través de su filial Calidra Perú. («Nosotros – Calidra Perú» 2023)

1.4 Organigrama de la empresa Calidra Perú S.A.C.

La empresa Calidra Perú en área de operación se subdivide con la siguientes: gerente país, como la principal gerencia a nivel Perú. Después se divide en 10 gerencias que son Gerencia de Ventas, Coordinador de Proyectos, Coordinador de Personal, Coordinador de Logística, Gerencia de Planta, Coordinador de Desarrollo, Coordinador de Laboratorio, Gerente Comercial, Gerente Administrativo y Gerencia de Operaciones (A cargo de todas las actividades de la planta Calidra Perú S.A.C.).

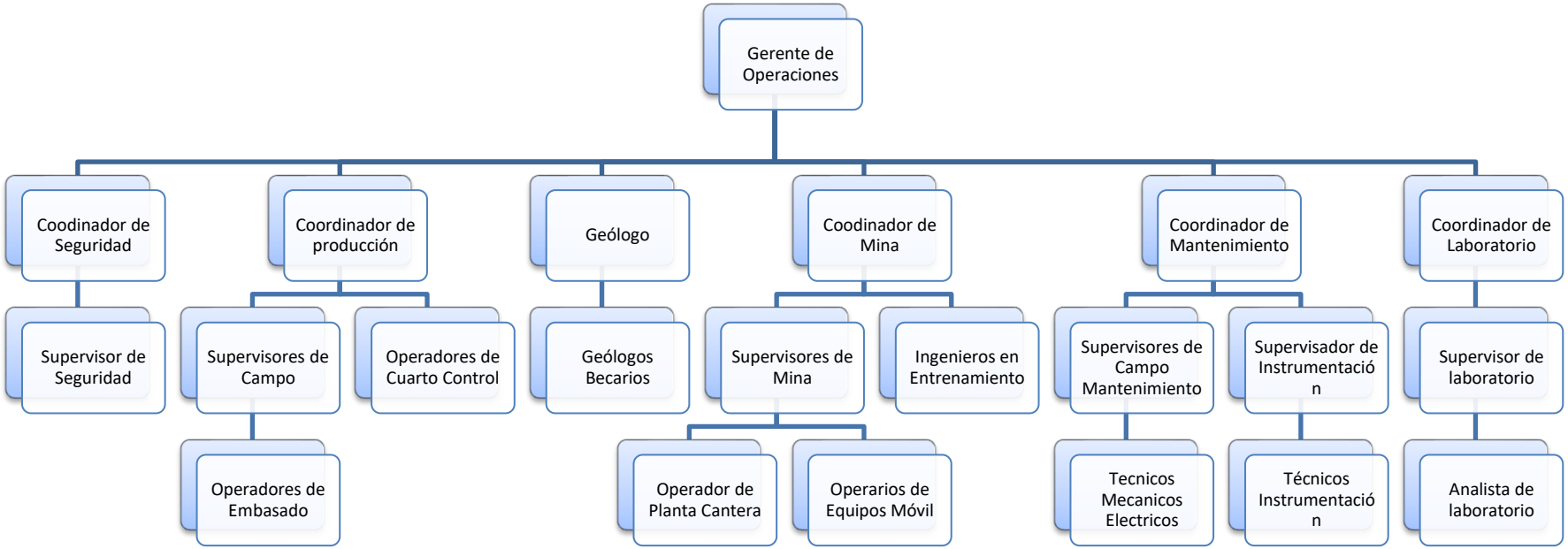


Figura 3. *Organigrama operativo de la empresa Calidra Perú S.A.C.*

1.5 Visión y misión

1.5.1 Misión

Ser una empresa competitiva y sustentable a nivel mundial que nos permita satisfacer las necesidades y expectativas razonables de nuestros clientes, del personal, de los accionistas y de la sociedad de forma ejemplar. («Nosotros – Calidra Perú» 2023)

1.5.2 Visión

Ser la empresa productora de cal, mezclas listas y carbonatos más competitiva del mundo y la más grande del continente americano.

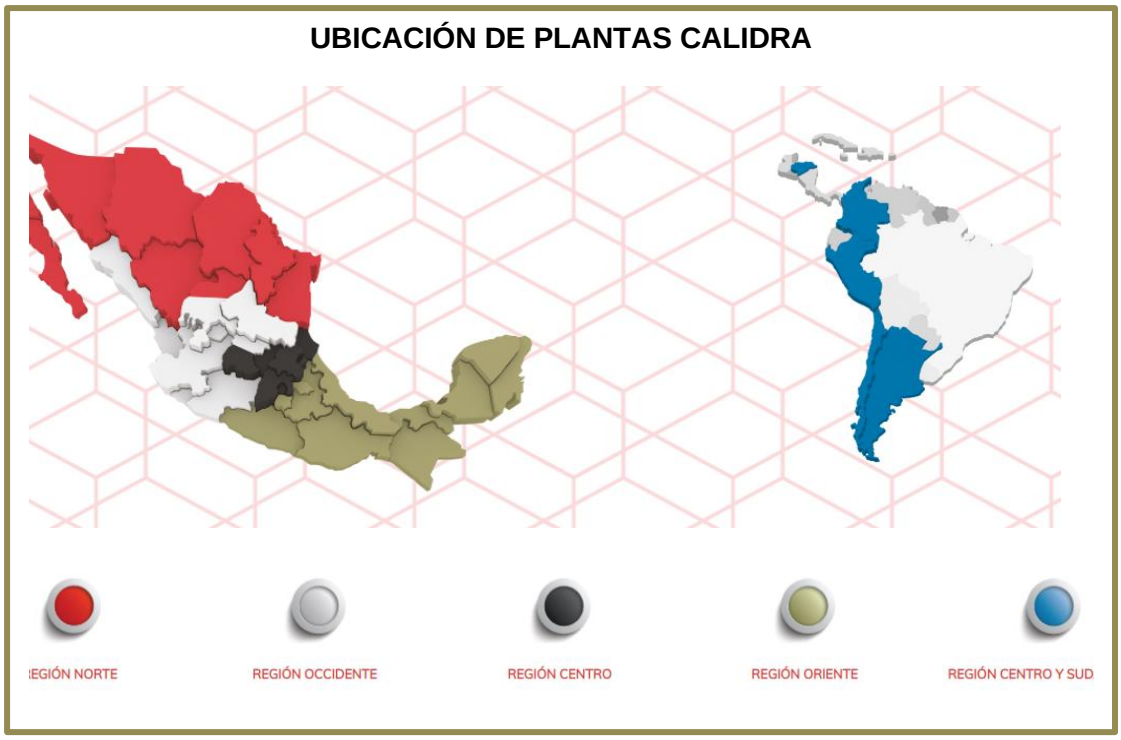


Figura 4. *Ubicación de Plantas Calidra por regiones en México y Sudamérica. Tomada de: Grupo Calidra. (n.d.). Quiénes Somos.*

1.6 Bases legales o documentos administrativos

La aplicación de la metodología de Integridad Mecánica (IM) en la planta Calidra Perú se basa en un conjunto de normas nacionales e internacionales que establecen las mejores prácticas en el mantenimiento industrial. A continuación, se detalla cómo estas normativas se incorporan y ponen en práctica en las actividades diarias de mantenimiento. (Jayo 2022)

1.6.1 Normas nacionales

- Norma Técnica Peruana NTP-ISO 37301: 2021

Esta norma, que define los requisitos para los sistemas de gestión del cumplimiento, ha sido implementada en el sistema de mantenimiento a través de la elaboración de procedimientos documentados que aseguran el alineamiento con los estándares nacionales. Particularmente, se ha aplicado para uniformizar los instructivos y las políticas operativas en las áreas de manejo de combustibles sólidos y pulverización de cal. (Meza 2020)

- Decreto Supremo Nº 001-2022-SA

Este marco legal ha sido fundamental para garantizar la seguridad y salud ocupacional en las áreas de extracción y trituración. Su aplicación ha impulsado la creación de programas específicos de capacitación en seguridad, enfocados en el manejo seguro de maquinaria pesada y en la realización de actividades en altura. (Meza y Velásquez 2024)

1.6.2 Normas internacionales

- MEM de Caterpillar.

Esta norma establece directrices para la recopilación y el intercambio de datos relacionados con la confiabilidad y el mantenimiento, siendo clave para implementar un sistema uniforme de codificación (tags). Además, se ha utilizado para definir indicadores clave de desempeño (KPIs) como el tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio de reparación (MTTR), lo que ha permitido realizar una evaluación más precisa del desempeño de los equipos en todas las áreas operativas de la planta. (Medrano 2024)

- La norma SMRP 2018.

Las recomendaciones de mejores prácticas de esta norma se integraron en el desarrollo de estrategias de mantenimiento, tanto predictivo como preventivo; las cuales incluyen el uso de análisis de criticidad y AMFEs (Análisis de Modos y Efectos de Falla), herramientas esenciales para identificar y gestionar equipos críticos de manera eficiente (Beltran y Quintana 2023)

- La norma ISO 14224.

Este marco normativo ha sido fundamental en la implementación de programas específicos de mantenimiento para equipos móviles, como cargadores frontales y excavadoras. Su aplicación

ha contribuido a mejorar la confiabilidad de estos activos y a disminuir los tiempos de inactividad no planificada. (Valencia 2023)

1.6.3 Procedimientos de trabajo

- Seg-est-001 estándar para el control de energía peligrosa.
- Seg-est-002 estándar de protección contra caídas trabajo en las alturas.
- Seg-est-003 estándar de andamios y plataformas.
- Seg-est-004 estándar de escaleras.
- Seg-est-005 estándar de trabajo en caliente.
- Seg-est-006 estándar de espacios confinados.
- Seg-est-007 estándar de ergonomía.
- Seg-est-008 estándar de trabajos eléctricos.
- Seg-est-009 estándar de trabajo en izaje.

1.6.4 Integración en las prácticas de mantenimiento

- Planificación y programación: la adopción de estas normativas ha facilitado la estandarización de las rutinas de mantenimiento, asegurando que las inspecciones y reparaciones se lleven a cabo conforme a procedimientos definidos y alineados con los estándares internacionales. (Machuca y Vargas 2019)
- Monitoreo y evaluación: los fundamentos de estas normas se aplican para supervisar el estado de los equipos, utilizando sensores y herramientas de software especializadas, promoviendo un enfoque de mantenimiento proactivo en lugar de reactivo. (Sanchez 2021)
- Capacitación del personal: se han implementado programas de formación diseñados específicamente para los técnicos de mantenimiento, con base en los lineamientos de estas normativas. Esto asegura que el equipo humano cuente con las competencias necesarias para ejecutar estrategias de mantenimiento de alto nivel.
- Sostenibilidad y seguridad: la integración de estas normativas ha potenciado el enfoque en la protección ambiental y la seguridad laboral, minimizando los riesgos vinculados a la operación de los equipos y garantizando el cumplimiento de los estándares tanto nacionales como internacionales.

La implementación de estas normativas en la planta Calidra Perú no solo garantiza el cumplimiento de las regulaciones legales, sino que también perfecciona las prácticas de

mantenimiento, incrementa la eficiencia operativa y fomenta un ambiente laboral seguro y sostenible.

1.7 Descripción del área donde se realiza las actividades profesionales

La empresa productora Calidra Perú está dedicada a la producción de cal y cuenta con su área de mantenimiento de planta, mantenimiento cantera y mantenimiento de equipo móvil.

El área de mantenimiento se encarga del planeamiento, programación, ejecución y supervisión de todas las labores del proceso de mantenimiento de las áreas de extracción, trituración en cantera, manejo de piedra, horno maerz, cal viva, pulverizado de óxido cal y envasado en planta. Se encuentra encargada también de las áreas de triturado de coke y pulverizado de coke que pertenecen al manejo de combustible sólido. Todas las áreas de proceso del funcionamiento de planta y mantenimiento reportan directamente sus actividades a la gerencia de operaciones.

Se tiene las siguientes funciones administrativas del área de mantenimiento:

- Recopilar y ordenar: reunir y organizar la información técnica e histórica de cada equipo, asegurando que los datos estén completos y clasificados adecuadamente cuando sea necesario.
- Registrar: documentar toda la información relevante sobre los equipos, como especificaciones técnicas, órdenes de trabajo, historial de órdenes, repuestos y recursos necesarios para el mantenimiento preventivo.
- Planificar: basándose en la criticidad, prioridad y disponibilidad de recursos logísticos o de mano de obra, organizar las tareas de mantenimiento preventivo, correctivo, inspecciones y lubricación.
- Programar: determinar todas las tareas a realizar y entregarlas al área operativa de mantenimiento, incluyendo detalles como las actividades a ejecutar, el personal necesario y las herramientas requeridas.
- Analizar: generar una serie de informes y KPIs, ya sean generales o especializados, para analizarlos y detectar errores, con el fin de desarrollar planes de corrección.
- Reportar y comunicar: notificar a la Gerencia de Operaciones sobre situaciones anómalas identificadas, para proporcionar la información necesaria que facilite la toma de decisiones, así como informar a la supervisión sobre el estado de los equipos.
- Auditar: evaluar las acciones del área operativa de mantenimiento, garantizando el cumplimiento de los planes y los estándares definidos en los KPIs de gestión de mantenimiento. (Prezi 2021)

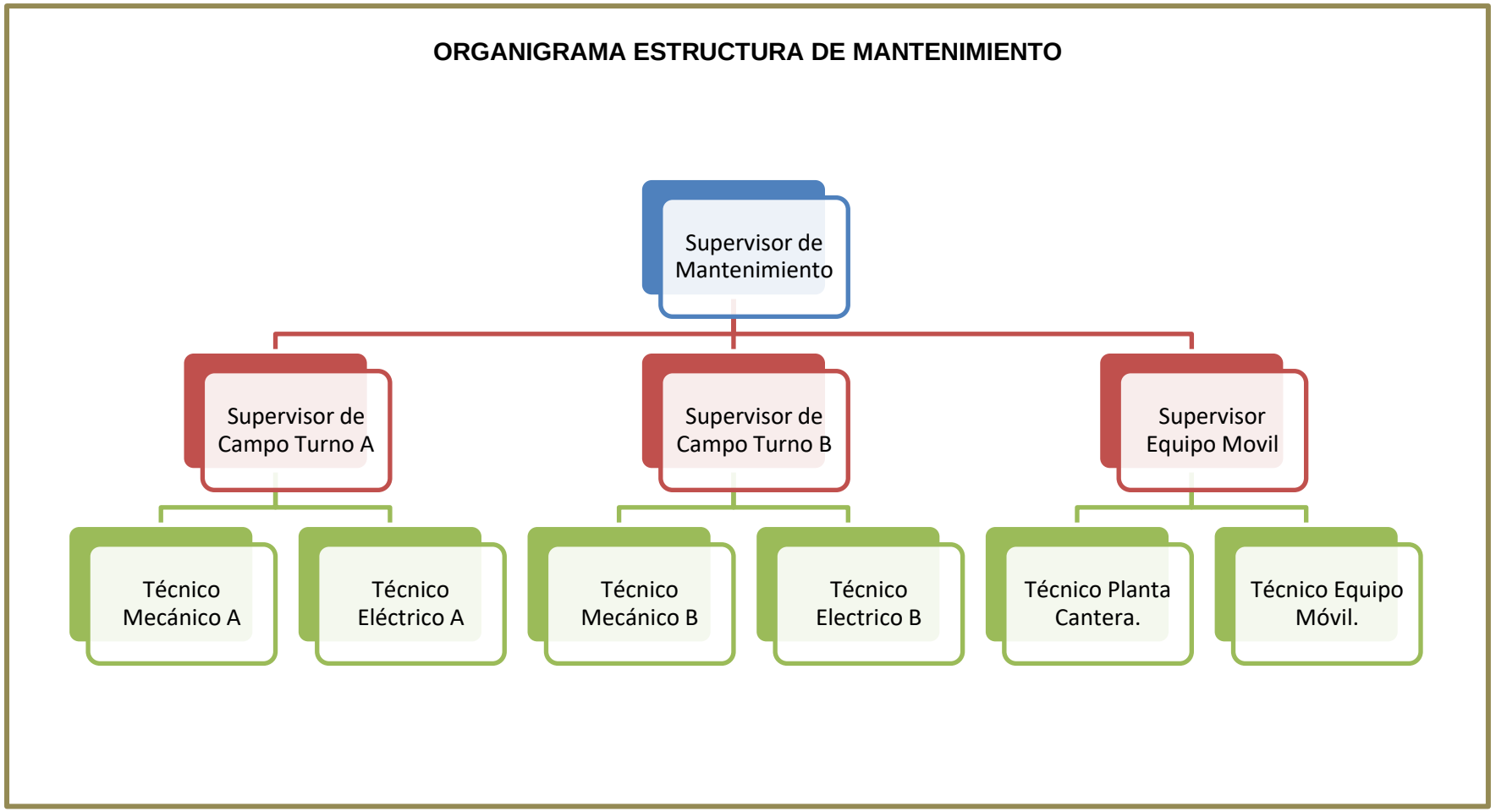


Figura 5. *Organigrama estructural del área Mantenimiento Calidra Perú S.A.C.*

1.8 Descripción del cargo y de las responsabilidades del bachiller en la institución

- Código 10PER
- Código de puesto Coordinador de Mantenimiento (TECOMA)
- Empresa Calidra Perú, S.A.C. (CAL)
- Unidad de negocio Planta Calquipa (AR)
- Centro de Trabajo
- Ubicación Arequipa (ARE)
- División Andes, Caribe y Centroamérica (AN)
- Departamento Mantenimiento (MAN)
- Centro de costos Trituración (103 TRIT)

1.8.1 Función general del cargo

Como supervisor de mantenimiento, la función principal es ejecutar la planificación del trabajo, determinando el "cómo", "cuándo" y "dónde", y el tiempo en que se realizarán los mantenimientos predictivos, correctivos y preventivos, así como las actividades resultantes de estos. La efectividad se mide a través de una programación de órdenes de trabajo respaldada por un cronograma o programación específica.

El supervisor debe mantener una comunicación fluida entre las diferentes áreas que puedan interrelacionarse, como la calcinación, la mina, el almacén/compras, y de seguridad. Sin esta comunicación, es difícil planear y programar las órdenes de trabajo (OT) o los mantenimientos preventivos (MP). El objetivo es buscar mejoras que puedan generar ahorros para la empresa. (Meza Galindo y Velásquez Espíritu 2024)

Todas estas tareas están orientadas a garantizar el correcto funcionamiento de los activos de la empresa a diario. Esto implica coordinar, asignar, ejecutar y supervisar la correcta implementación de los programas de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo que se llevan a cabo en los sistemas, maquinarias y equipos de la planta Calidra Perú.

- Coordinar, asignar, ejecutar y supervisar las labores de reparación y mantenimiento de la maquinaria mecánica, la línea amarilla de cantera y la planta de Calidra Perú.
- Coordinar, asignar y supervisar la reparación, instalación y mantenimiento de instrumentos mecánicos, electrónicos y neumáticos.

- Coordinar, asignar y supervisar la reparación, instalación y mantenimiento de sistemas y equipos (como bombas, motores, válvulas, entre otros).
- Asesorar a los operarios en técnicas de mantenimiento y reparación de equipos, así como en la interpretación de planos y manuales de operación.
- Coordinar, asignar y supervisar la reparación y mantenimiento de instalaciones eléctricas y equipos como motores, generadores, sistemas de control, transformadores, y otros similares.
- Realizar inspecciones periódicas en las instalaciones donde se lleva a cabo el proceso productivo, con el fin de verificar las condiciones operativas de todos los equipos y sistemas, así como mantener un control adecuado de los costos de mantenimiento.
- Elaborar y dar seguimiento a los programas de mantenimiento, diagnósticos y calibración de equipos mecánicos, electrónicos, neumáticos y eléctricos.
- Garantizar el cumplimiento de los métodos de mantenimiento, diagnósticos y calibración de los equipos de control electrónico, neumático y eléctrico.
- Preparar y presentar informes de las actividades realizadas y llevar a cabo las tareas administrativas que surjan como resultado de la actividad desarrollada.
- Velar por la disciplina del personal y mantener el control de asistencia, así como autorizar permisos de salida y cambios de turno.
- Participar activamente, colaborar y cumplir con todas las políticas, procedimientos y regulaciones relacionadas con el aseguramiento de la calidad que la empresa desarrolle e implemente.

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DE LAS ACTIVIDADES PROFESIONALES

Las actividades por desarrollar dentro de la empresa en el área de extracción y procesos de Calidra Perú estarán enfocadas en la formación profesional como la gestión de habilidades, el desempeño de sus funciones y capacitación laboral continua.

Cada colaborador y empleado es consciente de que una actitud de servicio es fundamental para satisfacer, tanto las expectativas de la empresa como las de sus clientes; ello se ve al mantener un estricto conocimiento de las políticas, visión y misión. Asimismo, colaborar en realizar una mejora continua en la institución, se refleja en los resultados obtenidos.

2.1 Antecedentes o diagnóstico situacional

La empresa Calidra inició sus actividades en Perú en 2015, a través de su filial Calidra Perú. El 18 de septiembre de 2020, asumí el cargo de Supervisor de Mantenimiento, responsabilidad que implicó realizar una evaluación exhaustiva del área de mantenimiento y de las áreas de producción. Este análisis me permitió identificar las siguientes situaciones y áreas de mejora dentro de la planta:

- Infraestructura y sistemas existentes: la planta cuenta con un horno vertical para el proceso de calcinación, así como diversas áreas de producción que incluyen extracción, trituración, manejo de piedra, horno Maerz, cal viva, triturado de coke y pulverizado de cal.
- Actualización de códigos o tags de los equipos: se identificó la necesidad de actualizar los códigos debido a las modificaciones realizadas en las áreas de producción que no estaban contempladas en el diseño original. Por ejemplo, se implementó un área de clasificación de materiales para un nuevo producto y su envasado.
- Gestión de equipos críticos: no se contaba con una lista estructurada de los equipos considerados críticos, lo que generaba fallas recurrentes en diversas áreas. Estas interrupciones frecuentes ocasionaban paros correctivos en la línea de producción, afectando de manera significativa la calidad del producto final.
- Estrategias de mantenimiento: se identificó la ausencia de estrategias adecuadas para implementar planes de mantenimiento mediante el software MP. Asimismo, la falta de una correcta identificación de los equipos críticos complicaba tanto la planificación eficiente como la retroalimentación hacia el personal encargado del mantenimiento.

- Indicadores clave de rendimiento (KPIs): Fue necesario actualizar los KPIs con información real de la planta, aplicando normas internacionales como SMRP, ISO 14222 y MEM Caterpillar.

Con base en este diagnóstico, se determinó la importancia de establecer un sistema de gestión de Integridad Mecánica (IM), el cual tendría como objetivo principal identificar y evaluar los puntos críticos, perfeccionar la planificación del mantenimiento programado y maximizar el rendimiento operativo de los equipos en las áreas mencionadas.

- Área de extracción y línea de equipos móviles.
- Área de trituración, incluyendo el tren completo de trituración de piedra.
- Área de manejo de piedra.
- Horno Maerz.
- Área de cal viva.
- Área de triturado de coke.
- Área de pulverizado de cal.

En mi calidad de Supervisor de Mantenimiento, se asumió la responsabilidad de liderar las acciones necesarias para solucionar las deficiencias identificadas. Este liderazgo implicó la creación y desarrollo de un marco de trabajo estratégico orientado a la integración de un sistema de gestión de Integridad Mecánica (IM). Este sistema permitió abordar de manera estructurada las áreas críticas, promoviendo mejoras significativas en los procesos operativos, la eficiencia de las actividades de mantenimiento y la confiabilidad general de los equipos de la planta, asegurando así un desempeño más consistente y alineado con los objetivos organizacionales.

2.2 Actividades de oportunidad o necesidad en el área de actividad profesional

Al ingresar al área de mantenimiento se tiene la oportunidad de poder realizar la identificación y análisis de equipos críticos.

En el área de producción se tuvo la oportunidad de poder evaluar, identificar y realizar mejorar todas las áreas de producción y poder garantizar que todos los equipos que se encuentran en las diversas áreas: extracción, trituración, manejo de piedra, horno maerz, cal viva, pulverizado de cal y envasado, así como combustible sólido triturado de coke y pulverizado de coke estén correctamente operando.

Al realizar un análisis completo de las áreas de producción, se vio la codificación y evaluación de equipos, logrando medir los puntos más críticos. Ello ayudó a poder actualizar el sistema de

gestión e implementación de la metodología IM (INTEGRIDAD MECÁNICA), que permitirá estandarizar, tener identificados los equipos más críticos y tener mejores procedimientos de trabajo y una mejora en los indicadores en el área de mantenimiento.

La oportunidad en la implementación:

2.2.1 Taxonomía de equipos

- Generar una codificación acorde con las demás plantas que se encuentran en el grupo Calidra.
- Generar codificación a las modificaciones a realizar que no se encuentran en el proyecto.

2.2.2 Identificación de equipos críticos

- Realizar las evaluaciones de los distintos equipos en planta para determinar su grado de criticidad.

2.2.3 Realizar los AMFE equipos críticos

- Evaluar los equipos críticos determinados por el proceso de criticidad.
- Mejoramiento en las rutinas de mantenimiento de los equipos críticos.

2.2.4 Mejoramiento de los indicadores de mantenimiento KPI´s

- Se requiere mejorar los indicadores de mantenimiento para poder garantizar el correcto funcionamiento de la planta.

2.3 Objetivos de la actividad profesional

El objetivo, como coordinador del Área de Mantenimiento y cumpliendo como profesional de la carrera de Ingeniería Mecánica, es poder realizar la implementación de la metodología de conservación y mantenimiento de condiciones iniciales de diseño de los equipos de producción (IM) y estos formen parte de un sistema (ASP). Y ejecutar los conocimientos teóricos-prácticos que fueron adquiridos durante la formación profesional. Establecer los requisitos para administrar la integridad de las instalaciones, equipos críticos del proceso a su vez, pudiendo garantizar la contención de los materiales y energías peligrosas durante toda su vida útil.

Uno de los objetivos clave como supervisor del área de mantenimiento es establecer directrices para garantizar la calidad de los equipos, repuestos y materiales desde su diseño, fabricación, adquisición, transporte y almacenamiento. Esto asegura que su posterior montaje, instalación y mantenimiento se realicen de acuerdo con las especificaciones de las bases de diseño, las recomendaciones del fabricante y las evaluaciones de riesgos.

- Tener registrados todos los equipos de las áreas de trabajo.
- Tener evaluados los puntos críticos y poder mantener un stock de repuestos críticos por equipo.
- Tener procedimientos de trabajo adecuados para las tareas de criticidad.
- Mejorar los indicadores de mantenimiento logrando métricas superiores al 90%.

2.4 Justificación de la actividad profesional

La implementación de la metodología de Integridad Mecánica (IM) en las distintas áreas de la planta Calidra Perú se sustenta en la importancia de garantizar el desempeño óptimo de los equipos críticos, incrementar la eficiencia operativa, reducir los riesgos asociados a fallos en los equipos y preservar tanto la seguridad del personal como del entorno. Este enfoque aborda los problemas detectados en el diagnóstico situacional, que incluyen deficiencias en la identificación de equipos clave, interrupciones frecuentes en las operaciones y la ausencia de estrategias de mantenimiento adecuadas. A continuación, se detalla el impacto y los beneficios específicos de aplicar esta metodología en cada área.

2.4.1 Área de extracción

- Impacto en el rendimiento: la implementación de la metodología de IM en esta área facilita la evaluación del estado de equipos móviles, como excavadoras y perforadoras, fundamentales para la extracción de piedra caliza. Al identificar fallas críticas y establecer un mantenimiento preventivo adecuado, se busca minimizar los tiempos de inactividad y optimizar la disponibilidad de estos equipos esenciales. (Continental 2024a)
- Impacto en la seguridad: las actividades en la cantera presentan riesgos significativos debido a las condiciones desafiantes y la interacción constante con maquinaria pesada. La metodología de IM contribuye a evitar fallas graves que podrían poner en peligro la seguridad de los trabajadores y del entorno circundante.

2.4.2 Área de trituración

- Impacto en el rendimiento: el proceso de trituración de piedra caliza es esencial y continuo, ya que afecta directamente el suministro de material hacia el horno de calcinación. La implementación de IM mejora indicadores clave, como el tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio de reparación (MTTR), garantizando un flujo constante de material. (Meza y Velásquez 2024)
- Impacto en la seguridad: un adecuado mantenimiento y evaluación de las trituradoras minimiza el riesgo de atascos o fallos mecánicos que podrían generar situaciones peligrosas para los trabajadores.

2.4.3 Área de manejo de piedra

- Impacto en el rendimiento: en esta área, la estandarización de los códigos de los equipos y la implementación de AMFEs (Análisis de Modos y Efectos de Falla) permiten identificar y abordar los puntos críticos de manera efectiva, garantizando la continuidad en las operaciones de transporte y manejo de piedra hacia el horno. (Meza 2020)
- Impacto en la seguridad: la identificación anticipada de fallas contribuye a minimizar los riesgos de accidentes relacionados con las actividades de transporte y almacenamiento de materiales.

2.4.4 Área del horno Maerz

- Impacto en el rendimiento: como elemento central del proceso de calcinación, el horno Maerz desempeña un papel crucial en la producción. Los paros imprevistos pueden impactar significativamente la operación, pero la implementación de la metodología de IM fortalece la confiabilidad operativa del horno al realizar una evaluación exhaustiva de sus componentes más críticos.
- Impacto en la seguridad: dado que la calcinación involucra temperaturas extremadamente altas y materiales peligrosos, la IM ayuda a mitigar riesgos de explosiones o fugas, asegurando un entorno de trabajo seguro para el personal.

2.4.5 Área de pulverizado de cal

- Impacto en el rendimiento: los molinos pendulares, esenciales para el proceso de pulverización de cal, demandan un mantenimiento detallado debido a su intensa carga operativa. La implementación de la IM garantiza su operación ininterrumpida y contribuye a mejorar la calidad del producto final.

- Impacto en la seguridad: la IM previene la acumulación excesiva de polvo durante el proceso, protegiendo tanto la salud de los trabajadores como el entorno que los rodea.

2.4.6 Área de manejo de combustible sólido

- Impacto en el rendimiento: la aplicación de la IM maximiza la disponibilidad de los equipos empleados en el manejo del coke pulverizado, garantizando un suministro continuo y estable hacia el horno.
- Impacto en la seguridad: la adecuada manipulación del coke, un material con alto riesgo de inflamabilidad es fundamental para prevenir incidentes como incendios o explosiones. La IM asegura que los equipos se encuentren en condiciones ideales para gestionar este material de forma segura.

La metodología de IM trasciende la solución de problemas técnicos, ofreciendo un enfoque proactivo que asegura la sostenibilidad operativa de la planta. Su implementación genera beneficios clave, como:

- Reducción de costos operativos, al minimizar las fallas imprevistas y optimizar el uso de los recursos disponibles.
- Aumento de la eficiencia operativa, al garantizar un desempeño continuo y confiable de los equipos
- Mejora en la seguridad laboral y ambiental, al mitigar los riesgos asociados con posibles fallas en los equipos.

En conclusión, la integración de la IM en cada área de la planta no solo responde a una necesidad técnica, sino que representa una estrategia esencial para cumplir con los objetivos de producción, seguridad y sostenibilidad de la organización.

2.5 Resultados esperados

El resultado que se desea esperar al lograr terminar la implementación de la metodología que está enfocada a la conservación de equipos (IM):

- Mejora en los (KPIs) del área de mantenimiento.
- Mejorar los programas de mantenimiento.
- Documentar y establecer procedimientos de mantenimiento utilizando la disciplina operativa.
- Capacitar al personal de mantenimiento.

- Controlar el mantenimiento.
- Asegurar la calidad de equipos y repuestos.
- Establecer programas de mantenimiento.
- Disponer y utilizar los recursos humanos
- Disponer de materiales adecuados.

Se requiere obtener un impacto en la reducción de costos por paros no programados.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

Las bases teóricas constituyen el fundamento de los conocimientos adquiridos a través de la enseñanza y son esenciales para implementar sistemas de evaluación más eficientes en las áreas de trabajo. Estas bases permiten desarrollar un mayor criterio al realizar análisis profesionales, facilitando la toma de decisiones en el ámbito operativo y estratégico.

3.1 Bases teóricas de la metodología o actividades realizadas

3.1.1 Integridad mecánica

La integridad mecánica se refiere a un conjunto de metodologías destinadas a conservar y mantener las condiciones originales de diseño de instalaciones, equipos o componentes críticos. Su objetivo principal es garantizar la seguridad y confiabilidad de los sistemas que manejan materiales o energías peligrosas desde su construcción hasta el término de su vida útil. Un ejemplo práctico se observa en la industria química, donde se monitorean las tuberías de alta presión mediante inspecciones ultrasónicas regulares para evitar fugas y garantizar la seguridad de las operaciones. (Velarde Sánchez 2019)

3.1.2 Taxonomía de equipos

La taxonomía se define como el proceso de clasificar u organizar en grupos elementos que comparten características comunes. En la administración de activos, esta clasificación sistemática es clave para organizar ítems en grupos generales, basados en factores como su ubicación, uso, o subdivisión de equipos.

Por ejemplo, en una planta de procesamiento de minerales, los equipos pueden clasificarse en categorías como sistemas de trituración, sistemas de transporte y equipos de molienda, cada uno dividido en subsistemas y componentes más específicos. Esta organización facilita el análisis detallado y la priorización en el mantenimiento. (Continental 2024)

La norma ISO 14224 proporciona un enfoque estructurado para organizar la jerarquía de una máquina en sus componentes, estableciendo límites claros para cada categoría de equipo:

- Clases: hornos, bombas, compresores.
- Sistemas: sistema de calcinación, sistema hidráulico.
- Subsistemas: quemadores, intercambiadores de calor.

- Componentes: válvulas, motores, sensores

Esta clasificación resulta esencial para llevar a cabo análisis especializados, como el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), el Análisis de Modos y Efectos de Fallas (FEMCA), o el Análisis de Causas Raíz (RCA). Por ejemplo, en el caso de un horno vertical de calcinación, la taxonomía permite identificar elementos clave, como los quemadores y los revestimientos refractarios, que necesitan un monitoreo constante y un mantenimiento adecuado para garantizar su funcionalidad. (Predictiva21 2023c)

En la etapa de planificación de proyectos en empresas industriales, se generan costos que generalmente se denominan "inversiones iniciales", donde los personajes principales son los "costos de inversión en bienes de capital (inversiones - CAPEX)" y los "costos operativos en bienes de capital" (costos operativos - OPEX). En la fase operativa se lanza y pone en marcha el sistema de producción para estabilizar su operación a base de las expectativas de producción, según estándares establecidos y, por otro lado, en esta fase se inicia el proyecto.

Un ejemplo de esto se observa en una planta de cal, donde los hornos de calcinación constituyen una inversión importante. Su mantenimiento incluye acciones preventivas, como inspecciones regulares de los sistemas de combustión, y correctivas, como la renovación de los revestimientos refractarios desgastados. (Reynoso 2021)

Una vez que un activo físico alcanza un estado operativo estable y se utiliza en la elaboración de un bien o servicio destinado al mercado, su objetivo mínimo inicial es recuperar la "inversión inicial" generando beneficio económico para la empresa. Este enfoque contable transforma al activo en un elemento físico, material y capitalizado económicamente, al cual se le destina un presupuesto destinado a su mantenimiento integral, garantizando que desempeñe su función durante toda su vida útil.

Lo anterior requiere la adopción de realizar una taxonomía de activos tangibles como técnica que oriente la gestión y el control dirigidos a satisfacer los requisitos a través de la eficiencia y mantenerlos durante un ciclo de vida predefinido.

La jerarquía técnica organiza los activos físicos en una estructura coherente y detallada, facilitando la ubicación de información técnica y financiera, así como la planificación y gestión de mantenimiento. Por ejemplo, un sistema CMMS (Computerized Maintenance Management System) puede almacenar datos históricos de mantenimiento, organizados por clases y categorías de equipo, como "Bombas de Lodo" o "Molinos de Bolas"; permitiendo una coordinación eficiente del mantenimiento preventivo y correctivo. (WERF ,2012).

Los objetivos de la jerarquía técnica son:

- Catalogar maquinaria, repuestos y documentos técnicos.
- Gestionar y acceder a datos históricos de mantenimiento a través de sistemas CMMS.
- Diseñar y programar planes de mantenimiento preventivo y realizar reparaciones oportunas.

Un caso práctico es la aplicación de una jerarquía técnica en una planta siderúrgica, donde se estructuran los hornos de arco eléctrico y las líneas de colada continua en diferentes niveles jerárquicos, permitiendo optimizar las tareas de mantenimiento y disminuir los costos operativos.

Revelar las conexiones técnicas de una empresa industrial; catalogación de etiquetas, maquinaria y piezas de repuesto; documentos y diagramas; almacenar datos históricos de mantenimiento en el sistema CMMS; organización, coordinación y terminación del mantenimiento; costos compartidos y recuperación; planificar y organizar un programa de mantenimiento preventivo; planea reparaciones inmediatas y retrasadas.

3.2 Estado del arte en la gestión del mantenimiento

El estado del arte en la gestión de integridad mecánica abarca una revisión exhaustiva de las prácticas tradicionales, los avances tecnológicos y las tendencias emergentes, permitiendo identificar las herramientas más efectivas y modernas aplicables en la planta Calidra Perú. Este análisis no solo permite evaluar la efectividad de las metodologías propuestas, sino también garantizar que estén alineadas con los estándares internacionales y las mejores prácticas de la industria. (Meza 2020)

Las estrategias tradicionales en la gestión de integridad mecánica se basan en métodos como el mantenimiento preventivo, que utiliza programas programados para evitar fallos, y el análisis de causa raíz (RCA), una herramienta investigativa diseñada para identificar y abordar las causas fundamentales de fallos repetitivos. Aunque estas prácticas han demostrado ser útiles a lo largo del tiempo, su enfoque reactivo y la falta de integración con tecnologías digitales presentan limitaciones frente a las exigencias actuales de mayor precisión y eficiencia. (Meza y Velásquez 2024)

Por otro lado, los avances tecnológicos han revolucionado la gestión de activos, destacándose la adopción de normativas internacionales como la ISO 14224. Este estándar ofrece un marco para la clasificación estructurada de equipos mediante taxonomía, lo que facilita la organización

de información y mejora la toma de decisiones fundamentadas en análisis históricos. Tecnologías como el mantenimiento predictivo con sensores IoT permiten monitorear en tiempo real variables clave como vibración y temperatura, anticipando posibles fallos antes de que ocurran. Adicionalmente, la utilización de indicadores clave de desempeño (KPIs), como el Tiempo Medio entre Fallos (MTBF) y el Tiempo Medio de Reparación (MTTR), proporciona datos precisos para evaluar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos. (Jayo 2022)

Simultáneamente, las tendencias emergentes están transformando el campo de la integridad mecánica. Los gemelos digitales, que consisten en modelos virtuales de equipos físicos, permiten simular y analizar su comportamiento bajo distintos escenarios operativos sin necesidad de interrumpir las actividades reales. Asimismo, la inteligencia artificial y el aprendizaje automático están revolucionando el mantenimiento predictivo al identificar patrones complejos dentro de grandes volúmenes de datos, optimizando tanto la planificación como el uso de recursos. Estas tecnologías forman parte del paradigma de la Industria 4.0, que combina automatización avanzada y conectividad en tiempo real para maximizar la eficiencia operativa.

Diversos casos de éxito ilustran la efectividad de estas herramientas. Por ejemplo, en una planta petroquímica en Estados Unidos, el uso de sensores IoT en el mantenimiento predictivo redujo los paros imprevistos en un 25%. De manera similar, una planta de cemento en México incrementó la disponibilidad de sus equipos en un 15% mediante la adopción de taxonomía y análisis de criticidad. En Alemania, la implementación de gemelos digitales en el sector automotriz mejoró en un 20% los tiempos de configuración, impactando positivamente la productividad. (Carmona 2021)

En el caso de la planta Calidra Perú, la integración de estas tecnologías y metodologías podría revolucionar la gestión de mantenimiento. La implementación de sensores IoT permitirá supervisar en tiempo real las condiciones de los equipos críticos, mientras que la taxonomía y el análisis de modos y efectos de fallos (AMFE) facilitarán la organización y priorización de los recursos. Además, el uso de KPIs avanzados garantizará un monitoreo constante del desempeño, favoreciendo decisiones basadas en datos y alineadas con las mejores prácticas internacionales. (Beltrán Montero y Quintana Martínez 2023)

El análisis del estado del arte deja claro que combinar métodos tradicionales con tecnologías de vanguardia y tendencias emergentes representa un camino sólido hacia una gestión de integridad mecánica más eficiente y moderna. Aplicar estas herramientas en Calidra Perú fortalecerá la confiabilidad de los equipos, optimizará los recursos operativos y consolidará a la planta como un referente en innovación industrial. (Medrano 2024)

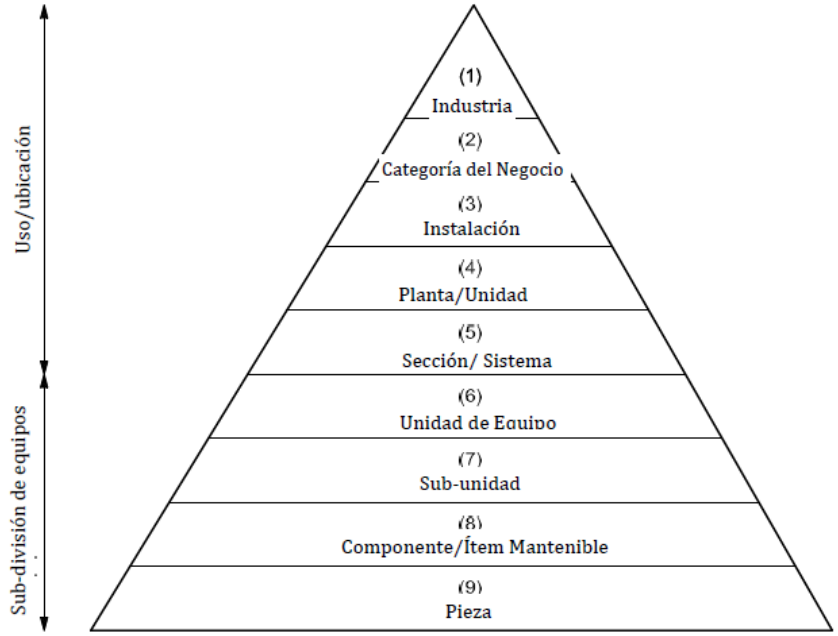


Figura 6. *Esquema de Clasificación Jerárquica de la Taxonomía según Niveles Taxonómicos". Tomada de: Publicación de Estándares BSI - ISO 14224:2016.*

La figura anterior es un esquema de referencia para la clasificación jerárquica de activos.

Tabla 1. Métodos de jerarquización de activos físicos: frecuencia de uso y aplicaciones en la industria.

Métodos de Jerarquización de Activos Físicos para Instalaciones Industriales			
Año	**Ente**	**Denominación**	**Aplicación – Propuesta**
1970 – 1978	*Asociación Técnica Europea para la Generación de Energía y Calor (VGB Power Tech)* *United Airlines (F. Stanley Nowlan)*	*Sistema de Identificación KKS (Kraftwerk-Kennzeichen-System)* *AD/A006-579 - Reliability-centered Maintenance*	***Centrales de Generación de Electricidad.*** ***Clasificación, división y codificación su función (relacionada con el proceso), lugar y puntos de instalación.*** ***Industria Aeronáutica.*** ***Jerarquización de partes de aeronaves.***
1983 - 1991	*John Moubray*	*RCM2 – MCC2*	***Industria en General.*** ***Jerarquización, codificación y diagramas de bloque funcionales.***
1993 - 1995	*Comisión Venezolana de Normas Industriales* *National Aeronautics and Space Administration - NASA de los EEUU.*	*COVENIN 3049-93 "Mantenimiento – Definiciones"* *Manual de Sistemas de Ingeniería (NASA Systems Engineering Handbook),*	***Industria en General.*** *Desagregación y codificación de los objetos de un sistema productivo.* ***Instalaciones y Proyectos de la NASA.*** *Organización Sistemas de Ingeniería.*
1999 2006 2016	**Organización Internacional de Normalización (ISO)**	**ISO 14224:2016 "Colección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos para la industria petrolera, petroquímica y del gas"**	**Industria Petrolera, Petroquímica y del Gas. Puede ser adaptada a otro tipo de industrias con algunas limitantes. Taxonomía – Clasificación de Activos Físicos, en Niveles Taxonómicos.**
2001 2011 2017	*NORZOK – Asociación Noruega de Petróleo y Gas y la Asociación de Armadores de Buques Noruego*	*NORZOK Z-008:2001 y 2011 "Análisis de Criticidad para Propósitos de Mantenimiento" NORZOK Z-008:2017 "Mantenimiento basado en el riesgo y clasificación de consecuencias"*	***Industria Petrolera, Petroquímica y del Gas. Puede ser adaptada a otro tipo de industrias con algunas limitantes. Jerarquización Funcional (principal y sub-función).***
2009 2013	*WERF - Fundación de Investigación del Agua (The Water Research Foundation)*	*Análisis de decisiones / Guía de implementación - Desarrollo de herramientas de gestión de activos: resumen de investigación (SAM1R06i)*	***Complejos de Tratamiento de Agua Potable y Aguas Residuales. Jerarquización con niveles Padre – Hijo.***

En la tabla 1, se detallan las bases que permitieron la creación de estructuras jerárquicas en diferentes sectores industriales, desarrolladas por VSG Power Tech (plantas de energía – Sistema KKS) entre 1970 y 1978, F. Stanley Nowlan (industria aeronáutica – RCM) de 1974 a 1978, y John Moubray (industria general – RCM2) desde 1983. Estas bases han facilitado la elaboración de marcos referenciales que sirven de cimiento para establecer normas internacionales, nacionales e institucionales. Es importante destacar que la Organización Internacional de Normalización (ISO) publicó en 1999 la primera edición del estándar ISO – 14224:1999 "Colección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos para la industria petrolera, petroquímica y del gas", que introdujo por primera vez el término “taxonomía” como pilar fundamental en la confiabilidad y el mantenimiento.

Según la etimología, la palabra Taxonomía proviene de dos expresiones griegas “taxis” y “nomos” que significan “arreglo, poner orden” y “ley, norma”, respectivamente.

La palabra taxonomía es definida por la RAE de la siguiente manera:

La ciencia que se ocupa de los principios, métodos y objetivos de la clasificación. Se aplica especialmente en biología a la disposición jerárquica y sistemática de grupos de animales y plantas según sus nombres.

La taxonomía es definida por la norma ISO 14224:2016 que define la taxonomía como "la clasificación sistemática de objetos en grupos generales basada en factores comunes a varios objetos". (Predictiva21 2020)

3.3 Análisis de criticidad

El análisis de criticidad constituye una herramienta clave en la administración de activos y equipos. Este método facilita la identificación de los componentes y sistemas más cruciales para las operaciones, evaluando su relevancia en aspectos como la producción, la seguridad, la calidad y el impacto medioambiental. En el contexto del presente trabajo de suficiencia profesional, se examina la naturaleza del análisis de criticidad, su funcionamiento y su importancia fundamental para las empresas. (Urquiza 2023)

Asimismo, el análisis de criticidad es un método utilizado para determinar los componentes y sistemas fundamentales dentro de una operación. El proceso se lleva a cabo mediante una evaluación sistemática de equipos y sistemas, tomando en cuenta su importancia para la producción, la seguridad, la calidad y el medio ambiente. Una vez identificados los elementos

críticos, se analiza su relevancia relativa, basándose en el impacto que poseen en estos cuatro aspectos esenciales. (Velasco y Aguilar 2021)

El propósito principal del análisis de criticidad es ayudar a las empresas a enfocar sus esfuerzos operativos en los activos y equipos más importantes, asegurando su adecuado mantenimiento y gestión. Identificar los componentes y sistemas esenciales permite dirigir los recursos hacia ellos, garantizando la continuidad de las operaciones y minimizando el riesgo de interrupciones.

3.3.1 Identificación de los componentes y sistemas críticos

El primer paso en el análisis de criticidad consiste en identificar los componentes y sistemas clave de la operación. Para ello, se realiza una inspección detallada de los equipos y sistemas involucrados en la fabricación, la seguridad, la calidad y los aspectos ambientales.

Durante esta etapa, es fundamental considerar los siguientes factores:

- La función del sistema o componente en la operación.
- Problemas y fallas previas asociadas al sistema o componente.
- Inactividad generada por las fallas del sistema o componente.
- Costos de reemplazo del sistema o componente.
- Impacto sobre la seguridad en el lugar de trabajo.
- Influencia en la calidad de los productos.
- Impactos ambientales asociados. (Predictiva21 2023b)

3.3.2 Realizar AMFE'S

El análisis de modos y efectos de fallas (AMFE) es una metodología utilizada para prever defectos potenciales en un producto o proceso antes de que se manifiesten, con el objetivo principal de eliminarlos o reducir el riesgo que representan.

También, se puede describir como un proceso sistemático, continuo y de largo plazo, enfocado en proponer mejoras en el diseño, la fabricación o el uso de equipos o sistemas. La finalidad es minimizar o eliminar los riesgos y los costos asociados a los defectos, mejorando así la satisfacción del cliente.

Por tanto, el AMFE puede considerarse como un método de análisis estandarizado para la identificación y eliminación sistemática y completa de problemas, cuyos principales objetivos son:

- Identificar y analizar posibles modos de falla y sus causas relacionadas con el diseño, fabricación y uso del producto o equipo.
- Evaluar el impacto que podrían tener los fallos potenciales en el rendimiento del sistema.
- Determinar acciones que mitiguen o eliminen la probabilidad de fallas potenciales.
- Examinar la fiabilidad del sistema.
- Registrar y documentar el proceso completo.

Si bien el método AMFE es ampliamente utilizado en la industria automotriz, es adecuado para descubrir y prevenir las causas de posibles fallas en los equipos y procesos de cualquier empresa, sin importar si están en uso o en desarrollo; y es adecuado para sistemas administrativos y de servicios. (Predictiva21 2023a)

3.3.3.1 Ventajas del AMFE

Las ventajas o beneficios del AMFE se pueden ver en la eliminación o reducción de posibles fallas tanto a corto como a largo plazo. A corto plazo, significa ahorros en costos de reparación, pruebas repetidas y tiempo de inactividad causado por fallas. Los beneficios a largo plazo son mucho más difíciles de medir, porque se relacionan con la satisfacción del cliente, con la eficiencia y calidad del equipo o proceso.

Por otro lado, el AMFE permite:

- Ayudar en la elección de opciones durante las fases de diseño, fabricación y operación para optimizar el rendimiento de un equipo o proceso.
- Incrementar las probabilidades de que los posibles modos de falla y sus efectos sobre la operación del sistema sean considerados durante las etapas de diseño, fabricación y operación.
- Proveer información adicional para la planificación de programas de inspección, mantenimiento (especialmente en la planificación de acciones en los recursos necesarios).
- Desarrollar una lista de modos de fallos potenciales basados en la experiencia y su impacto sobre el equipo.
- Proporcionar un documento que sirva como referencia para el análisis de fallos y sus efectos.
- Identificar fallos donde son necesarias características de alta confiabilidad.
- Documentar modos de fallos potenciales que puedan ser identificados.

- Ayudar en el desarrollo de planes de acción para reducir los modos de fallos de manera costo-efectiva.
- Priorizar los modos de fallos según su impacto, de modo que otras acciones correctivas puedan ser planificadas.

3.3.3.2 Flujograma para realizar un AMFE

El formato presentado para la redacción del AMFE debe adaptarse a las necesidades de cada empresa, y se añaden otros elementos que faciliten el uso y comprensión del AMFE.

Es importante enfatizar que el AMFE no debe considerarse como un departamento de la empresa, sino como un proceso continuo que involucra a todas las partes interesadas. Además, está directamente relacionado con una filosofía de mantenimiento centrada en la confiabilidad y la productividad general. El AMFE puede parecer un proceso engorroso y costoso, pero a la larga trae beneficios inconmensurables a la empresa donde se implementa.

En términos generales, un AMEF se estructura en las siguientes fases y componentes esenciales:

- Identificación de funciones y posibles fallas.
- Determinación de las causas de las fallas.
- Análisis de las fallas identificadas.
- Evaluación de la frecuencia de ocurrencia de cada falla.
- Evaluación de la severidad de cada falla.
- Revisión de los métodos existentes para detectar las fallas.
- Análisis del impacto de las fallas. (Procedimiento para evaluar las consecuencias potenciales).
- Identificación de características especiales que requieren atención adicional.
- Evaluación de los riesgos asociados con las fallas.
- Establecimiento del nivel de criticidad de cada riesgo.
- Determinación del número de prioridades de riesgo.
- Implementación de estrategias para reducir los riesgos identificados. (Predictiva21 2023a)

3.4 Realizar indicadores de desempeño KPIs.

Los indicadores son una herramienta diaria esencial en la gestión de mantenimiento y fiabilidad en cualquier organización. Un indicador que se desvía de las metas establecidas puede tener

consecuencias significativas, como la destitución de un jefe, la terminación de un contrato, la asignación de premios o penalizaciones, y la necesidad de explicar las desviaciones ocurridas.

La SMRP se estructura alrededor de cinco pilares del conocimiento. Los indicadores clave de desempeño (KPI) elegidos deben estar en sintonía con las metas de la organización. Medir las variables correctas de manera adecuada es crucial para el éxito de cualquier proceso de mantenimiento y fiabilidad. Cada KPI debe evaluarse en múltiples dimensiones para asegurar una verificación, tanto de la cantidad como de la calidad.

3.4.1 Tiempo medio entre fallos (MTBF, por sus siglas en inglés).

Permite comprender con qué frecuencia ocurren las fallas. MBTF es un indicador de la confiabilidad general de un activo y de alguna manera puede usarse como indicador de la calidad del activo y sus componentes. MTBF es una medida del tiempo esperado entre fallas durante el funcionamiento normal y se calcula dividiendo el tiempo operativo total por el número de fallas.

El MTBF proporciona estadísticas sobre la vida útil promedio esperada de un equipo o componente específico. Un MTBF más alto significa que un componente o dispositivo puede funcionar durante más tiempo antes de fallar. Si conoce la vida útil de un equipo específico, puede planificar y programar el mantenimiento para evaluar su estado e intervenir antes de que ocurra una falla.

Fórmula:

$$\mathbf{MTTR} = \frac{\mathbf{Total\ Repair\ (hours)}}{\mathbf{N°\ de\ Eventos}} \qquad (1)$$

Las empresas emplean indicadores de gestión a distintos niveles para medir su éxito en alcanzar de los objetivos definidos en la planificación estratégica. Los indicadores clave de nivel superior pueden enfocarse en el rendimiento global de la organización. (Predictiva21, 2019)

Tabla 2. Lista de indicadores para implementación.

Lista de Indicadores
% EGP
% Disponibilidad
MTTR (Hrs) Tiempo medio de reparación
MTBF (Hrs) Tiempo medio entre fallas
% Cump. Mantenimiento predictivo
% Cump. Mantenimiento preventivo
% Mantenimiento correctivo (no programado)
%Implementación IM
%Días sin IDP. (Mtto)
$ Mantto/Ton (mes actual)
$ Mantto/Ton (promedio)
# Malos actores
Índice de frecuencia
Índice de gravedad

Tomada de: Adaptado de Predictiva21 (2019).

CAPÍTULO IV

DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES PROFESIONALES

La integridad mecánica es un conjunto de metodologías enfocadas a la conservación y mantenimiento de las condiciones originales de diseño de las instalaciones, equipos o componentes críticos que contienen materiales o energías peligrosas para garantizar su contención desde la construcción hasta el término de vida útil.

4.1 Descripción de las actividades profesionales

4.1.1 Enfoque de las actividades profesionales

Los enfoques de las tareas profesionales se encuentran abocados a la implementación del sistema de gestión y una correcta metodología de evaluación de equipos críticos de la planta Calidra Perú S.A.C. En todas sus áreas de producción y garantizar una mayor durabilidad de los equipos de línea.

Así también, la mejora de la implementación de los procedimientos, con la elaboración de AMFES, que permitan evaluar los puntos de mayor riesgo en cada componente de cada equipo, analizar la criticidad de los equipos y determinar unas rutinas de mantenimiento más específicas a los componentes críticos.

Lograr que las empresas tengan una alta eficiencia en el departamento de mantenimiento de los equipos es uno de los resultados esperados al terminar de implementar integridad mecánica de los equipos y así estar a la par de sus similares plantas de otras partes de Sudamérica, Centro América y México.

Se tuvo que generar Tags o códigos de identificación de equipos, aplicando una taxonomía en las áreas del proceso para una correcta identificación y estandarización.

Se enfocó en querer tener una identificación de los equipos presentando mantenimientos correctivos constantes y poder medirlos con el uso de indicadores para su evaluación.

4.1.2 Alcances de las actividades profesionales

El alcance que se desea lograr como supervisor de mantenimiento es obtener unas rutinas de mantenimiento adecuadas de cada equipo, según su nivel de criticidad.

La gestión que se lleva en las rutinas causa una mejora en los indicadores de mantenimiento KPIs.

Por otra parte, se podrá garantizar el funcionamiento continuo de las operaciones (Calcinación), entre otras, reduciendo el tiempo medio entre fallas y logrando detectar los malos actores (equipos), que causen o requieran un constante mantenimiento correctivo.

La correcta evaluación de equipos críticos nos permitirá un sistema más eficiente para la producción y para los trabajadores, puesto que también se logrará reducir los actos y condiciones de peligro. También se efectuará una elaboración de manuales y capacitación de personal.

a) Formatos de generación de tag (taxonomía de equipos).

Tabla 3. Codificación de activos por planta y proceso.

Planta	**Arequipa**	**ARE**
Proceso	Manejo de Biomasa	MBI
N°. de línea	1	01
Clase de Activo	Bomba	
Tipo de Activo	Boma de Desplazamiento Positivo	BDP
# Activo	1	02

Adaptado de ISO 14224:2016, "Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment".

b) Cuadros de tags para equipos.

Tabla 4. Identificación de equipos con tags y vida útil estimada.

TAGS	**CLASE DE ACTIVO**	**TIPO DE ACTIVO**	**VIDA UTIL ESTIMADA**
ARE-MBI-01-BDP.01	Bomba	Boma de Desplazamiento Positivo	5 años

Adaptado de ISO 14224:2016.

CALIDRA
SIEMPRE AHÍ

LISTADO DE EQUIPOS

ITEM	CODIGO SISTEMA	CODIGO	AREA	AMFE	% AVANCE	OBSERVACIONES	TIPO CRITICIDAD		
EXTRACCION							A (5% de Activos)	B (15% de Activos)	C (80% de Activos)
1									
2									
3									
4									
TRITURACION							A (5% de Activos)	B (15% de Activos)	C (80% de Activos)
1									
2									
3									
4									
MANEJO DE PIEDRA (AREA 200)							A (5% de Activos)	B (15% de Activos)	C (80% de Activos)
1									
2									
3									
4									
HORNO MAERZ (AREA 300)							A (5% de Activos)	B (15% de Activos)	C (80% de Activos)
1									
2									
3									
4									
CAL VIVA (AREA 400)							A (5% de Activos)	B (15% de Activos)	C (80% de Activos)
1									
2									
3									
4									
MANEJO DE COMBUSTIBLE SOLIDO (AREA 501)							A (5% de Activos)	B (15% de Activos)	C (80% de Activos)
1									
2									
3									
4									
PULVERIZADO DE COMBUSTIBLE SOLIDO (AREA 502)							A (5% de Activos)	B (15% de Activos)	C (80% de Activos)
1									
2									
3									
4									
PULVERIZA (AREA 600)							A (5% de Activos)	B (15% de Activos)	C (80% de Activos)
1									
2									
3									
4									
ENVASADO							A (5% de Activos)	B (15% de Activos)	C (80% de Activos)
1									
2									
3									
4									

Figura 7. *Formato de Equipos por Área y Estado de Avance en el Análisis de Modo y Efecto de Fallas [AMFE]*

c) Formato de análisis de criticidad.

La siguiente tabla muestra la probabilidad que pueda ocurrir un evento con un equipo.

Tabla 5. Probabilidad de fallas: frecuencia y paros críticos por año.

Frecuencia de falla / Paros críticos de línea completa	Puntaje
Ocurre más de 4 veces por año.	10
Ocurre más de 2 veces por año.	8
Ocurre aproximadamente 1 vez al año.	6
Ocurre aproximadamente 1 vez cada 5 años.	4
Ocurre aproximadamente q vez cada 10 años o es probable que algún día ocurra.	2
Nunca ha ocurrido y no es probable que ocurra.	1

El siguiente cuadro muestra si el activo no cumplió la función deseada.

Tabla 6. Impacto económico y operativo de fallas en el mantenimiento.

Impacto de mantenimiento	Puntaje
El impacto económico de una falla en el equipo es considerable. El costo promedio de reparación es alto; > MXM 950.000 = $40000. El tiempo medio de reparación (MTTR) es muy alto: 10 días	**10**
El impacto económico de una falla o degradación sin detectar en el equipo es alto. El costo promedio de reparación es alto; MXM 500.000 - 950.000. = $15000 a $40000. El tiempo medio de reparación (MTTR) es muy alto: 5 - 10 días	**8**
El impacto económico de una falla o degradación sin detectar en el equipo es considerable. El costo promedio de reparación es alto; MXM 200.000 - 500.000 = $5000 a $15000. El tiempo medio de reparación (MTTR) es muy alto: 3 - 4 días	**6**
Costo total de mantenimiento superior al promedio. El costo promedio de reparación; MXM 65.000 – 200.000 = $1000 a $5000. El tiempo medio de reparación (MTTR) está en línea con otros activos: 2 días.	**4**
El impacto económico de una falla o degradación sin detectar en el equipo es bajo. El activo no se considera costoso de mantener; MXM 15.000 – 65.000. = $0 a $1000. El tiempo medio de reparación (MTTR) está por debajo del promedio.	**2**
El impacto económico de una falla o degradación sin detectar en el equipo es considerable. El costo promedio de reparación; MXM 15.000 = $0 a $1000. El tiempo medio de reparación (MTTR) es insignificante.	**1**

Tabla 7. Impacto de producción: valores y ponderación de pérdidas operativas.

Impacto de producción	Puntaje
Gran impacto en la producción Equipo en línea que NO se puede by passear y hay una probabilidad Alta de perdida de producción que no se podrá recuperar debido a utilizaciones de línea o proceso elevadas. Resulta en la pérdida de ventas o envío de productos de otras plantas	**10**
Gran impacto en la producción Equipo en línea que NO se puede by passear y hay una probabilidad Media de perdida de producción que no se podrá recuperar debido a utilizaciones de línea o proceso elevadas. Resulta en la pérdida de ventas o envío de productos de otras plantas	**8**
Impacto significativo en la producción Equipo en línea que SÍ se puede by passear con maniobras costosas (rentas de equipo, remanejos de material), o que es posible recuperar la producción, pero con un costo adicional importante (turnos extras, ajustes operativos complejos)	**6**
Restricción de producción Equipo en línea que, SÍ se puede by passear, o tenemos un buffer suficiente en silos o almacenes para no parar, o se puede recuperar con ajustes simples de producción como incrementar capacidad	**4**
Efecto menor en la producción. Disminuye la eficiencia y/o efectividad operativa	**2**
Efecto insignificante en la producción Dentro del alcance operativo normal para gestionar	**1**

Tabla 8. Evaluación del impacto en seguridad y medio ambiente por escenarios de riesgo.

Impacto en seguridad y medio ambiente	Puntaje
Potencial de causar fatalidad o generar un daño ambiental mayor que lleve al cierre de la planta.	**30**
IDP con lesión incapacitante mayor a 40 días / Potencial de causar daños permanentes al personal y/o contaminar significativamente áreas de afuera de las instalaciones resultando en problemas con la autoridad o comunidad / Se pierde el certificado ambiental / Baja programa de autogestión PASST Condiciones de muy alto riesgo para dar mantenimiento (Espacios confinados, trabajos en altura, equipos bajo presión, riesgo de electrocución, equipos en movimiento).	**15**
Potencial de causar al personal daños serios (IDP con lesiones incapacitantes de 8 a 40 días), pero no permanentes, con o sin hospitalización y/o contaminar áreas afuera de las instalaciones / Se requiere notificar a la autoridad ambiental. Condiciones de alto riesgo para dar mantenimiento. (Espacios confinados, trabajos en altura, equipos bajo presión, riesgo de electrocución, equipos en movimiento).	**6**
Potencial de causar lesiones significativas sin hospitalización al personal (IDP de 1 a 7 días) y/o contaminar un área significativa de la planta. Condiciones complicadas o riesgosas para dar mantenimiento al equipo.	**4**
Potencial de causar lesiones menores al personal sin días perdidos y/o contaminar el área circundante al equipo /Incumplimiento interno de estándares, parámetros en los equipos de control ambiental (aire, agua, suelo) (Condiciones adecuadas para dar mantenimiento).	**2**
Riesgo despreciable de causar daño a personal o al medio ambiente.	**1**

Tabla 9. Evaluación de detectabilidad de fallas críticas con soporte de sensores.

Detectabilidad	Puntaje
No hay procedimientos para detectar fallas críticas con la suficiente antelación para obtener los repuestos necesarios y programar un paro.	**10**
DIFICILMENTE se identificarán las posibles fallas críticas con suficiente antelación para poder programar un paro oportuno.	**8**
ALGUNAS fallas críticas se pueden detectar de manera confiable para programar un paro oportuno, pero hay varias fallas que no se podrán detectar a tiempo.	**6**
Se pueden detectar la MAYORÍA de fallas críticas de manera MUY confiable con la suficiente antelación para programar un paro oportuno.	**4**
Se pueden detectar TODAS las fallas críticas de manera MUY confiable con la suficiente antelación para obtener los repuestos necesarios y programar un paro oportuno. No hay registros de detección de todas las fallas.	**2**
Se pueden detectar TODAS las fallas críticas de manera MUY confiable con suficiente antelación para programar un paro oportuno y se cuentan con registros comprobables de estas detecciones.	**1**

Tabla 10. Disponibilidad de repuestos críticos para la continuidad operativa.

REPUESTOS	PUNTAJE
Los repuestos críticos tienen tiempo de entrega superiores a 1 mes.	**10**
Los repuestos críticos están disponibles de 1 semana a 1 mes.	**8**
Los repuestos críticos están disponibles de 2 días a 1 semana.	**6**
Los repuestos críticos están disponibles en < 2 días (Stock de Grupo o Stock Proveedores)	**4**
Los repuestos críticos están bajo consigna o en proveedores con entrega en el mismo día	**2**
Los repuestos críticos están en la planta	**1**

Tabla 11. Evaluación de impacto en la calidad y relación con los clientes.

Calidad / Cliente	Puntaje
Falla en equipo genera una alta probabilidad de perder un cliente y dañar considerablemente la reputación de la empresa o resultar en problemas legales con autoridades (ej. cuales grado alimenticio).	**20**
Falla en el equipo genera desviaciones mayores en la calidad que producen producto que se debe desechar y que no es apto para ser enviado a ningún cliente.	**8**
Falla en el equipo genera desviaciones mayores en la calidad que muy probablemente identifique el cliente y/o le genera una inconveniencia al cliente que sin duda notara y dañara la reputación de la empresa.	**6**
Falla en el equipo genera desviaciones mayores en la calidad que muy probablemente identifique el cliente y/o le genera una inconveniencia al cliente que sin duda notara y dañara la reputación de la empresa.	**4**
Falla en el equipo genera desviaciones menores de calidad y/o le genera una inconveniencia mínima al cliente que difícilmente detectara.	**2**
Falla en el equipo no impacta la calidad del proceso y es imperceptible por el cliente.	**1**

Análisis de Criticidad
Entradas

Código	Descripción del Activo	Consecuencias											Probability (P)	=	Criticidad del Activo (R)
		Mantenimiento		Produccion				Seguridad		Clientes					
		Impacto de mantenimiento	+	Impacto de producción	Detectabilidad	Repuestos	+	Impacto en seguridad y medio ambiente	+	Calidad/Cliente	=	Valor General de Consecuencias (C)	x		
		Ponderación		Ponderación				Ponderación		Ponderación		100.0%			
		20.0%		30.0%				25.0%		25.0%					
1												0.0			
2												0.0			
3												0.0			
4												0.0			
5												0.0			
6												0.0			
7												0.0			
8												0.0			
9												0.0			
10												0.0			
11												0.0			
12												0.0			
13												0.0			
14												0.0			
15												0.0			
16												0.0			
17												0.0			
18												0.0			
19												0.0			
20												0.0			
21												0.0			
22												0.0			
23												0.0			
24												0.0			
25												0.0			
26												0.0			
27												0.0			
28												0.0			
29												0.0			
30												0.0			
36												0.0			

Figura 8. *Análisis de criticidad de activos: impactos y consecuencias.*

El método también es conocido como AMFE (Análisis Modal de Fallos y Efectos), ya que evalúa con precisión la gravedad de las consecuencias asociadas a los fallos. Esta técnica se emplea principalmente en el análisis de procesos durante la etapa de diseño; sin embargo, es aplicable a cualquier proceso. Estos procesos se encuentran en todas las áreas de la organización, abarcando desde el diseño y montaje hasta la fabricación, marketing y demás departamentos de la empresa.

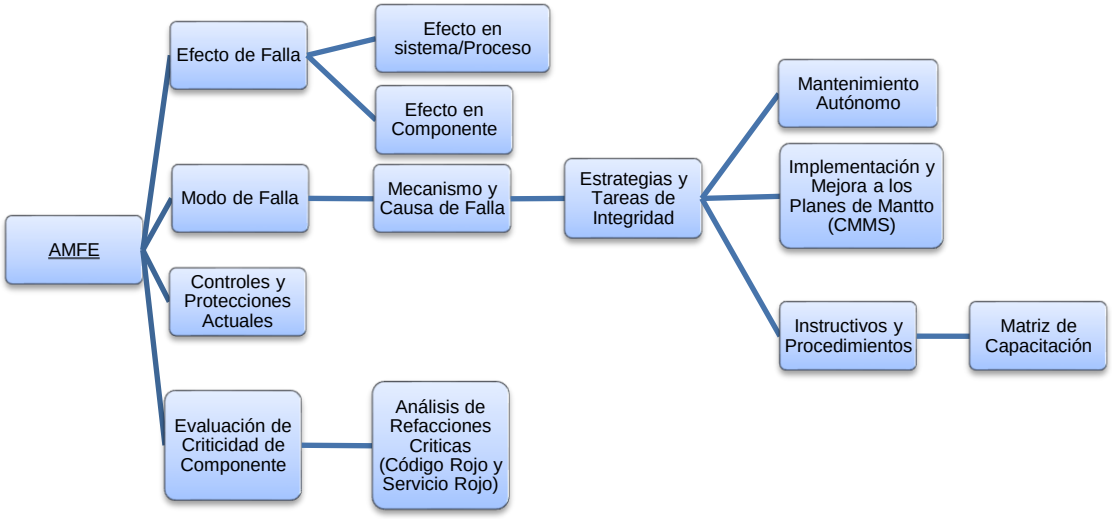


Figura 9. *Diagrama sinóptico del proceso AMFE para evaluación de componentes críticos.*

d) Cuadro de evaluación AMFE

Tabla 12. Secuencia de evaluación de partes y componentes críticos del equipo.

Componente	Función de Diseño	Modo de Falla	Mecanismo de Falla	Causas de Falla	Efectos		Plan de Control/Protecciones Existentes
					Componentes	Todo el Sistema/Proceso	

- Componente: es el ítem mantenible.
- Función de diseño: se especifica el propósito para el cual es diseñado el componente.
- Modo de falla: manera en que la falla se produce, resultando en la función deseada no alcanzada, pérdida de una función particular, o función operando fuera de los límites establecidos. Indicación de falla detectada, pero sin un impacto inmediato y crítico en la funcionalidad del equipo.
- Mecanismo de falla: proceso que conduce a una falla de algún equipo del proceso puede ser físico, químico, lógico o una combinación de estos.

- Causa de la falla: conjunto de circunstancias que llevan a una falla; ya sea en la especificación, diseño, fabricación, montaje, operación o mantenimiento de un ítem.
- Efectos: daños, eventos, desviaciones (calidad, mecánicas, eléctricas, etc.) derivadas de un modo de falla. Puede ser sobre el mismo equipo a otros equipos, o el sistema o proceso.
- Plan de control existentes: métodos de detección y control (planes de mantenimiento, pruebas, inspecciones, monitoreos, lazos de control, verificaciones, etc.)

Tabla 13. Estrategia de evaluación de partes y componentes críticos de equipos.

Estrategia de Integridad (Estrategia IPMP)	Tareas de Integridad Mecánica (Tareas IPMP)	Frecuencia de Tareas	Partes de Repuestos	Estrategia de Repuestos

- Estrategia de Integridad: implementación de mejora a los planes de Mantto, mantenimiento autónomo, integración de planes al CMMS, repuestos, creación de instructivos y procedimientos, matriz de capacitación.
- Tareas de integridad: pruebas e Inspecciones de mantenimiento preventivo y predictivo.
- Partes de repuesto: refacciones críticas.
- Estrategia de repuesto: stock de almacén, stock de proveedor, código rojo, almacén central (regional o grupo).

Tabla 14. Niveles de severidad para evaluación de riesgos.

Estimación de la severidad del Riesgo (R)		
Nivel/Grado de seguridad	**Criterio para consecuencia**	**Calificación Riesgo (R)**
Riesgo Aceptable	EL control es por mecanismo o dispositivos automáticos evita que el riesgo suceda (audible, visual). El equipo/componente no falla o/sin consecuencia, /sin efectos.	1
Riesgo Bajo	El control es por mecanismo o dispositivos automáticos (audible, visual). La falla podrá causar daños menores, lesiones sin días perdidos.	2
Riesgo Moderado	EL control es por detección manual ya apoyo de mecanismos o dispositivos automáticos (audible, visual). La falla podrá causar daños menores, lesiones sin días perdidos.	3
Riesgo Alto	El control es por detección manual y apoyo semiautomático. Pérdidas o afectaciones significativas; personas, negocio con lesiones graves o una fatalidad.	4
Riesgo Muy Alto	El control es por detección manual, la falla causara afectaciones o pérdidas mayores, múltiples fatalidades	5

Tabla 15. Probabilidad de ocurrencia de riesgos.

Estimación de la Probabilidad (P) que suceda		
Descripción	**Frecuencia**	**Rango (P)**
Remota	35 Años > + Años	1
Baja	16 Años a 35 Años	2
Moderada	6 Años a 15 Años	3
Alta	2 Años a 5 Años	4
Muy Alta	1 Año o <	5

Tabla 16. Evaluación de detección de fallas y niveles de criticidad.

Determinación de la Probabilidad de detección de la falla (D)		
Probabilidad de Deteccion Oportuna	**Criterio**	**Rango (D)**
Improbable	< 89 %	5
Baja	90 % a 95 %	4
Media	96 % a 98 %	3
Alta	%	2
Muy Alta	> 99 %	1
Niveles de Criticidad(C)		
Valores de Criticidad	**Criterio**	**Clasificación Criticidad (C)**
65 a 125	Alto Riesgo de Falla	A
30 a 64	Riesgo de Falla Intermedio	M
1 a 29	Riesgo de Falla Bajo	B

CALIDRA
SIEMPRE AHÍ

Análisis del Modo de Falla y Efecto (AMFE)

Emisión: Febrero de 2020
Revisión: 1

PROCESO: **EQUIPO:** **FECHA:** **20/03/2022**

Parte	Componente	Función de diseño	Modo de Falla del componente	Mecanismo de Falla	Causa de la falla	Efectos		Plan de control/ Protecciones Existentes	Determinación				Clasificación de Criticidad	Estrategia de Integridad (Estrategia IPMP)	Tareas de Integridad Mecánica (Tareas IPMP)	Frecuencia de Tareas	Partes de Repuesto	Estrategia de Repuesto	Nueva Determinación				Clasificación de Criticidad	Acciones Propuestas
						Componente	Todo el Sistema/ Proceso		S	P	D	C							S	P	D	C		

Figura 10. *Formato de Análisis de Modo de Falla y Efecto (AMFE).*

Logo	Empresa	Revisión: 01 Set-22 Pagina 1 de 2
INSTRUCTIVO PARA LA REALIZACIÒN DE UNA RUTINA DE TAREAS CRITICAS DE MANTENIMIENTO		

Fecha: _____ Folio: _____

IDENTIFICACIÓN DE LA NO CONFORMIDAD REAL O POTENCIAL							
TIPO DE ACCIÓN:	X	INSPECCION		PRUEBA		MANTENIMIENTO PREVENTIVO	MANTENIMIENTO PREDICTIVO
PROCESO:				EQUIPO:			
PARTE O COMPONENTE							

INSTRUCCIONES PARA REALIZAR LA TAREA	
REFACCIONES, MATERIALES Y HERRAMIENTAS A UTILIZAR:	
DESCRIPCION	CANTIDAD
ANTES DE INICIAR:	
PROCEDIMIENTO N°1	
PROCEDIMIENTO N°2	
AL TERMINAR	

RESPONSABLE DE LA EJECUCIÓN	RESPONSABLE DE VERIFICAR EL TRABAJO

CONSIDERACIONES ESPECIALES	REGISTROS DE RESULTADOS		
	No.	CRITERIO / VARIABLE	VALOR DE ACEPTACIÓN
	1		
	2		
	3		
	4		
	5		

ACCIONES DERIVADAS DEL MANTENIMIENTO		
CRITERIO QUE DETONA LA ACTIVIDAD	ACTIVIDAD	RESPONSABLE DE EJECUCION

Figura 11. *Formato de instructivo para tareas críticas de mantenimiento.*

4.1.3 Entregables de las actividades profesionales

Los entregables constarán de todas las evaluaciones ejecutadas e implementadas por parte de la implementación de integridad mecánica, como el proyecto está abocado a la codificación de equipos, evaluación de partes críticas, generación de AMFE para evaluar los equipos críticos y creación de indicadores, todos estos serán considerados como entregables.

- Listado de entregables para implementación (IM).
- Taxonomía de equipos: metodología de pragma.
- Criterios para seleccionar equipos críticos: metodología de pragma.
- Formato de AMFE y cómo realizarlo.
- Elaboración de instructivos y capacitación del personal.
- Generación de indicadores KPIs.

CALIDRA SIEMPRE AHÍ	LISTADO DE EQUIPOS							
ITEM	CODIGO SISTEMA	CODIGO	AREA	AMFE	INSTRUC			
EXTRACCION						A (5% de Activos)	B (15% de Activos)	C (80% de Activos)
1		ARE-EXT-01-PER-01	Perforadora DX800 (Antigua)	FOTOS REVISAR			75.7	
2		ARE-EXT-01-PER-02	Perforadora DX800 (Nueva)					45.4
3		ARE-EXT-01-EXC-01	Excavadoras D2L					45.4
4		ARE-EXT-01-EXC-02	Excavadoras Ng					45.4
5		ARE-EXT-01-RET-01	Cargador Frontal 980L					36
6		ARE-EXT-01-CCE-01	Volquete Volvo BBL-901	FOTOS			57.4	
7		ARE-EXT-01-CCE-02	Volquete Volvo BBM-726	FOTOS			57.4	
8		ARE-EXT-01-CCE-03	Volquete Shacman BFK-837	FOTOS			71.7	
9		ARE-EXT-01-CCE-04	Volquete Shacman BFL-802	FOTOS			71.7	
10		ARE-EXT-01-CCE-05	Volquete Shacman BMJ-748	FOTOS			71.7	
11		ARE-EXT-01-VUT-01	Camioneta para ANFO					45.8
TRITURACION CANTERA						A (5% de Activos)	B (15% de Activos)	C (80% de Activos)
1	C1	ARE-TRI-01-TRE-01	Tolva de Recepcion 150 TN					35.9
2	C8	ARE-TRI-01-AGR-01	Grizzly Feeder 5'X24' (60HP) (Alimentador de grizzly)	DESARROLLAR			64.2	
3	C9	ARE-TRI-01-QQU-01	Jaw Crusher 52"X60" (250HP) (Trituradora de Mandubulas	DESARROLLAR			65.2	
4	BC-1	ARE-TRI-01-TBA-01	Banda Transportadora BC-01	FOTOS			51.4	
5			Belt Conveyor					
6			One deck Screen					
7			Belt Conveyor					
8		ARE-TRI-01-TAM-01	Chute de almacenamiento					30.5
9	BC-5	ARE-TRI-01-TBA-02	Banda Transportadora BC-05	FOTOS			51.4	
10	BC-6	ARE-TRI-01-TBA-03	Banda Transportadora BC-06	FOTOS			51.4	
11								
12		ARE-TRI-01-ABV-01	Alimentador Ron					
13	BC-2	ARE-TRI-01-TBA-04	Banda Transportadora BC-02	FOTOS			51.4	
14		ARE-TRI-01-CIF-04	Criba Zaranda	FOTOS	PROCESO	123.1		
15		ARE-TRI-01-QQU-02	(Trituradora de Mandubula)	FOTOS			68.1	
16	BC-3	ARE-TRI-01-TBA-05	Banda Transportadora BC-03	FOTOS			51.4	
17	BC-4	ARE-TRI-01-TBA-06	Banda Transportadora BC-04	FOTOS			51.4	
18	P1	ARE-TRI-01-TBA-07	Banda Transportadora P-01	FOTOS			51.4	
19	P2	ARE-TRI-01-TBA-08	Banda Transportadora P-02	FOTOS			51.4	
20	P3	ARE-TRI-01-TBA-09	Banda Transportadora P-03	FOTOS			51.4	

Figura 12. *Lista de equipos críticos por área y código.*

FORMATOS DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Análisis de Criticidad de Nivel 2
Entradas

Código	Descripción del Activo	Consecuencias								Probability (P)	= Criticidad del Activo (R)	Criticidad A (5% de Activos)	Criticidad B (15% de Activos)	Criticidad C (80% de Activos)
		Mantenimiento	Produccion			Seguridad	Clientes							
		Impacto de mantenimiento	Impacto de producción	Detectabilidad	Repuestos	Impacto en seguridad y medio ambiente	Calidad/Cliente	= Valor General de Consecuencias (C)	x			R >= 80	80 > R >= 46	R < 46
		Ponderación	Ponderación			Ponderación	Ponderación					80.0	46.0	
		20.0%	30.0%			25.0%	25.0%	100.0%				0%	23%	77%
	(Ejemplo) TRI-01-QQU-01Trituradora Primaria	6	6	6	8	15	6	10.8		6	64.6		64.6	
AREA-200	MANEJO DE PIEDRA													
ARE-MPI-01-TRE-01	Tolva	2	2	8	4	6	1	3.5		6	20.8			20.8
ARE-MPI-01-VMA-01	Valvula Manual	2	2	6	4	2	1	2.4		2	4.7			4.7
ARE-MPI-01-AVI-01	Alimentador Vibratorio	2	2	6	4	4	2	3.1		6	18.6			18.6
ARE-MPI-01-AVI-02	Alimentador Vibratorio	2	2	6	4	4	2	3.1		6	18.6			18.6
ARE-MPI-01-AVI-03	Alimentador Vibratorio	2	2	6	4	4	2	3.1		6	18.6			18.6
ARE-MPI-01-AVI-04	Alimentador Vibratorio	2	2	6	4	4	2	3.1		6	18.6			18.6
ARE-MPI-01-AVI-05	Alimentador Vibratorio	2	2	6	4	4	2	3.1		6	18.6			18.6
ARE-MPI-01-UHI-01	Unidad Hidraulica	6	2	6	8	6	1	4.4		4	17.6			17.6
ARE-MPI-01-TBA-01	Banda Transportadora	4	2	4	8	6	2	4.1		4	16.5			16.5
ARE-MPI-01-UHI-02	Unidad Hidraulica							0.0						
ARE-MPI-01-TBA-02	Banda Transportadora	4	8	4	6	6	4	8.1		6	48.6		48.6	
ARE-MPI-01-DME-02	Detector de Metales	6	6	6	8	4	6	8.0		6	48.1		48.1	
ARE-MPI-01-CHF-02	Criba Vibratoria	4	6	6	6	6	6	7.8		6	46.6		46.6	
ARE-MPI-01-CPO-01	Colector de Polvos	10	4	6	8	4	2	6.4		4	25.5			25.5
ARE-MPI-01-VCE-01	Ventilador	4	4	6	6	4	2	4.9		6	29.6			29.6
ARE-MPI-01-VRO-01	Valvula Rotatoria	4	4	6	6	4	2	4.9		4	19.8			19.8
ARE-MPI-01-TRE-02	Tolva	4	6	4	1	4	4	5.5		2	11.0			11.0
ARE-MPI-01-TRE-03	Tolva	4	6	4	1	4	4	5.5		2	11.0			11.0
ARE-MPI-01-TRE-04	Tolva	4	6	4	1	4	4	5.5		2	11.0			11.0
ARE-MPI-01-VEL-01	Vibro							0.0						
ARE-MPI-01-VEL-02	Vibro							0.0						
	Valvula Neumatica	4	4	6	6	4	4	5.4		4	21.8			21.8
ARE-MPI-01-VMA-02	Valvula Manual	2	2	4	4	2	2	2.5		4	9.9			9.9
ARE-MPI-01-MRA-01	Manga Retractil							0.0						
ARE-MPI-01-TPE-01	Tolva Pesadora	4	8	6	8	4	6	9.1		6	54.4		54.4	
								0.0						

Figura 13. *Formato de análisis de criticidad para el área de manejo de piedra.*

Análisis de Criticidad de Nivel 2
Entradas

Código	Descripción del Activo	Consecuencias								Probability (P)	Criticidad del Activo (R)	Criticidad A (5% de Activos)	Criticidad B (15% de Activos)	Criticidad C (80% de Activos)
		Mantenimiento	Produccion			Seguridad	Clientes							
		Impacto de mantenimiento	Impacto de producción	Detectabilidad	Repuestos	Impacto en seguridad y medio ambiente	Calidad/Cliente	=	Valor General de Consecuencias (C)			R >= 80	80 > R >= 46	R < 46
		Ponderación	Ponderación			Ponderación	Ponderación					80.0	46.0	
		20.0%	30.0%			25.0%	25.0%		100.0%			8%	75%	17%
	(Ejemplo) TRI-01-QQU-01Trituradora Primaria	6	6	6	8	15	6		10.8	6	64.6		64.6	
AREA-300	HORNO													
ARE-CAL-01-HMZ-01	Horno	2	2	8	4	6	1		3.5	6	20.8			20.8
ARE-CAL-01-SKH-01	Skip	8	8	6	8	15	6		12.6	10	126.1	126.1		
ARE-CAL-01-TRE-01	Tolva (K1000WE)	4	8	6	8	6	6		9.6	8	76.5		76.5	
ARE-CAL-01-AVI-01	Alimentador Vibratorio	2	8	8	6	4	6		8.7	6	52.0		52.0	
ARE-CAL-01-TBA-01	Transportador de Banda	2	10	6	6	6	4		9.5	6	57.0		57.0	
ARE-CAL-01-THE-01	Transportador Helicoidal	2	1	8	6	6	2		3.1	6	18.7			18.7
ARE-CAL-01-TRE-02	Tolva (sh1)	4	8	8	8	15	6		12.3	4	49.2		49.2	
ARE-CAL-01-TRE-03	Tolva (sh2)	4	8	8	8	15	6		12.3	4	49.2		49.2	
ARE-CAL-01-SLO-01	Sopladores (K1001AC)	8	6	6	6	6	8		9.1	6	54.4		54.4	
ARE-CAL-01-SLO-02	Sopladores (K1002AC)	8	6	6	6	6	8		9.1	6	54.4		54.4	
ARE-CAL-01-SLO-03	Sopladores (K1003AC)	8	6	6	6	6	8		9.1	6	54.4		54.4	
ARE-CAL-01-SLO-04	Sopladores (K1004AC)	8	6	6	6	6	8		9.1	6	54.4		54.4	
ARE-CAL-01-SLO-05	Sopladores (K1007AC)	8	6	6	6	6	8		9.1	6	54.4		54.4	
ARE-CAL-01-SLO-06	Sopladores (K1008AC)	8	6	6	6	6	8		9.1	6	54.4		54.4	
ARE-CAL-01-SLO-07	Sopladores (K1009AC1)	8	6	6	6	6	8		9.1	6	54.4		54.4	
ARE-CAL-01-SLO-08	Sopladores (K1009AC2)	8	6	6	6	6	8		9.1	6	54.4		54.4	
ARE-CAL-01-SLO-09	Sopladores (K1016AC)	8	10	6	6	6	8		11.7	6	70.2		70.2	
ARE-CAL-01-SLO-10	Sopladores (K1017AC)	8	10	6	6	6	8		11.7	6	70.2		70.2	
ARE-CAL-01-SLO-11	Sopladores (K1010AC)	8	6	6	6	6	8		9.1	6	54.4		54.4	
ARE-CAL-01-SLO-12	Sopladores (K1011AC)	8	6	6	6	6	8		9.1	6	54.4		54.4	
ARE-CAL-01-SLO-13	Sopladores (K1012AC)	8	6	6	6	6	8		9.1	6	54.4		54.4	
ARE-CAL-01-SLO-14	Sopladores (K1013AC)	8	6	6	6	6	8		9.1	6	54.4		54.4	
ARE-CAL-01-SLO-15	Sopladores (K1646AC)	8	10	6	6	6	8		11.7	6	70.2		70.2	
ARE-CAL-01-SLO-16	Sopladores (K1647AC)	8	10	6	6	6	8		11.7	6	70.2		70.2	
ARE-CAL-01-SLO-17	Sopladores (F1001AC)	8	6	6	6	6	8		9.1	6	54.4		54.4	
ARE-CAL-01-VCE-01	Ventilador (K1700AC)	6	6	6	10	15	6		11.1	8	89.0	89.0		
ARE-CAL-01-CPO-01	Colector	2	6	6	10	15	4		9.8	8	78.6		78.6	
ARE-CAL-01-VCE-02	Ventilador (coque)	4	6	6	6	6	6		7.8	6	46.6		46.6	
ARE-CAL-01-THE-02	Transportador de Gusano (colector)	4	6	6	6	6	4		7.3	6	43.6			43.6
ARE-CAL-01-VRO-01	Valvula Rotatoria inyección coque	4	8	8	2	6	6		8.6	6	51.6		51.6	
ARE-CAL-01-VRO-02	Valvula Rotatoria inyección coque	4	8	8	2	6	6		8.6	6	51.6		51.6	
ARE-CAL-01-BCE-01	Bombas 01	8	4	6	8	6	6		7.5	6	44.9			44.9
ARE-CAL-01-BCE-02	Bombas 02	8	4	6	8	6	6		7.5	6	44.9			44.9
ARE-CAL-01-BCE-03	Bombas 03	8	4	6	8	6	6		7.5	6	44.9			44.9
	Valvula Neumatica													
ARE-CAL-01-TRE-04	Tolva (K1090WE)	4	8	6	8	6	6		9.6	10	95.6	95.6		

Figura 14. *Formato de análisis de criticidad para el área de horno.*

Análisis de Criticidad de Nivel 2
Entradas

Código	Descripción del Activo	Consecuencias								Probability (P)	Criticidad del Activo (R)	Criticidad A (5% de Activos)	Criticidad B (15% de Activos)	Criticidad C (80% de Activos)
		Mantenimiento		Produccion			Seguridad	Clientes						
		Impacto de mantenimiento	+	Impacto de producción	Detectabilidad	Repuestos	+ Impacto en seguridad y medio ambiente	+ Calidad/Cliente	= Valor General de Consecuencias (C)	x	=	R >= 80	80 > R >= 46	R < 46
		Ponderación		Ponderación			Ponderación	Ponderación	100.0%			80.0	46.0	
		20.0%		30.0%			25.0%	25.0%				6%	16%	78%
AREA-400	SISTEMA DE MANEJO DE CAL VIVA													
ARE-MCV-01-AVI-01	Alimentador Vibratorio (descarga horno)	2		4	8	4	6	4	5.5	6	33.2			33.2
ARE-MCV-01-AVI-02	Alimentador Vibratorio (descarga horno)	2		4	8	4	6	4	5.5	6	33.2			33.2
ARE-MCV-01-TVS-01	Charola Vibratoria	4		6	6	6	6	4	7.3	6	43.6			43.6
ARE-MCV-01-PMA-01	Separador Magnetico	2		2	8	4	4	2	3.2	4	12.9			12.9
ARE-MCV-01-TBA-01	Banda Transportadora	4		2	8	6	4	1	3.5	10	34.9			34.9
ARE-MCV-01-MMA-01	Molino de Marillos	4		4	6	10	6	6	6.9	8	55.4		55.4	
ARE-MCV-01-ECA-01	Elevador de Candilones	4		4	6	6	6	1	5.2	6	31.1			31.1
ARE-MCV-01-SIL-01	Silo (2000 toneladas)	2		4	4	1	4	1	3.5	4	13.8			13.8
ARE-MCV-01-VMA-01	Valvula Manual	2		2	6	4	4	1	2.9	4	11.4			11.4
	Valvula Neumatica	2		2	8	4	4	1	3.0	8	23.8			23.8
ARE-MCV-01-MRC-01	Manga Retractil	2		2	8	6	4	1	3.1	10	30.9			30.9
ARE-MCV-01-CPO-01	Colector de Polvos	4		2	6	10	4	1	3.6	10	36.1			36.1
ARE-MCV-01-VRO-01	Valvula Rotatoria	4		2	6	6	2	1	2.9	4	11.5			11.5
ARE-MCV-01-VCE-01	Ventilador Centrifugo	4		2	6	4	2	1	2.8	8	22.0			22.0
ARE-MCV-01-THE-01	Transportador de Gusano	4		2	6	4	2	1	2.8	6	16.5			16.5
ARE-MCV-01-BAS-01	Bascula	4		2	8	10	4	6	5.0	10	49.8		49.8	
ARE-MCV-01-AVI-03	Alimentador Vibratorio													
ARE-MCV-01-ESS-01	Ensacadora	2		4	8	6	6	2	5.3	10	52.8		52.8	
ARE-MCV-01-TBA-01	Banda transportadora rechazo BT-01	4		8	8	6	6	6	9.6	10	95.6	95.6		
ARE-MCV-01-CFI-01	Criba de Funsur	4		8	6	6	6	8	9.6	10	95.8	95.8		
ARE-MCV-01-TBA-02	Banda transportadora rechazo BT-02	4		8	8	6	6	6	9.6	8	76.5		76.5	
ARE-MCV-01-TBA-03	Banda transportadora Funsur BT-03	4		4	6	4	4	6	5.7	10	57.0		57.0	
ARE-MCV-01-TBA-04	Banda transportadora Funsur BT-04	4		4	6	6	6	6	6.4	6	38.6			38.6
ARE-MCV-01-TBA-05	Banda transportadora Recirculacion BT-05	4		4	8	6	4	6	6.2	6	37.1			37.1
ARE-MCV-01-TAM-01	Tolva de Recirculacion	2		2	2	2	4	4	3.2	2	6.5			6.5
ARE-MCV-01-TAM-02	Tolva de Funsur.	2		2	2	2	4	4	3.2	2	6.5			6.5
ARE-MCV-01-THE-02	Transportador de Gusano	4		6	6	1	2	4	5.4	4	21.4			21.4
ARE-MCV-01-THE-03	Transportador de Gusano	4		6	6	1	2	4	5.4	4	21.4			21.4
ARE-MCV-01-SDI-01	Separador dinamico	4		6	6	2	2	4	5.5	8	44.3			44.3
ARE-MCV-01-SDI-02	Separador dinamico	2		6	6	2	2	4	5.1	8	41.1			41.1
ARE-MCV-01-VRO-02	Valvula Rotatoria	2		6	6	6	2	4	5.9	6	35.2			35.2
ARE-MCV-01-THE-04	Transportador de Gusano	4		6	6	1	2	4	5.4	4	21.4			21.4
ARE-MCV-01-THE-05	Transportador de Gusano	4		6	6	1	2	4	5.4	4	21.4			21.4

Figura 15. *Formato de análisis de criticidad para el área de Manejo de cal viva.*

ANALISIS DE CRITICIDAD 2

Entradas

Código	Descripción del Activo	Consecuencias								Probability (P)	Criticidad del Activo (R)	Criticidad A (5% de Activos)	Criticidad B (15% de Activos)	Criticidad C (80% de Activos)
		Mantenimiento	Produccion			Seguridad	Clientes							
		Impacto de mantenimiento	Impacto de producción	Detectabilidad	Repuestos	Impacto en seguridad y medio ambiente	Calidad/Cliente	Valor General de Consecuencias (C)						
		Ponderación	Ponderación			Ponderación	Ponderación	100.0%				R >= 80	80 > R >= 46	R < 46
		20.0%	30.0%			25.0%	25.0%					80.0	46.0	
												4%	9%	87%
	(Ejemplo) TRI-01-QQU-01Trituradora Primaria	6	6	6	8	15	6	10.8		6	64.6		64.6	
AREA-501	MANEJO DE COMBUSTIBLE SOLIDO													
ARE-MCS-01-TRE-1	Tolva recepcion de Coke	2	2	8	4	6	1	3.5		6	20.8			20.8
ARE-MCS-01-VMA-1	Valvula Manual	1	2	6	4	4	1	2.7		4	10.6			10.6
ARE-MCS-01-THE-1	Transportador Helicoidal Area 501	2	6	6	6	4	1	5.6		10	56.1		56.1	
ARE-MCS-01-PMA-1	Separador Magnetico	2	4	8	8	4	4	5.5		2	11.0			11.0
ARE-MCS-01-MMA-1	Molino Willians	6	4	6	6	6	4	6.3		4	25.4			25.4
ARE-MCS-01-CPO-1	Colector de Polvos	6	2	4	8	4	1	3.8		4	15.1			15.1
ARE-MCS-01-VCE-1	Ventilador Centrifugo	4	2	6	6	6	1	3.9		4	15.5			15.5
ARE-MCS-01-VRO-1	Valvula rotatoria	4	2	4	8	6	1	3.9		2	7.7			7.7
ARE-MCS-01-ECA-1	Elevador de Candilones	2	4	4	6	6	4	5.3		4	21.2			21.2
ARE-MCS-01-DVI-1	Diversora	2	1	6	4	6	1	2.8		2	5.5			5.5
	Valvula Neumatica							0.0						
	Valvula Neumatica							0.0						
ARE-MCS-01-SIL-1	Silo	4	4	8	1	4	1	4.3		2	8.7			8.7
ARE-MCS-01-SIL-2	Silo	4	4	8	1	4	1	4.3		2	8.7			8.7
ARE-MCS-01-SIL-3	Silo	4	4	8	1	4	1	4.3		2	8.7			8.7
ARE-MCS-01-CPB-1	Bit Vent	6	6	6	8	6	6	8.5		10	85.2	85.2		
ARE-MCS-01-VMA-2	Valvula Manual	2	2	6	4	4	1	2.9		2	5.7			5.7
ARE-MCS-01-VMA-3	Valvula Manual	2	2	6	4	4	1	2.9		2	5.7			5.7
ARE-MCS-01-VMA-4	Valvula Manual	2	2	6	4	4	1	2.9		2	5.7			5.7
ARE-MCS-01-VMA-5	Valvula Manual	2	2	6	4	4	1	2.9		2	5.7			5.7
ARE-MCS-01-THE-2	Transportador de Gusano	2	4	6	6	4	4	5.0		4	20.2			20.2
ARE-MCS-01-THE-3	Transportador de Gusano	2	4	6	6	4	4	5.0		6	30.2			30.2
ARE-MCS-01-THE-4	Transportador de Gusano	2	2	6	6	4	1	3.0		1	3.0			3.0
ARE-MCS-01-THE-5	Transportador de Gusano	2	4	6	6	4	4	5.0		6	30.2			30.2

Figura 16. *Análisis de criticidad para el área de Manejo de combustible sólido.*

ANALISIS DE CRITICIDAD 2

Entradas

Código	Descripción del Activo	Consecuencias									Probability (P)	= Criticidad del Activo (R)	Criticidad A (5% de Activos)	Criticidad B (15% de Activos)	Criticidad C (80% de Activos)
		Mantenimiento	+	Produccion			+	Seguridad	+	Clientes	=	x							
		Impacto de mantenimiento		Impacto de producción	Detectabilidad	Repuestos		Impacto en seguridad y medio ambiente		Calidad/Cliente	Valor General de Consecuencias (C)						R >= 80	80 > R >= 46	R < 46
		Ponderación		Ponderación				Ponderación		Ponderación	100.0%						80.0	46.0	
		20.0%		30.0%				25.0%		25.0%							15%	15%	69%
AREA-502	PULVERIZADO DE PET COKE										0.0								
	Sistema de Gas inerte										0.0								
ARE-MCS-01-CIC-1	Ciclon	4		6	6	4		6		6	7.4	4	29.6						29.6
ARE-MCS-01-VRO-1	Valvula Rotatoria (alimentación molino ANIVI)	4		6	4	6		4		6	6.9	10	69.0					69.0	
ARE-MCS-01-CPO-1	Colector de Polvos	4		6	4	8		6		6	7.8	2	15.5						15.5
ARE-MCS-01-VCE-1	Ventilador Centrifugo (ventilador principal)	6		6	6	6		4		6	7.7	6	46.0						46.0
ARE-MCS-01-VRO-2	Valvula Rotatoria (descarga de ciclon)	4		6	4	6		2		6	6.4	4	25.6						25.6
ARE-MCS-01-THE-1	Transportador de Gusano (descarga ciclón)	4		6	4	4		4		4	6.0	6	36.2						36.2
ARE-MCS-01-THE-2	Transportador de Gusano (descarga a silo 70 t	4		6	4	4		4		4	6.0	6	36.2						36.2
ARE-MCS-01-TAM-1	Tolva (tolvin)	2		4	8	2		1		2	3.6	4	14.2						14.2
ARE-MCS-01-VRO-3	Valvula Rotatoria (descarga de colector de pol	4		6	4	4		4		6	6.5	4	26.2						26.2
ARE-MCS-01-MPE-3	Molino Pendular	6		8	6	10		30		6	16.4	6	98.6	98.6					
ARE-MCS-01-SDI-1	Separador Dinamico	6		6	6	6		15		6	10.4	6	62.5					62.5	
	Enfridor de Aceite										0.0								
	Bomba de Aceite										0.0								
ARE-MCS-01-VDA-1	Damper										0.0								
ARE-MCS-01-VDA-2	Damper										0.0								
ARE-MCS-01-VDA-3	Damper										0.0								
ARE-MCS-01-VDA-4	Damper										0.0								
ARE-MCS-01-VDA-5	Damper										0.0								
ARE-MCS-01-VCE-2	Ventilador Centrifugo (ventilador colector polvo	6		6	6	6		4		6	7.7	4	30.6						30.6
ARE-MCS-01-QEN-2	Quemador	10		4	8	8		6		6	8.1	10	81.2	81.2					

Figura 17. *Análisis de criticidad para el área de Pulverizado de Pet Coke.*

Análisis de Criticidad de Nivel 2
Entradas

Código	Descripción del Activo	Consecuencias									Probability (P)	Criticidad del Activo (R)	Criticidad A (5% de Activos)	Criticidad B (15% de Activos)	Criticidad C (80% de Activos)
		Mantenimiento		Produccion			Seguridad	Clientes							
		Impacto de mantenimiento	+ Impacto de producción	Detectabilidad	Repuestos	+ Impacto en seguridad y medio ambiente	+ Calidad/Cliente	= Valor General de Consecuencias (C)	x		=				
		Ponderación	Ponderación			Ponderación	Ponderación	100.0%					R >= 80	80 > R >= 46	R < 46
		20.0%	30.0%			25.0%	25.0%						80.0	46.0	
													0%	38%	63%
	ENVASADO														
ARE-EPA-01-THE-01	Transportador Helicoidal (decarga de colector)	2	4	2	4	4	4	4.3			10	43.2			43.2
ARE-EPA-01-MRC-01	Manga Retractil	2	8	4	2	2	8	6.7			10	67.4		67.4	
ARE-EPA-01-BAS-01	Bascula	1	2	1	8	1	20	6.6			4	26.4			26.4
ARE-EPA-01-THE-02	Transportador Helicoidal (decarga de colector)	2	4	2	4	4	4	4.3			10	43.2			43.2
ARE-EPA-01-VRO-01	Valvula rotatoria (descarga de colector de polvos)	4	4	2	4	4	8	5.7			6	34.3			34.3
ARE-EPA-01-VRO-02	Valvula rotatoria (descarga de colector de polvos)	4	4	2	4	4	8	5.7			6	34.3			34.3
ARE-EPA-01-ESS-01	Envasadora 01	2	8	2	4	4	8	7.2			8	57.9		57.9	
ARE-EPA-01-ESS-02	Envasadora 02	2	8	2	4	4	8	7.2			8	57.9		57.9	

Figura 18. *Análisis de criticidad para el área de Envasado.*

Análisis de Criticidad de Nivel 2
Entradas

Código	Descripción del Activo	Consecuencias								Probability (P)	Criticidad del Activo (R)	Criticidad A (5% de Activos)	Criticidad B (15% de Activos)	Criticidad C (80% de Activos)
		enimiento	Produccion			Seguridad	Clientes							
		pacto de tenimiento	+ Impacto de producción	Detectabilidad	Repuestos	+ Impacto en seguridad y medio ambiente	+ Calidad/Cliente	= Valor General de Consecuencias (C)	x					
		nderación	Ponderación			Ponderación	Ponderación					R >= 80	80 > R >= 46	R < 46
		20.0%	30.0%			25.0%	25.0%	100.0%				80.0	46.0	
												18%	35%	47%
	(Ejemplo) TRI-01-QQU-01Trituradora Primaria	6	6	6	8	15	6	10.8		6	64.6		64.6	
AREA-501	PULVERIZADO CAL													
ARE-POX-01-VMA-01	Valvula Manual (descarga de silo)	2	6	8	4	4	4	6.4		10	63.6		63.6	
ARE-POX-01-THE-01	Transportador Helicoidal (alimentación molino ch	4	8	6	6	6	4	8.6		6	51.5		51.5	
ARE-POX-01-VRO-01	Valvula rotatoria (alimentación a molino chino)	4	8	6	6	6	4	8.6		10	85.8	85.8		
ARE-POX-01-TRE-01	Tolva	2	8	4	4	4	4	6.7		4	26.9			26.9
ARE-POX-01-AVI-01	Alimentador Vibratorio							0.0						
	Molino	6	8	8	6	30	8	16.5		10	164.6	164.6		
ARE-POX-01-SDI-01	Separador dinamico	4	8	8	6	15	8	12.3		6	73.9		73.9	
ARE-POX-01-VDA-01	Damper	2	4	4	4	4	4	4.6		4	18.2			18.2
ARE-POX-01-VCE-01	Ventilador Centrifugo (principal)	6	8	8	6	15	8	12.7		6	76.3		76.3	
ARE-POX-01-VDA-02	Damper							0.0						
ARE-POX-01-CIC-01	Cilon	4	8	4	4	6	8	8.6		4	34.5			34.5
ARE-POX-01-VRO-02	Valvula rotatoria (descarga de colector de polvos)	4	8	6	6	6	6	9.1		4	36.3			36.3
ARE-POX-01-THE-02	Transportador Helicoidal (decarga de colector)	4	8	6	6	6	6	9.1		4	36.3			36.3
ARE-POX-01-CPO-01	Colector de Polvos	4	8	8	10	4	6	10.0		8	80.2	80.2		
ARE-POX-01-VCE-02	Ventilador Centrifugo (colector)	6	8	6	6	6	6	9.5		8	75.8		75.8	
ARE-POX-01-VRO-03	Valvula rotatoria							0.0						
ARE-POX-01-ECA-01	Elevador Candilones	4	8	6	6	15	4	10.8		4	43.3			43.3
ARE-POX-01-SIL-01	Silo	4	8	4	4	6	4	7.6		4	30.5			30.5
ARE-POX-01-VMA-02	Valvula Manual							0.0						
ARE-POX-01-THE-03	Transportador Helicoidal (descarga a elevador)	4	8	6	6	6	4	8.6		4	34.3			34.3
ARE-POX-01-MRC-01	Manga Retractil							0.0						

Figura 19. *Análisis de criticidad para el área Pulverizado de cal.*

Análisis de Criticidad de Nivel 2
Entradas

Código	Descripción del Activo	Consecuencias								Probability (P)	Criticidad del Activo (R)	Criticidad A (5% de Activos)	Criticidad B (15% de Activos)	Criticidad C (80% de Activos)
		Mantenimiento		Produccion			Seguridad	Clientes						
		Impacto de mantenimiento	+ Impacto de producción	Detectabilidad	Repuestos	+ Impacto en seguridad y medio ambiente	+ Calidad/Cliente	= Valor General de Consecuencias (C)	x		=	R >= 80	80 > R >= 46	R < 46
		Ponderación	Ponderación			Ponderación	Ponderación	100.0%				80.0	46.0	
		20.0%	30.0%			25.0%	25.0%					0%	33%	67%
CANTERA	EXTRACCION													
ARE-EXT-01-PER-01	Perforadora DX800 (Antigua)	10	6	6	8	1	4	7.6		10	75.7		75.7	
ARE-EXT-01-PER-02	Perforadora DX800 (Nueva)	10	6	6	8	1	4	7.6		6	45.4			45.4
ARE-EXT-01-EXC-01	Excavadoras D2L	10	6	6	8	1	4	7.6		6	45.4			45.4
ARE-EXT-01-EXC-02	Excavadoras Ng	10	6	6	8	1	4	7.6		6	45.4			45.4
ARE-EXT-01-RET-01	Cargador Frontal 980L	10	8	6	8	1	4	9.0		4	36.0			36.0
ARE-EXT-01-CCE-01	Volquete Volvo BBL-901	8	6	6	8	1	4	7.2		8	57.4		57.4	
ARE-EXT-01-CCE-02	Volquete Volvo BBM-726	8	6	6	8	1	4	7.2		8	57.4		57.4	
ARE-EXT-01-CCE-03	Volquete Shacman BFK-897	8	6	6	8	1	4	7.2		10	71.7		71.7	
ARE-EXT-01-CCE-04	Volquete Shacman BFL-802	8	6	6	8	1	4	7.2		10	71.7		71.7	
ARE-EXT-01-VUT-01	Camioneta para ANFO	8	4	6	8	1	4	5.7		8	45.8			45.8

Figura 20. *Análisis de criticidad para el área de Extracción.*

Analisis de Criticidad 2

Entradas

Código	Descripción del Activo	Consecuencias										Probability (P)	Criticidad del Activo (R)	Criticidad A (5% de Activos)	Criticidad B (15% de Activos)	Criticidad C (80% de Activos)
		Mantenimiento		Produccion				Seguridad		Clientes						
		Impacto de mantenimiento	+	Impacto de producción	Detectabilidad	Repuestos	+	Impacto en seguridad y medio ambiente	+	Calidad/Cliente	= Valor General de Consecuencias (C)	x	=	R >= 80	80 > R >= 46	R < 46
		Ponderación		Ponderación				Ponderación		Ponderación	100.0%			80.0	46.0	
		20.0%		30.0%				25.0%		25.0%				6%	76%	18%
CANTERA	TRITURACION PRIMARIO															0.0
ARE-TRI-01-TRE-01	Tolva de Recepcion	2		8	2	4		6		1	6.0	6	35.9			35.9
ARE-TRI-01-AGR-01	Grizzly Feeder 5'X24' (60HP) (Alimentador de grizzly)	6		8	4	4		6		4	8.0	8	64.2		64.2	
ARE-TRI-01-QQU-01	Jaw Crusher 52"X60" (250HP) (Trituradora de Mandubulas	4		8	4	4		15		8	10.9	6	65.2		65.2	
ARE-TRI-01-TBA-01	Banda Transportadora BC-01	4		8	8	6		4		4	8.6	6	51.4		51.4	
	Belt Conveyor										0.0					
	One deck Screen										0.0					
	Belt Conveyor										0.0					
ARE-TRI-01-TAM-01	Chute de almacenamiento	4		8	4	4		6		4	7.6	4	30.5			30.5
ARE-TRI-01-TBA-02	Banda Transportadora BC-05	4		8	8	6		4		4	8.6	6	51.4		51.4	
ARE-TRI-01-TBA-03	Banda Transportadora BC-06	4		8	8	6		4		4	8.6	6	51.4		51.4	
											0.0					
CANTERA	TRITURACION SEGUNDARIO										0.0					
ARE-TRI-01-ABV-01	Alimentador Ron										0.0					
ARE-TRI-01-TBA-04	Banda Transportadora BC-02	4		8	8	6		4		4	8.6	6	51.4		51.4	
ARE-TRI-01-CIF-04	Criba Zaranda	4		8	8	6		15		8	12.3	10	123.1	123.1		
ARE-TRI-01-QQU-02	(Trituradora de Mandubula)	4		8	4	6		15		8	11.4	6	68.1		68.1	
ARE-TRI-01-TBA-05	Banda Transportadora BC-03	4		8	8	6		4		4	8.6	6	51.4		51.4	
ARE-TRI-01-TBA-06	Banda Transportadora BC-04	4		8	8	6		4		4	8.6	6	51.4		51.4	
ARE-TRI-01-TBA-07	Banda Transportadora BC-04	4		8	8	6		4		4	8.6	6	51.4		51.4	
ARE-TRI-01-TBA-08	Banda Transportadora P-01	4		8	8	6		4		4	8.6	6	51.4		51.4	
ARE-TRI-01-TBA-09	Banda Transportadora P-02	4		8	8	6		4		4	8.6	6	51.4		51.4	
ARE-TRI-01-TBA-10	Banda Transportadora P-03	4		8	8	6		4		4	8.6	6	51.4		51.4	
											0.0					

Figura 21. *Análisis de criticidad para el área de Trituración.*

ADMINISTRACIÓN DE SEGURIDAD DE LOS PROCESOS (ASP)
Análisis del Modo de Falla y Efecto (AMFE)

Emisión: Febrero de 2018
Revisión: 2

PROCESO: Calcinación | **EQUIPO: Tolva Pesadora de piedra** | **FECHA: 20/03/2021**

Parte	Componente	Función de diseño	Modo de Falla del componente	Mecanismo de Falla	Causa de la falla	Efectos		Plan de control/ Protecciones Existentes	Determinación				Clasificación de Criticidad	Estrategia de Integridad (Estrategia IPMP)	Tareas de Integridad Mecánica (Tareas IPMP)	Frecuencia de Tareas	Partes de Repuesto	Estrategia de Repuesto	Nueva Determinación				Clasificación de Criticidad	Acciones Propuestas
						Componente	Todo el Sistema/ Proceso		S	P	D	C							S	P	D	C		
Tolva	**Cuerpo**	Deposito para el material	Atascamiento.	1. Exceso de humedad.	Material con lobo.	Daños a largo plazo de tolva.	Paro del horno.	Mantenimiento preventivo MP9. Inspección visual.	4	4	3	48	M	Implementación de mejora a planes de mantenimiento.	Inspección visual.	Cada 3 días	----	----				0	B	
			Deformación general.	1. Abolladura. 2. Corrocion. 3. Erosión.	Material con lodo. Desgaste esperado.	Daños a largo plazo de tolva.	Paro del horno.	Mantenimiento preventivo MP9. Inspección visual.	4	4	3	48	M	Implementación de mejora a planes de mantenimiento.	Inspección visual.	Semanal	----	----				0	B	
			Fuga interna.	1. Corroción. 2. Erosión.	Material con lodo. Desgaste esperado.	Daños a largo plazo de tolva.	Paro del horno.	Mantenimiento preventivo MP9. inspección visual.	4	4	3	48	M	Implementación de mejora a planes de mantenimiento.	Inspección visual.	Semanal	----	----				0	B	
Celdas de carga	**Celdas**	Sostiene la tolva y convierte una magnitud física de peso en señal eléctrica.	Falla de señal.	1. Circuito abierto. 2. Falla de puesta a tierra.	Cables expuestos.	Descontrol de operación del horno, aparición de puntos calientes.	Paro del horno.	Mantenimiento preventivo MP9. Inspección visual.	4	4	4	64	M	Implementación de mejora a planes de mantenimiento.	Inspección visual. Limpieza de celdas de carga y cables.	Semanal		Stock de celdas de carga en almacen				0	B	
			Falla de conexión.	1. Falla de puesta a tierra. 2. Corto circuito. 3. Circuito abierto.	Cables expuestos.	Pérdida de secuencia de carga de piedra al horno.	Paro del horno.	Mantenimiento preventivo MP9. Inspección visual.	4	4	4	64	M	Implementación de mejora a planes de mantenimiento.	Inspección visual. Limpieza de celdas de carga y cables.	Semanal		Stock de celdas de carga en almacen						
			Falla de anclaje.	1. Alineamiento inadecuado. 2. Soltura de pernos.	Rutina de mantenimiento inadecuada.	Daños a celdas de carga. Daños de tolva.	Paro del horno.	Mantenimiento preventivo MP9. Inspección visual.	4	4	4	64	M	Implementación de mejora a planes de mantenimiento.	Inspección visual. Limpieza de celdas de carga y cables.	Semanal		Stock de celdas de carga en almacen				0	B	
			Deformación general.	1. Abolladura. 2. Acumulacion de polvo.	Rutina de mantenimiento inadecuada.	Daños de celdas de carga. Pérdida de secuencia de carga de piedra al horno.	Paro del horno.	Mantenimiento preventivo MP9. Inspección visual.	4	3	2	24	B	Implementación de mejora a planes de mantenimiento.	Inspección visual. Limpieza de celdas de carga y cables.	Semanal		Stock de celdas de carga en almacen				0	B	
	Cableado	Transmisión de señales electricas entre celdas e integrador.	Deformación general.	1. Abolladura.	Cables expuestos.	Pérdida de secuencia de carga de piedra al horno.	Paro del horno.	Mantenimiento preventivo MP9. Inspección visual.	4	4	2	32	M	Implementación de mejora a planes de mantenimiento.	Inspección visual. Limpieza de celdas de carga y cables.	Semanal		Stock de cable em almacén.				0	B	
	Soporteria	Encargada de sujetar las celdas de carga..	Deformación general.	1. Abolladura. 2. Corroción.	Rutina de mantenimiento inadecuada.	Daños de celdas de carga.	Paro del horno.	Mantenimiento preventivo MP9. Inspección visual.	4	4	3	48	M	Implementación de mejora a planes de mantenimiento.	Inspección visual.	Semanal						0	B	
Transmisor de peso	**Integrador de peso**	Procesa la señal eléctrica enviada por las celdas de carga y nos da como resultado un valor numerico de peso.	Lectura anormal en instrumentos.	1. Falla de puesta a tierra. 2. Soltura. 3. Error de calibración.	Instalación inadecuada de equipos. Rutina de mantenimiento inadecuada.	Pérdida de secuencia de carga de piedra al horno.	Paro del horno.	Mantenimiento preventivo MP9. Inspección visual.	4	5	3	60	M	Implementación de mejora a planes de mantenimiento.	Inspección y limpieza.	Semanal						0	B	
			Falla de señal.	1. Falla de puesta a tierra. 2. Circuito abierto.	Instalación inadecuada de equipos. Cables expuestos.	Pérdida de secuencia de carga de piedra al horno.	Paro del horno.	Mantenimiento preventivo MP9. Inspección visual.	4	4	3	48	M	Implementación de mejora a planes de mantenimiento.	Inspección y verificación de señales en coordianción con operador de cuarto de	Quincenal						0	B	
			Falla de conexión.	1. Soltura. 2. Circuito abierto.	Rutina de mantenimiento inadecuada.	Pérdida de secuencia de carga de piedra al horno.	Paro del horno.	Mantenimiento preventivo MP9. Inspección visual.	4	4	3	48	M	Implementación de mejora a planes de mantenimiento.	Inspección y verificación de señales en coordianción con operador de cuarto de	Quincenal						0	B	
			Desviación de parametros.	1. Error de calibración. 2. Ciruito abierto. 3. Soltura.	Rutina de mantenimiento inadecuada. Cables expuestos.	Descontrol de operación del horno, aparición de puntos calientes.	Paro del horno.	Mantenimiento preventivo MP9. Inspección visual.	4	5	3	60	M	Implementación de mejora a planes de mantenimiento.	Plan de calibración de balanza.	mensual						0	B	
			Falla de ajuste.	1. Soltura. 2. Exceso de vibración.	Instalación inadecuada.	Pérdida de secuencia de carga de piedra al horno.	Paro del horno.	Mantenimiento preventivo MP9. Inspección visual.	4	5	3	60	M	Implementación de mejora a planes de mantenimiento.	Inspección visual.	Semanal						0	B	
			Falla de transmisión de señal.	1. Soltura 2. Falla de puesta a tierra. 3. Circuito abierto.	Instalación inadecuada. Cables expuestos.	Pérdida de secuencia de carga de piedra al horno.	Paro del horno.	Mantenimiento preventivo MP9. Inspección visual.	4	5	3	60	M	Implementación de mejora a planes de mantenimiento.	Inspección visual.	7 días						0	B	
	Summing box	Integra las señales electricas de las celdas	Falla de conexión.	1. Soltura. 2. Circuito abierto.	Rutina de mantenimiento inadecuada.	Pérdida de secuencia de carga de piedra al horno.	Paro del horno.	Mantenimiento preventivo MP9. Inspección visual.	4	5	3	60	M	Implementación de mejora a planes de mantenimiento.	Inspección visual.	7 días						0	B	

Figura 22. *Análisis AMFE para la evaluación de equipos en el proceso de extracción.*

CALIDRA SIEMPRE AHÍ	CALIDRA PERU S.A.C.	Revisión: 01 Set-18 Pagina 1 de 2
INSTRUCTIVO PARA LA REALIZACIÒN DE UNA RUTINA DE TAREAS CRITICAS DE MANTENIMIENTO		

Fecha: martes 28 de junio de 2022 Folio:

IDENTIFICACIÓN DE LA NO CONFORMIDAD REAL O POTENCIAL							
TIPO DE ACCIÓN:	X	INSPECCION		PRUEBA	X	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	MANTENIMIENTO PREDICTIVO
PROCESO:	Extraccion		EQUIPO:	Volquete Shacman BFK-897			
PARTE O COMPONENTE	Inspeccion de Soporte Lateral Puerta descarga / Reparacion de Soporte						

INSTRUCCIONES PARA REALIZAR LA TAREA	
REFACCIONES, MATERIALES Y HERRAMIENTAS A UTILIZAR:	
DESCRIPCION	CANTIDAD
Caja de herrramienta para mecanico	1 UND
Nivel de precisión	1 UND
Flexometro de 3 mts	1 UND
Pintura en Spray	1 UND
Maquina de Soldar 220V	1 UND
Electrodos E 6018 supercito	10 kg
Kit liquidos penetrantes	1 kit
Chanferd Cord	2 kg
Plancha de 1/2"	1/2 UND
Disco de corte 4" y 7"	5 UND C/U
Esmeril de 4" y 7"	1 UND C/U
Equipo Oxicorte	1 UND
ANTES DE INICIAR:	
1)Delimitar el area de trabajo	
2)Asegerarse de que no exista personal en el area y utilizar en EPP.	
3)Tramitar IPERC Continuo autorizado y firmado. F1-SEG-PRO-002.	
4)Bloquiar Equipos con Candado y Tarjeta. SEG-EST-001.	
5)Drenar energias peligrosas en el equipo.	
6)Cumpliendo los puntos anteriores el equipo puede ser intervenido.	
PROCEDIMIENTO INSPECCION DE SOPORTES LATERALES COMPUERTA DE DESCARGA	
1)Levantar la cabina de volquete y levantar Tolva	
2)Realizar la limpieza con agua de toda el area a inspecionar(Soporte puerta).	
3)Revisar coordones de soldadura de todo el soporte.	
4)Revisar si se encuentra arquedo el soporte con el apoyo de reglas o nivel precicion.	
5)Anotar las lecturas tomadas o medidas reguistradas.	
6)Inpecionar el interior de estructura de chasis de tolva.	
7)Revisas golpes y posibles fisuras de encontrar marcarlas con spray, reportar para su programacion.	
PROCEDIMIENTO REPARACION DE SOPORTE	
1)Realizar la desconeccion de bateria y sensores de la computadora.	
2)Inspecionar la zona donde se encuentre fractura/fisura.	
3)Realizar prueba liquidos penetrantes para revisar el tamaño de la fisura.	
4)Determionada la fisura realizar la socabacion de la fisura para proceder a soldar.	
5)Proceder a realizar el soldeo con proceso smaw.	
6)Comcluido la soldadura realizar prueba liquidos penetrantes.	
6)culminada la reparacicion pintar el area trabajada para preservar ante la corrocion	
AL TERMINAR	
1)Verificar que partes del equipo se encuentren conectadas.	
2)Verificar que no exista personal espuesto alrededor del equipo para realizar pruebas de levante.	
3)Desmontar equipo de etiquetado y bloqueo para habilitar fuente de energia.	
4)Realizar prueba de arranque para monitoreo de funcionamiento.	
5)Notificar al personal encargado que el mantto a sido realizado.	

RESPONSABLE DE LA EJECUCIÓN	RESPONSABLE DE VERIFICAR EL TRABAJO
TECNICO MECANICO	Supervisor de Mantenimiento

CONSIDERACIONES ESPECIALES
1.Anotar medida tomadas de la inclinacion de soportes

REGISTROS DE RESULTADOS		
No.	CRITERIO / VARIABLE	VALOR DE ACEPTACIÓN
1		
2		
3		
4		
5		

ACCIONES DERIVADAS DEL MANTENIMIENTO		
CRITERIO QUE DETONA LA ACTIVIDAD	ACTIVIDAD	RESPONSABLE DE EJECUCION

Figura 23. *Procedimiento detallado para la elaboración de instructivo en mantenimiento predictivo.*

a) Indicadores de mantenimiento

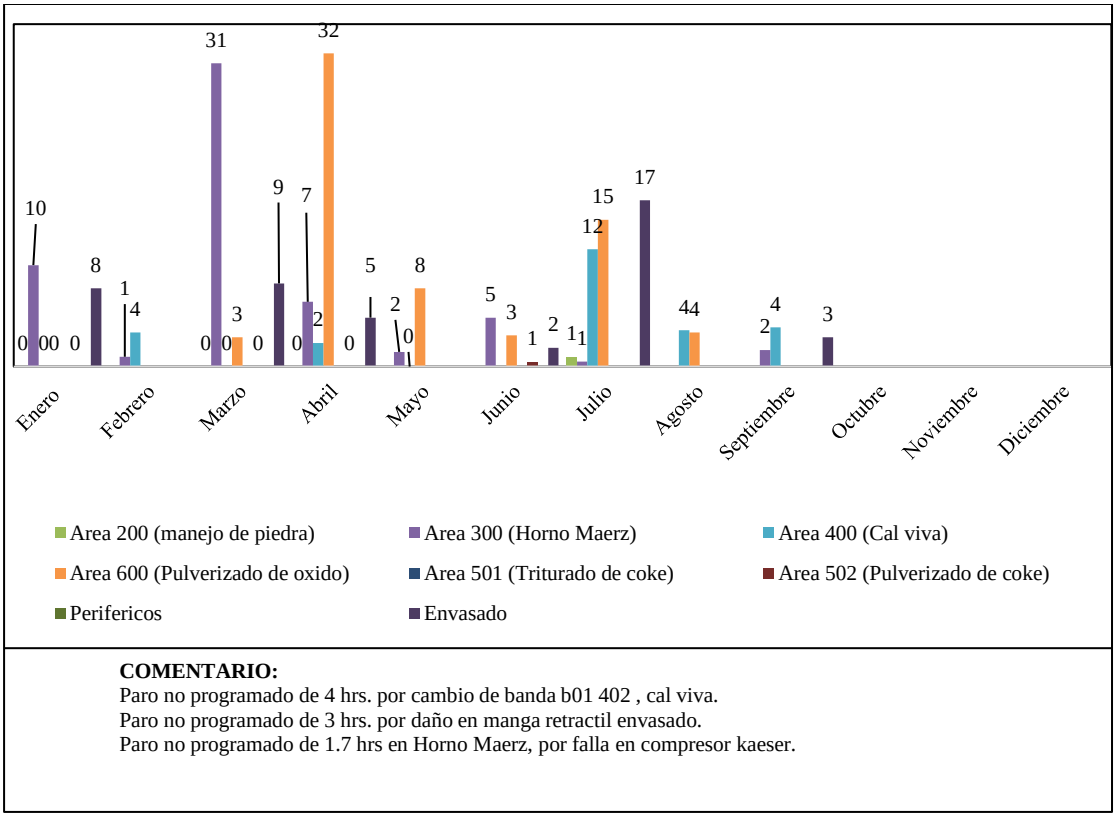


Figura 24. *Horas de paro no programado por área y mes (2023).*

En la figura se detallan los indicadores de las horas de paros no programados por meses en el año 2023. Donde se puede identificar con colores las respectivas áreas donde ocurrió el paro y cuántas horas estuvo parada el área, las horas de paro son acumulativas en el periodo de un mes.

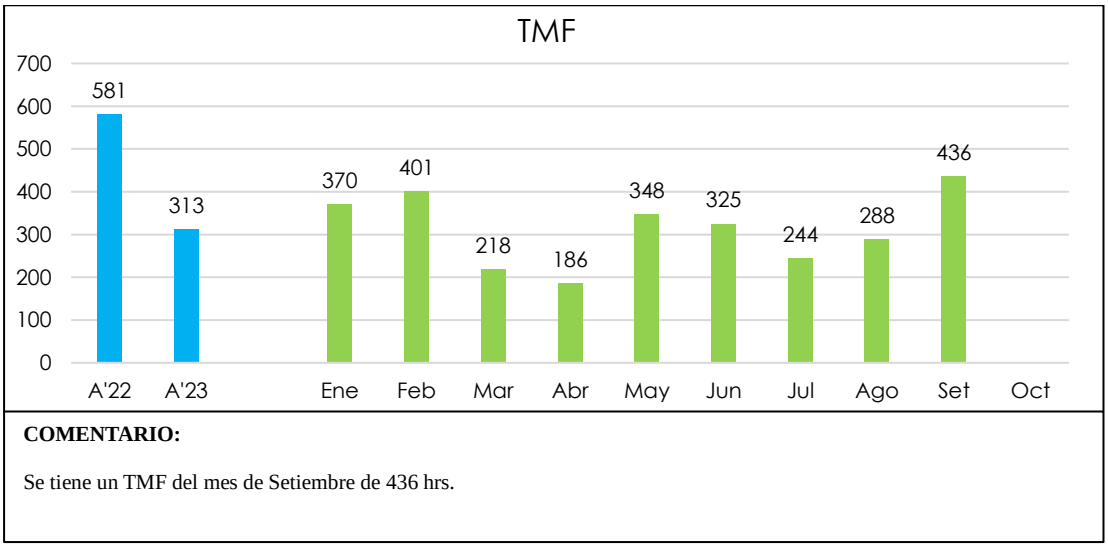
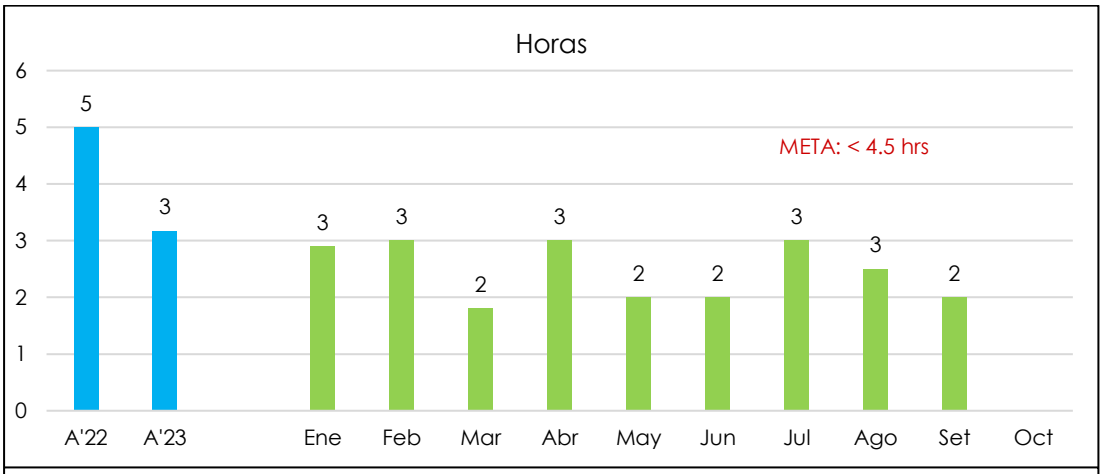


Figura 25. *Indicador de tiempo medio entre fallas para el año 2023.*

La figura detalla en tiempo medio entre fallas (TMF acumulado que se tuvo en los meses del año 2023 en comparación con el TMF del año 2022.

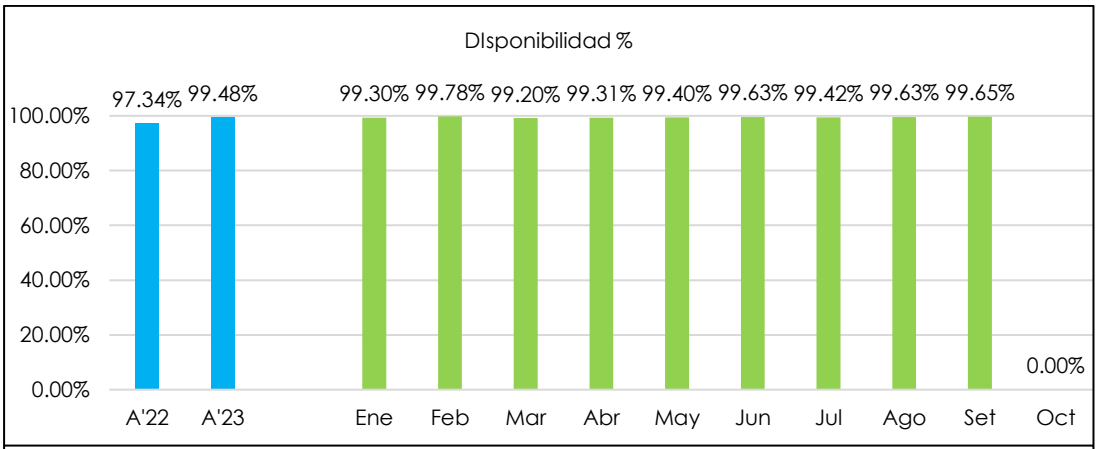


COMENTARIO:

- El TMR (Tiempo medio por reparación), es de **4 horas** en el caso de tecnico MECANICO por actividades en paros programados, no programados y cambio de componentes.
- El TMR (Tiempo medio por reparación), es de 1 **horas** en el caso de tecnico ELECTRICISTA por actividades en paros programados, no programados y cambio de componentes.
- El TMR (Tiempo medio por reparación), es de **1 horas** en el caso de tecnico INSTRUMENTISTA.

Figura 26. *Indicador de tiempo medio para la reparación del año 2023.*

La figura detalla el tiempo medio entre fallas acumulado en el mes, teniendo una meta a no superar de 4.5 horas por mes, donde se puede realizar la comparación con el tiempo medio entre fallas del 2022.



COMENTARIO:

Se tiene una media en la disponibilidad global de activos de **99.48 %**

Figura 27. *Indicador de disponibilidad general de la planta año 2023.*

De la figura se observa la disponibilidad general de la planta de forma mensual para realizar su respectivo control, así como poder evaluar la disponibilidad del último año que se tuvo.

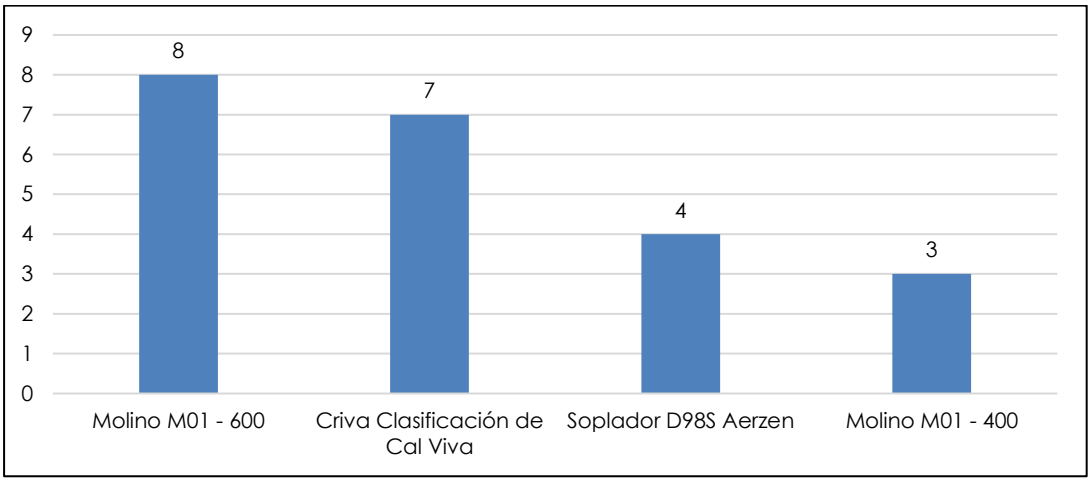


Figura 28. *Indicador de equipos con más eventos correctivos (Malos Antores).*

En la figura se observan los malos actores equipos que tuvieron mayor cantidad de paros no programados, acumulados en el 2023.

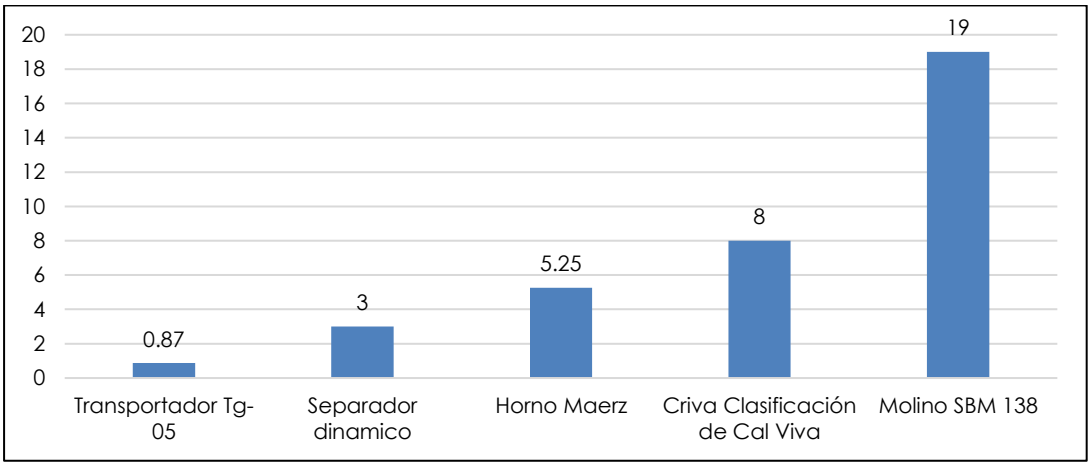


Figura 29. *Indicador equipo con más tiempo de paro.*

En la figura se observan los equipos que tuvieron una mayor cantidad de horas.

4.2 Aspectos técnicos de las actividades profesionales

4.2.1 Análisis previo y evaluación de la metodología propuesta

Antes de implementar la metodología de gestión de Integridad Mecánica (IM) se realizó un análisis exhaustivo del funcionamiento de la planta en cada uno de sus procesos principales. El

análisis permitió identificar las oportunidades de mejora y evaluar cómo las metodologías seleccionadas contribuirían a optimizar el desempeño de los equipos. A continuación, se detalla la evaluación realizada para cada proceso:

- Manejo de Piedra (Área 200):

Se evaluó el sistema de transporte y acopio de la materia prima, identificando cuellos de botella y fallas recurrentes. La metodología IM se propuso para implementar un sistema de monitoreo preventivo que reduzca los tiempos de inactividad.

- Calcinación en el Horno Maerz (Área 300):

Se llevó a cabo un análisis de la eficiencia térmica del horno, así como de su influencia en la calidad del producto final. Para mejorar la confiabilidad del equipo, se propuso la utilización de indicadores clave como el Tiempo Medio entre Fallas (MTBF) y el Tiempo Medio de Reparación (MTTR).

- Manejo de Cal Viva (Área 400):

Este proceso demandaba una clasificación precisa de la cal según sus dimensiones y especificaciones técnicas. Por ello, se priorizó la implementación de procedimientos estandarizados y la capacitación del personal para garantizar su correcta ejecución.

- Pulverizado de cal (Área 600):

En esta fase, se realizó una evaluación detallada del desgaste en los molinos pendulares. Se recomendó aplicar un análisis de criticidad para identificar los componentes clave que requieren mantenimiento preventivo.

- Envasado y distribución:

Se analizó la logística asociada al envasado y despacho de la cal en súper sacos y bombonas. El objetivo fue garantizar que los equipos utilizados cumplieran con las especificaciones necesarias para operar sin interrupciones.

Este análisis inicial asegura que la metodología planteada sea apropiada y eficaz para enfrentar los retos particulares de cada proceso en la planta, impulsando mejoras significativas en la gestión operativa y el mantenimiento de los equipos.

4.2.2 Metodologías

Descripción de secuencias de pasos como se realizó el trabajo:

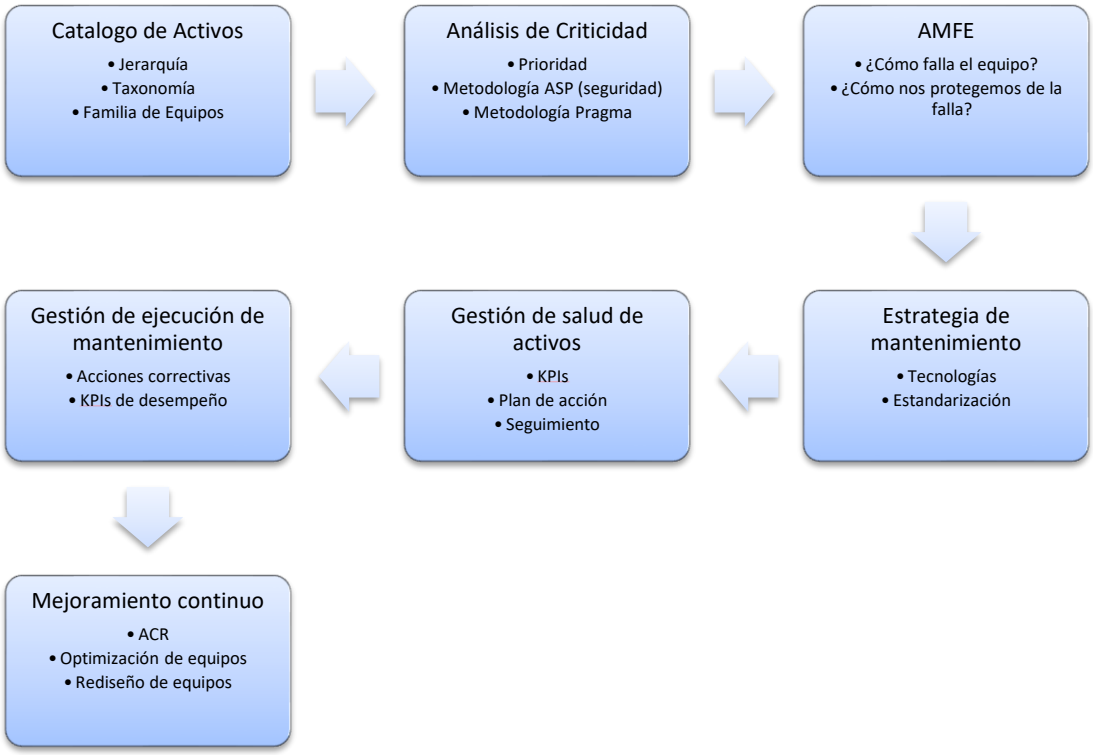


Figura 30. *Proceso de implementación de estrategias de mantenimiento en la Planta Calidra.*

4.2.3 Instrumentos

Tabla 17. Lista de instrumentos utilizados en la aplicación de Mantenimiento Industrial (IM).

N°	Equipo material	Cant.	Unidad	Costo Unitario	Costo	Observaciones
1	Vernier (mitutoyo)	01	Unidad	S/. 800	S/.800	Preccion en medicion,
2	Micrometro (mitutoyo)	01	Unidad	S/.600	S/.600	Preccion en medicion,
3	Galgas comparadoras	01	Unidad	S/.180	S/.180	Preccion en medicion,
4	Multimetro Diguital	01	Unidad	S/.900	S/.900	Preccion en medicion,
5	Pinzas Amperimetricas	01	Unidad	S/.1200	S/.1200	Preccion en medicion,
6	Flexometro 8 mts	01	Unidad	S/.120	S/.120	Preccion en medicion,

Figura 31. *Vernier (Mitutoyo).*

Figura 32. *Micrometro (Mitutoyo).*

Figura 33. *Galgas comparadoras.*

Figura 34. *Multímetro digital.*

Figura 35. *Pinzas Amperimétricas.*

Figura 36. *Flexómetro 8 mts.*

Tabla 18. Equipos y materiales utilizados en el desarrollo de las actividades.

N°	Equipo material	Cant.	Unidad	Costo Unitario	Costo	Observaciones
1	Equipo de cómputo/ laptop	01	Unidad	S/. 8000	S/.8000	Equipo de computo otorgado por la empresa.
2	Impresora multifuncional	01	Unidad	S/. 3000	S/. 3000	Equipo para impreciones, escaner y copias.
3	Dispositivos almacenamiento	01	Unidad	S/. 80	S/. 80	Memoria USB de 32 GB
4	Celular cámara fotografica	00	---	---	---	No Aplica
5	Útiles de esritorio	01	Unidad	S/. 100	S/. 100	Utiles otorgados por la empresa.

Tabla 19. Listado de materiales y equipos utilizados para las actividades de mantenimiento.

N°	Formato	Cantidad	Observacione
1	Form. Generacion Tag	20 unidades	Recopilar informacion
2	Form. Analisis criticidad	20 unidades	Recopilar informacion
3	Form. Generacion AMFE	20 unidades	Recopilar informacion
4	Form. Generacion de KPI s	6 unidades	Generar indicador

4.3 Ejecución de las actividades profesionales

4.3.1 Cronograma de actividades realizadas

Figura 37. *Cronograma de ejecución de actividades profesionales en la Planta Calidra.*

4.3.2 Proceso y secuencia operativa de las actividades profesionales

Las implementaciones que se realizó se pueden apreciar en los siguientes recuadros donde se recopila la información que se ido evaluando.

Descripción de secuencias de pasos como se realizó el trabajo.

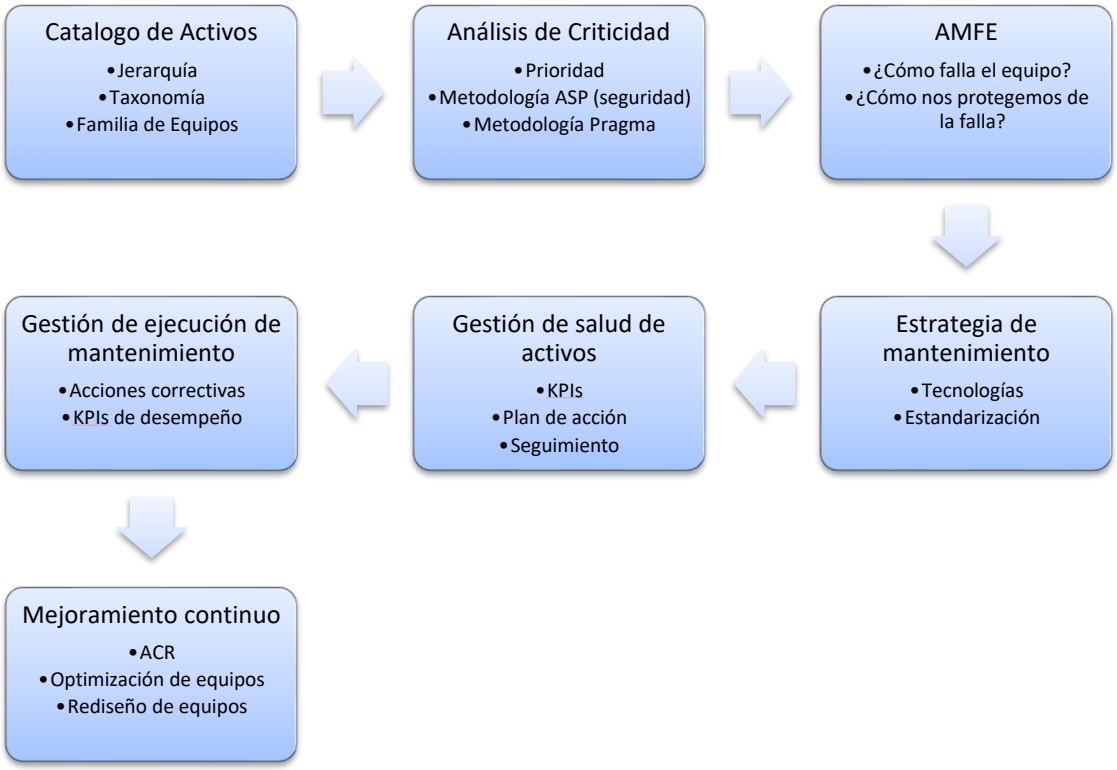


Figura 38. *Flujo de implementación de estrategias de gestión y mantenimiento en la Planta Calidra.*

CAPÍTULO V

RESULTADOS

Desde la perspectiva de la empresa, el departamento de mantenimiento tiene como misión principal asegurar el correcto funcionamiento de los equipos, lo que se traduce en una producción eficiente y libre de interrupciones no programadas. Esto, a su vez, aumenta la confiabilidad de los equipos y optimiza el rendimiento general de la planta.

5.1 Resultados finales de las actividades

A través de las actividades realizadas, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Evaluación de maquinaria y equipos:

Se logró realizar una evaluación exhaustiva de la maquinaria y equipos de Calidra Perú, utilizando las tablas de estimación desarrolladas. Estas herramientas facilitaron la implementación de un método estructurado para la evaluación de los equipos en planta y cantera.

- Actualización de códigos y registro de nuevos equipos:

Se realizó la actualización de los códigos de los equipos en la planta, incorporando también aquellos que no estaban considerados en el proyecto inicial. De esa manera, facilitó una codificación uniforme y una gestión más eficiente de los activos.

- Creación de una lista de equipos críticos:

Se elaboró una lista detallada de equipos críticos, complementada con un sistema de gestión de suministros y repuestos en almacén, lo que garantiza la disponibilidad inmediata para tareas de mantenimiento preventivo y correctivo.

- Detección de equipos con mayor frecuencia de fallas:

Se identificaron los equipos con mayor incidencia de fallas, denominados "Malos Actores", y se incluyeron como un indicador clave en los reportes periódicos, tanto mensuales como anuales, el cual permitió un monitoreo constante y la implementación de medidas correctivas más efectivas.

- Elaboración de instructivos para equipos críticos:

Se desarrollaron guías específicas para los equipos considerados más críticos, lo que ayudó a estandarizar los procedimientos y a capacitar al personal en su operación y mantenimiento.

5.2 Logros alcanzados

Entre los principales logros alcanzados se destaca la incorporación de KPIs.

El establecimiento de objetivos específicos y medibles facilitó la obtención de resultados significativos, entre los cuales sobresale la implementación de indicadores clave de desempeño (KPIs). Los indicadores se utilizaron para monitorear el rendimiento del equipo de mantenimiento y evaluar la disponibilidad de la maquinaria y los equipos de trabajo. Esta estrategia permitió alinear a toda la organización hacia una meta común, promoviendo una mayor eficiencia en las operaciones.

Luego de analizar los parámetros actuales de mantenimiento de la maquinaria, equipos móviles y equipos de planta, se identificaron tendencias importantes que incluyeron la detección de "Malos Actores" y la adopción de prácticas de mantenimiento más efectivas. Entre los principales resultados se encuentran:

- Proporción de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo.
- Identificación y análisis de fallas recurrentes y "Malos Actores" según su impacto y frecuencia.
- Indicadores de Tiempo Medio de Reparación (TMR) y Tiempo Medio entre Fallas (TMEF).
- Porcentaje de disponibilidad de equipos y Eficiencia General de los Grupos (EGG).
- Estado de las medidas preventivas y correctivas implementadas tras investigaciones de incidentes y fallas.

Los logros evidenciaron la efectividad de los KPIs para optimizar la gestión del mantenimiento y promover la mejora continua en los procesos.

5.2.1 Logros del plan te mantenimiento

La presente investigación tuvo como propósito general desarrollar un plan de mantenimiento preventivo para optimizar la disponibilidad y la confiabilidad de los equipos en el proceso productivo de Calidra Perú.

El estudio comenzó con un análisis de la situación actual del mantenimiento realizado en las maquinarias móviles y equipos de la planta.

Posteriormente, se llevó a cabo un análisis de criticidad, determinando los equipos que pararían el proceso productivo como equipos críticos. Después, se formuló el plan de mantenimiento preventivo siguiendo la metodología IM. Se realizó la elaboración de AMFE y se evaluó la simulación de todos los equipos críticos del área de producción. Los hallazgos alcanzados demuestran que la mejora del plan de mantenimiento programado está generando una correcta duración de los equipos.

- Se logró identificar los equipos (malos actores).
- Se redujeron los tiempos de paro en los equipos críticos.
- Se logró instructivos de los equipos más críticos para intervención.

5.3 Dificultades encontradas

Las complicaciones detectadas durante la implementación de la metodología de integridad mecánica incluyeron inicialmente el conocimiento del ritmo de ejecución de las rutinas de mantenimiento y la evaluación de fallas en las programaciones existentes en el software MP-9 que controla el mantenimiento. A ello, se sumó el desafío de recopilar información histórica sobre los equipos críticos, identificando aquellos con mayor incidencia de fallas desde el inicio de operaciones de la planta. El proceso requirió inspecciones detalladas dentro del tiempo laboral disponible, lo que añadió una capa de complejidad al desarrollo de las actividades.

Adicionalmente, se presentaron limitaciones relacionadas con los recursos, especialmente en la adquisición de equipos de medición avanzados, como una cámara termográfica. La falta de herramientas adecuadas retrasó inicialmente la optimización de los tiempos de evaluación y afectó la precisión de las mediciones. Estas limitaciones evidencian la necesidad de planificar inversiones estratégicas en tecnología y equipos clave. Asimismo, la disponibilidad de personal capacitado para implementar metodologías avanzadas y realizar diagnósticos precisos representó otro desafío importante. El estudio refuerza la importancia de establecer programas de capacitación continua para el equipo técnico y de mantenimiento.

5.4 Planteamiento de mejoras

Las mejoras planteadas se enfocaron en fortalecer áreas clave de operaciones y mantenimiento, mostrando cómo superar las dificultades identificadas. En el área de operaciones, las actividades propuestas buscan optimizar el proceso de producción de la cal, reduciendo

significativamente los paros no programados; incluyendo estrategias específicas para evitar pérdidas en la calidad de los productos, como el óxido de cal, a través de una mayor supervisión y control de los equipos críticos.

En el departamento de mantenimiento, las mejoras se centran en la optimización del software MP-9 para ajustar las programaciones de mantenimiento. El ajuste permitirá una mejor distribución del tiempo, priorizando los equipos críticos en cada área mientras se reduce la atención innecesaria a equipos no críticos. Adicionalmente, se propone fortalecer la metodología mediante la integración de tecnologías emergentes, como sensores IoT y análisis predictivos, que permitan anticipar fallas y minimizar tiempos de inactividad.

5.4.1 Consideraciones futuras

Para garantizar el éxito a largo plazo de la implementación de la metodología de integridad mecánica, es esencial abordar las limitaciones actuales mediante acciones complementarias. La optimización de recursos se enfocará en priorizar inversiones en herramientas avanzadas y equipos críticos, maximizando su impacto en la confiabilidad operativa. Paralelamente, será clave establecer programas continuos de capacitación del personal en el uso de tecnologías avanzadas y análisis predictivos, mejorando la eficiencia en las rutinas de mantenimiento. Además, la automatización de procesos mediante sistemas digitales ayudará a recopilar datos y monitorear en tiempo real, reduciendo la dependencia de inspecciones manuales y optimizando los tiempos de intervención. Por último, se propone ampliar el enfoque metodológico mediante la implementación de técnicas como gemelos digitales y análisis AMFE en todas las áreas de producción, lo que incrementará la cobertura y el impacto de la metodología. Las referidas acciones asegurarán no solo la resolución de los desafíos actuales, sino también la mejora continua de los procesos de mantenimiento y producción, alineando la planta con los estándares más avanzados de innovación y eficiencia operativa.

5.4.2 Metodologías propuestas

La metodología propuesta tiene como propósito principal asegurar la conservación y el mantenimiento eficiente de las instalaciones, equipos estáticos y móviles, garantizando su funcionalidad y prolongando su vida útil. Este enfoque prioriza la seguridad, la sostenibilidad y la eficiencia operativa, adaptándose a las necesidades específicas de los procesos productivos.

- Equipo crítico: los equipos críticos son aquellos sistemas, maquinarias y componentes que manejan materiales o energías peligrosas, cuyo fallo podría ocasionar eventos de alto impacto, como incendios, explosiones o liberación de sustancias nocivas. Estas

situaciones representan riesgos significativos para el personal, las instalaciones y el entorno, por lo que su monitoreo y mantenimiento son fundamentales para prevenir incidentes graves.

- Especificaciones técnicas: este aspecto incluye la creación de documentos técnicos detallados que describen las características necesarias para la adquisición de equipos, materiales y repuestos. Las especificaciones también abarcan requerimientos sobre embalaje, conservación, almacenamiento y etiquetado, así como los procedimientos para garantizar la calidad de los recursos adquiridos.
- Confiabilidad: se basa en un proceso estructurado para identificar y corregir defectos en el diseño de equipos, procedimientos de mantenimiento y sistemas de gestión. Mediante el análisis de datos históricos y patrones de fallas, se reduce la frecuencia de los problemas, mejorando el desempeño de los equipos y garantizando su operación dentro de parámetros seguros.
- Inspecciones y pruebas: estas actividades son esenciales para evaluar las características y el estado de los equipos sin alterarlos permanentemente. Su finalidad es detectar y analizar defectos potenciales, permitiendo tomar medidas correctivas antes de que se conviertan en fallas críticas.
- Mantenimiento preventivo: consiste en actividades planificadas basadas en inspecciones y recomendaciones para preservar la funcionalidad de los equipos críticos. Este tipo de mantenimiento previene fallas inesperadas, garantizando que los equipos operen dentro de los límites establecidos durante toda su vida útil.
- Mantenimiento predictivo: este enfoque se basa en la evaluación del desempeño y las condiciones actuales de los equipos críticos mediante inspecciones y mediciones. Las actividades predictivas se integran a los programas de confiabilidad, permitiendo intervenciones oportunas y reduciendo tiempos de inactividad.

La metodología planteada se apoya en principios reconocidos para la gestión de mantenimiento, como la Integridad Mecánica (IM). A través de técnicas como el análisis de criticidad y los AMFE, se prioriza la gestión adecuada de los equipos críticos. La combinación de estrategias preventivas y predictivas asegura la disponibilidad de los equipos, disminuye la probabilidad de fallas inesperadas y mejora la eficiencia operativa. Esta metodología responde a las demandas específicas de la planta, brindando soluciones sostenibles y alineadas con los objetivos organizacionales.

5.4.3 Descripción de la implementación.

La metodología de Integridad Mecánica consta de los siguientes pasos:

- La estandarización de los equipos de línea del proceso con los de otras unidades del Grupo Calidra asegura una codificación homogénea, lo que facilita la identificación de equipos similares en distintas plantas; optimizando la gestión de inventarios y repuestos tanto a nivel local como internacional, permitiendo una respuesta más ágil ante necesidades operativas.
- A través de reuniones con los equipos de operaciones, seguridad y mantenimiento, se llevó a cabo la identificación de los equipos considerados críticos, determinando su nivel de criticidad de acuerdo con los lineamientos de la norma ISO 14442. Este proceso facilitó la asignación eficiente de recursos y la elaboración de estrategias destinadas a mitigar los riesgos asociados a posibles fallas en los equipos más importantes del proceso productivo.
- Durante la etapa inicial de implementación, se aplicó el Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMFE) para realizar un estudio detallado de los equipos críticos, evaluándolos componente por componente. El análisis permitió detectar oportunidades específicas de mejora, que se abordaron mediante la elaboración de nuevos instructivos (procedimientos) o mediante la optimización de los planes de mantenimiento previamente establecidos.
- Tras implementar las mejoras propuestas, se llevó a cabo un seguimiento y evaluación del desempeño de los equipos críticos utilizando indicadores clave de desempeño (KPIs); los cuales brindaron información precisa sobre el estado de los equipos, ayudando a evaluar el impacto de las acciones realizadas y fomentando un proceso continuo de mejora.

5.4.4 Impacto en el costo de producción

Se tubo una reducción en los tiempos de paro en planta e impacto en el costo por hora de la producción, reduciendo los paros no programados se logró tener una producción constante.

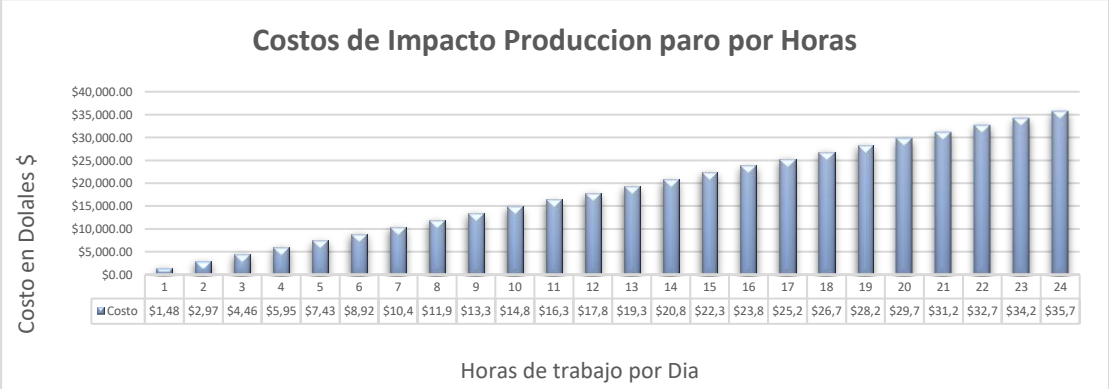


Figura 39. *Costos de impacto producción paro por horas.*

5.5 Discusión de resultados

5.5.1 Aporte del bachiller en la empresa

Se llevó a cabo una gestión y evaluación integral en todas las áreas de producción, identificando oportunidades de mejora y optimización en los equipos y procesos críticos. Estas acciones fueron clave para garantizar la continuidad operativa y la eficiencia en la planta:

- Área de Manejo de Materiales (Área 200):

Se realizó una evaluación detallada de los sistemas de transporte, incluyendo bandas transportadoras, vibros de descarga y cribas vibratorias. El análisis permitió identificar puntos de desgaste y posibles mejoras para reducir tiempos de inactividad y mejorar el flujo de materiales.

- Área de Combustible Sólido y Pulverizado de Coke (Áreas 500 y 501)

Se inspeccionaron equipos clave como las bandas transportadoras, transportadores helicoidales, elevadores de candilones y el molino pendular ANIVI. Las evaluaciones ayudaron a detectar fallas recurrentes y a establecer planes de mantenimiento preventivo, mejorando la confiabilidad de estos sistemas críticos.

- Área de Calcinación (Área 300):

En el Área de Calcinación, donde se lleva a cabo el proceso de quema de piedra para obtener el producto final, se evaluaron los sellos del horno. Como parte de las mejoras, se reemplazó un sello de asbesto por un sello de caucho siliconado, lo que no solo incrementó la eficiencia térmica del horno, sino que también mejoró las condiciones de seguridad y mantenimiento.

- Área de Clasificación (Área 400):

Se implementó un sistema más eficiente para la clasificación del mineral, lo que redujo significativamente la polución y los paros no programados en el área. El cambio mejoró la calidad del ambiente de trabajo y optimizó los tiempos de producción.

- Área de Pulverizado de cal (Área 600):

Se realizó una evaluación exhaustiva del molino pendular MTW, llevando a cabo un mantenimiento preventivo extenso; el cual permitió mejorar la producción y disminuir los paros en el equipo, asegurando su desempeño continuo y sostenible.

- Análisis de fallas y gestión correctiva:

Se registraron y analizaron las fallas recurrentes de carácter correctivo en conjunto con el equipo de mantenimiento; los cuales incluyeron una revisión exhaustiva de los componentes involucrados, permitiendo identificar causas raíz y aplicar soluciones efectivas.

Las inspecciones y tareas de mantenimiento llevadas a cabo en las áreas clave de la planta fueron cruciales para asegurar la operatividad continua, minimizar interrupciones imprevistas y maximizar la eficiencia en la producción. Mejoras específicas, como la sustitución del sello en el horno de calcinación y el mantenimiento preventivo de los molinos pendulares, han incrementado notablemente la confiabilidad y prolongado la vida útil de los equipos. Estas medidas, basadas en un análisis técnico riguroso, reflejan el compromiso con la optimización constante y la sostenibilidad operativa.

CONCLUSIONES

Se logró realizar una evaluación exhaustiva de la maquinaria y equipos de Calidra Perú mediante el uso de tablas de estimación y metodologías avanzadas. La actividad permitió no solo identificar el estado actual y las necesidades específicas de cada equipo, sino también establecer una base sólida para su monitoreo continuo, optimizando los procesos operativos en la planta.

La actualización de los códigos de los equipos, incluyendo aquellos incorporados en proyectos recientes, ha establecido un sistema de identificación uniforme y funcional. La estandarización simplifica la trazabilidad y la gestión de activos, permitiendo consolidar el inventario y las actividades de mantenimiento en una plataforma integrada. Este progreso no solo optimiza las operaciones internas, sino que también impulsa la adopción de estándares internacionales en la gestión de activos, favoreciendo la modernización de los procesos industriales.

Se logró una evaluación detallada de todos los equipos en la planta y la cantera, lo que permitió clasificar y priorizar sus necesidades de mantenimiento. Este nivel de detalle asegura que cada equipo reciba los recursos adecuados en función de su criticidad, maximizando la disponibilidad operativa y reduciendo los costos relacionados con mantenimientos correctivos. Además, el enfoque aplicado impulsa la confiabilidad de los equipos, promoviendo un modelo de gestión alineado con la metodología de integridad mecánica.

La elaboración de una lista de equipos críticos, junto con la implementación de un sistema eficiente de abastecimiento de repuestos en el almacén, marca un avance significativo hacia la sostenibilidad operativa; asegurando la disponibilidad continua de componentes clave y minimiza los tiempos de inactividad provocados por fallas inesperadas. Este enfoque no solo incrementa la capacidad de respuesta ante emergencias, sino que también garantiza la continuidad de las operaciones, lo que resulta esencial en el contexto de la industria moderna.

Se detectaron los equipos con mayor recurrencia de fallas, denominados "Malos Actores", y se establecieron indicadores clave de desempeño para supervisar su estado de forma continua. La metodología permitió dirigir las acciones de mantenimiento hacia los equipos más críticos, optimizando la asignación de recursos y fortaleciendo la confiabilidad general de la planta. Asimismo, la práctica impulsa un enfoque de mantenimiento fundamentado en el análisis de datos, alineándose con las innovaciones propias de la industria 4.0.

Se elaboraron instructivos específicos para los equipos más críticos, diseñados para garantizar su operación y mantenimiento bajo procedimientos estandarizados y efectivos. Los documentos

elaborados no solo fortalecen la formación del personal, sino que también ayudan a minimizar errores humanos, asegurando consistencia en la operación de los equipos. El avance tiene un impacto directo en la seguridad en el lugar de trabajo y en la preservación de los activos industriales.

Los resultados alcanzados en este estudio no solo responden a las necesidades inmediatas de la planta Calidra Perú, sino que también constituyen un avance destacado en la adopción de la integridad mecánica en el ámbito industrial. La estandarización de procesos, la optimización en la gestión de activos críticos y la disminución de los tiempos de inactividad establecen un modelo que puede ser implementado en otras operaciones similares. Además, la alineación con normativas internacionales como la ISO 14224 fortalece la aplicabilidad de estas prácticas en escenarios industriales más amplios, representando un paso clave hacia la eficiencia y sostenibilidad en el mantenimiento de equipos.

RECOMENDACIONES

Se identificó que el personal de mantenimiento y operación carece de formación en metodologías actualizadas de integridad mecánica y en el manejo de instrumentos de medición avanzados, lo cual limita su capacidad para identificar y corregir fallas en equipos críticos de manera eficiente. Para abordar esta situación, se recomienda implementar un programa integral de capacitación que combine talleres prácticos y teóricos, enfocados en la adopción de estas metodologías, el dominio de herramientas de medición modernas y la actualización constante en las mejores prácticas de mantenimiento. La iniciativa permitirá preparar al personal para enfrentar con eficacia los desafíos identificados, mejorando la confiabilidad y el rendimiento de los equipos.

Se detectaron inconsistencias y falta de seguimiento en los indicadores clave de desempeño (KPIs), como el tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio de reparación (MTTR), lo que afecta significativamente la capacidad de respuesta ante fallas en los equipos. Para resolver esta situación, se propone implementar una plataforma digital que permita monitorear los KPIs en tiempo real, facilitando la recopilación y análisis de datos. Además, se recomienda establecer rutinas periódicas de revisión y reuniones de seguimiento para ajustar las estrategias de mantenimiento según el desempeño real de los equipos. Las acciones contribuirán a optimizar la eficiencia operativa y a respaldar una toma de decisiones más precisa y oportuna.

Se evidenció que las técnicas de mantenimiento actuales resultan insuficientes para anticipar ciertas fallas, lo que ocasiona paros no programados y costos adicionales en la operación. Para abordar este desafío, se plantea la incorporación de tecnologías avanzadas como el Internet de las Cosas (IoT) y la inteligencia artificial (IA) en el mantenimiento predictivo. Las soluciones propuestas permitirían realizar un monitoreo remoto y en tiempo real de las condiciones de los equipos, utilizando sensores IoT para recopilar datos relevantes y algoritmos de IA para analizar patrones y predecir posibles fallas antes de que sucedan. La estrategia optimizará los procesos de mantenimiento, disminuyendo los tiempos de inactividad inesperados y mejorando la eficiencia operativa.

Se observó que la falta de disponibilidad inmediata de repuestos críticos ha ocasionado retrasos en las reparaciones y una prolongación de los tiempos de inactividad de los equipos. Para solucionar este problema, se propone optimizar la gestión de inventarios mediante la identificación de repuestos críticos basada en el análisis de criticidad realizado. Además, se recomienda establecer un stock de seguridad para estos repuestos y negociar acuerdos con proveedores que garanticen entregas en tiempos reducidos. Complementariamente, la

implementación de un software de gestión de inventarios permitirá un seguimiento preciso y proactivo de los niveles de stock y el consumo, mejorando significativamente la eficiencia en las operaciones de mantenimiento.

Se identificaron brechas en el cumplimiento de los procedimientos y estándares internacionales, así como en la aplicación de los instructivos generados, lo que evidencia áreas de oportunidad en el sistema de mantenimiento. Para abordar esta situación, se recomienda llevar a cabo auditorías periódicas, tanto internas como externas, con el propósito de evaluar la eficacia de los procesos de mantenimiento y garantizar la adherencia a los estándares establecidos. Las auditorías deben centrarse en verificar la correcta aplicación de los procedimientos, detectar desviaciones y proponer acciones correctivas. De esta forma, se asegurará la mejora continua y se mantendrán altos niveles de calidad en las operaciones de mantenimiento.

Se detectó que varios procedimientos operativos presentan desactualización o falta de estandarización, lo que podría derivar en inconsistencias y errores en las labores de mantenimiento. Para abordar esta situación, se sugiere realizar una revisión y actualización completa de los procedimientos, asegurando su alineación con las mejores prácticas y estándares internacionales. Además, resulta clave involucrar al personal en la elaboración y revisión de dichos procedimientos, promoviendo su compromiso y entendimiento. Finalmente, se recomienda llevar a cabo capacitaciones sobre los nuevos procedimientos para garantizar su correcta implementación, mejorando así la eficiencia y reduciendo posibles riesgos operativos.

Se evidenció que la carencia de una comunicación efectiva entre departamentos y niveles jerárquicos ha complicado la adecuada implementación de las estrategias de mantenimiento. Para solucionar este inconveniente, se sugiere establecer canales de comunicación bien definidos y eficientes que integren de manera efectiva a las áreas de operación, mantenimiento y administración. Asimismo, es recomendable fomentar reuniones interdisciplinarias para evaluar resultados, abordar desafíos y plantear soluciones. Por último, se propone impulsar una cultura organizacional basada en la colaboración y la mejora continua, asegurando que todos los niveles de la organización trabajen en sinergia para alcanzar los objetivos establecidos.

GLOSARIO

A

AMFEs, 9

El AMFE (Análisis Modal de Fallos y Efectos) es una metodología sistemática y estructurada que tiene como objetivo identificar, analizar y priorizar posibles modos de falla en productos, procesos o sistemas, así como sus causas y efectos, para tomar medidas preventivas que reduzcan o eliminen su impacto., 9

C

CMMS

(Computerized Maintenance Management System) o Sistema Computarizado de Gestión de Mantenimiento es una herramienta de software diseñada para optimizar la gestión y el control de las actividades de mantenimiento en equipos, instalaciones y maquinaria. Su objetivo principal es mejorar la eficiencia operativa, reducir costos y maximizar la disponibilidad y confiabilidad de los activos., 38

coke

El coke (también conocido como coque) es un producto sólido derivado de la destilación destructiva del carbón o del petróleo. Es un material altamente carbonoso utilizado principalmente como combustible industrial y como agente reductor en procesos metalúrgicos, particularmente en la producción de acero y hierro en altos hornos., 21

F

FEMCA

(Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis), conocido en español como Análisis de Modos de Fallo, Efectos y Criticidad (AMFEC), es una metodología sistemática utilizada para identificar y analizar posibles modos de fallo en sistemas, procesos o productos, evaluando sus efectos y determinando su criticidad, 37

H

Horno Maerz

es una tecnología avanzada de calcinación utilizada en la producción de cal viva y dolomita calcinada. Desarrollado por la empresa suiza Maerz Ofenbau AG, este horno se caracteriza por su diseño de flujo paralelo regenerativo (PFR), que optimiza la eficiencia térmica y la calidad del producto final., 12

I

IM

La Integridad Mecánica es un conjunto de metodologías y prácticas diseñadas para conservar y mantener las condiciones originales de diseño de instalaciones, equipos o componentes críticos. Su objetivo principal es garantizar la contención de materiales peligrosos y la seguridad operativa desde su construcción hasta el final de su vida útil, 28

K

KPIs

(Key Performance Indicators, por sus siglas en inglés) son indicadores clave de desempeño que permiten medir y evaluar el progreso de una organización, proyecto, área

o proceso en relación con objetivos estratégicos y operativos previamente establecidos., 9

M

MP

Software de Mantenimiento MP

Es una herramienta informática diseñada para facilitar la gestión, planificación y ejecución del mantenimiento preventivo y correctivoen diversas industrias, 24

MP9

Es un software especializado en la gestión y supervisión del mantenimiento de equipos e instalaciones. Diseñado para facilitar la organización y documentación de todas las actividades del departamento de mantenimiento, ofrece diversas funcionalidades que optimizan la eficiencia operativa., 91

MTBF

(Mean Time Between Failures, por sus siglas en inglés) es un indicador clave utilizado en mantenimiento y gestión de activos para medir la confiabilidad de un equipo, sistema o componente. Representa el tiempo promedio que transcurre entre dos fallas consecutivas durante su operación normal., 19

MTTR

(Mean Time To Repair, por sus siglas en inglés) es un indicador clave utilizado en mantenimiento para medir la eficiencia con la que un equipo o sistema puede ser reparado tras una falla. Específicamente, representa el tiempo promedio que se tarda en diagnosticar, reparar y volver a poner en funcionamiento un equipo después de una avería., 32

R

RCA

El RCA (Root Cause Analysis, por sus siglas en inglés) o Análisis de la Causa Raíz es una metodología sistemática que se utiliza para identificar la causa principal de un problema o evento no deseado, con el objetivo de prevenir su recurrencia. Es ampliamente aplicada en industrias como manufactura, mantenimiento, salud, tecnología y muchas más, para mejorar procesos y minimizar riesgos, 37

RCM)

Reliability-Centered Maintenance, por sus siglas en inglés) o Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad es una metodología estructurada para desarrollar un plan de mantenimiento que asegure la máxima confiabilidad y funcionalidad de un sistema o equipo al menor costo posible., 37

T

TMF

(Tiempo Medio entre Fallas, o Mean Time Between Failures, MTBF en inglés) es un indicador de mantenimiento que mide el tiempo promedio que un equipo o sistema funciona correctamente entre una falla y otra., 80

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEGAZO, C.J.E. y DELGADO, C.J.B. (2024). Propuesta de mejora de la gestión del proceso de automatización del banco de desarmado y armado de cilindros hidráulicos para incrementar la productividad en una empresa metal mecánica. Universidad Continental [en línea], [consulta: 16 noviembre 2024]. Disponible en: https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/14951.

BELTRAN, M.J. y QUINTANA, M.J. (2023). Diseño y desarrollo de un sistema automatizado enfocado en el reconocimiento y clasificación de residuos sólidos para una mejor gestión. Universidad Continental [en línea], [consulta: 16 noviembre 2024]. Disponible en: https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/12572.

Calidra Perú S.A.C. [en línea] (2024). [consulta: 11 julio 2024]. Disponible en: https://www.universidadperu.com/empresas/calquipa.php.

CARMONA, C.R.J. (2021). Aplicación del análisis de aceite para incrementar la disponibilidad mecánica de los cargadores de bajo perfil R1300G de la Empresa COMICIV, Kolpa 2018. Universidad Continental [en línea], [consulta: 16 noviembre 2024]. Disponible en: https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/8749.

CONTINENTAL, U. (2024) Introducción a la ingeniería mecánica : guías de laboratorio. Universidad Continental [en línea], [consulta: 16 noviembre 2024]. Disponible en: https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/4587.

CONTINENTAL, U. (2024). Sílabo de Ingeniería de mantenimiento. Universidad Continental [en línea], [consulta: 16 noviembre 2024]. Disponible en: https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/10837.

JAYO, V.J. (2022). Implementación del Sistema de Gestión de Planeamiento de la E. E. Ferreyros S. A. en la Unidad Animon / Islay - Compañía Minera Chungar S. A. Universidad Continental [en línea], [consulta: 16 noviembre 2024]. Disponible en: https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/12032.

MACHUCA, C.C.E. y VARGAS, G.N.L. (2019). Análisis y propuesta para el fortalecimiento de capacidades institucionales de la unidad zonal Pasco de Provías descentralizado, orientado a la mejora de la gestión vial descentralizada en el departamento de Pasco, Periodo 2019-2021. Universidad Continental [en línea], [consulta: 16 noviembre

2024]. Disponible en: https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/6080.

MEDRANO, T.I.H. (2024). Análisis del desgaste mecánico y degradación del aceite para mejorar el rendimiento de motores Caterpillar modelo C11. Universidad Continental [en línea], [consulta: 16 noviembre 2024]. Disponible en: https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/15416.

MEZA, G.E.D. y VELÁSQUEZ, E.D.V. (2024). Plan de gestión de mantenimiento basado en la criticidad y fallas de equipos para el Área de Molienda de una empresa minera en el centro del Perú, 2023. Universidad Continental [en línea], [consulta: 16 noviembre 2024]. Disponible en: https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/14732.

MEZA, H.L.M. (2020). Plan de mantenimiento preventivo apoyado en el RCM para mejorar el rendimiento de disponibilidad mecánica maquinaria pesada excavadora cat 336 – Compañía Minera Raura S.A. 2019. Universidad Continental [en línea], [consulta: 16 noviembre 2024]. Disponible en: https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/8061.

Nosotros – Calidra Perú. (2023). [consulta: 11 julio 2024]. Disponible en: https://www.calidra.com.pe/nosotros/.

PREDICTIVA21. (2019). Indicadores de Confiabilidad: Backlog y MTBF. [en línea]. [consulta: 6 agosto 2024]. Disponible en: https://predictiva21.com/indicadores-confiabilidad-backlog-mtbf/.

PREDICTIVA21. (2020). Taxonomía de Activos Físicos. [en línea], [consulta: 6 agosto 2024]. Disponible en: https://predictiva21.com/taxonomia-de-activos-fisicos/.

PREDICTIVA21 (2023). AMEF: descubre el análisis de modos de fallos. [en línea]. [consulta: 6 agosto 2024]. Disponible en: https://predictiva21.com/amef/.

PREDICTIVA21. (2023). Análisis de criticidad: ¿Qué es y por qué es importante? [en línea]. [consulta: 6 agosto 2024]. Disponible en: https://predictiva21.com/analisis-criticidad/.

PREDICTIVA21. (2023). Publicación de Predictiva21. [en línea]. [consulta: 6 agosto 2024]. Disponible en: https://www.linkedin.com/posts/predictiva21_ingenier%C3%ADa-

mantenimiento-confiabilidad-activity-7063904824550969345-UGXV/?originalSubdomain=es.

PREZI. (2021). Funciones De La Administración Del Mantenimiento by on Prezi. [en línea]. [consulta: 6 agosto 2024]. Disponible en: https://prezi.com/p/0ikobvwpfhzy/funciones-de-la-administracion-del-mantenimiento/.

REYNOSO, C.J.S. (2021). Implementación de un Plan de Mantenimiento Preventivo y su influencia en la disponibilidad mecánica en la línea blanca y amarilla de la Empresa Multiservicios San Francisco de Asís Yarusyacán - Pasco - 2019. Universidad Continental [en línea], [consulta: 16 noviembre 2024]. Disponible en: https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/9748.

SANCHEZ, H.E.H. (2021). Optimización de un plan de mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad mecánica de una flota de semirremolques tipo portacontenedores que transportan concentrado de cobre en Proyecto Minero Las Bambas. Universidad Continental [en línea], [consulta: 16 noviembre 2024]. Disponible en: https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/11550.

URQUIZA, L.A.M. (2023). Implementación de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de las máquinas críticas en la empresa Cynara Perú S.A.C., 2021. Universidad Continental [en línea], [consulta: 16 noviembre 2024]. Disponible en: https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/13449.

VALENCIA, M.O.S. (2023). Propuesta de mejora en la gestion de flota de vehículos de carga pesada para optimizar el control de combustible en empresas que transportan concentrado de mineral para las compañías mineras en el sur del Perú, Cusco 2022. Universidad Continental [en línea], [consulta: 16 noviembre 2024]. Disponible en: https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/13945.

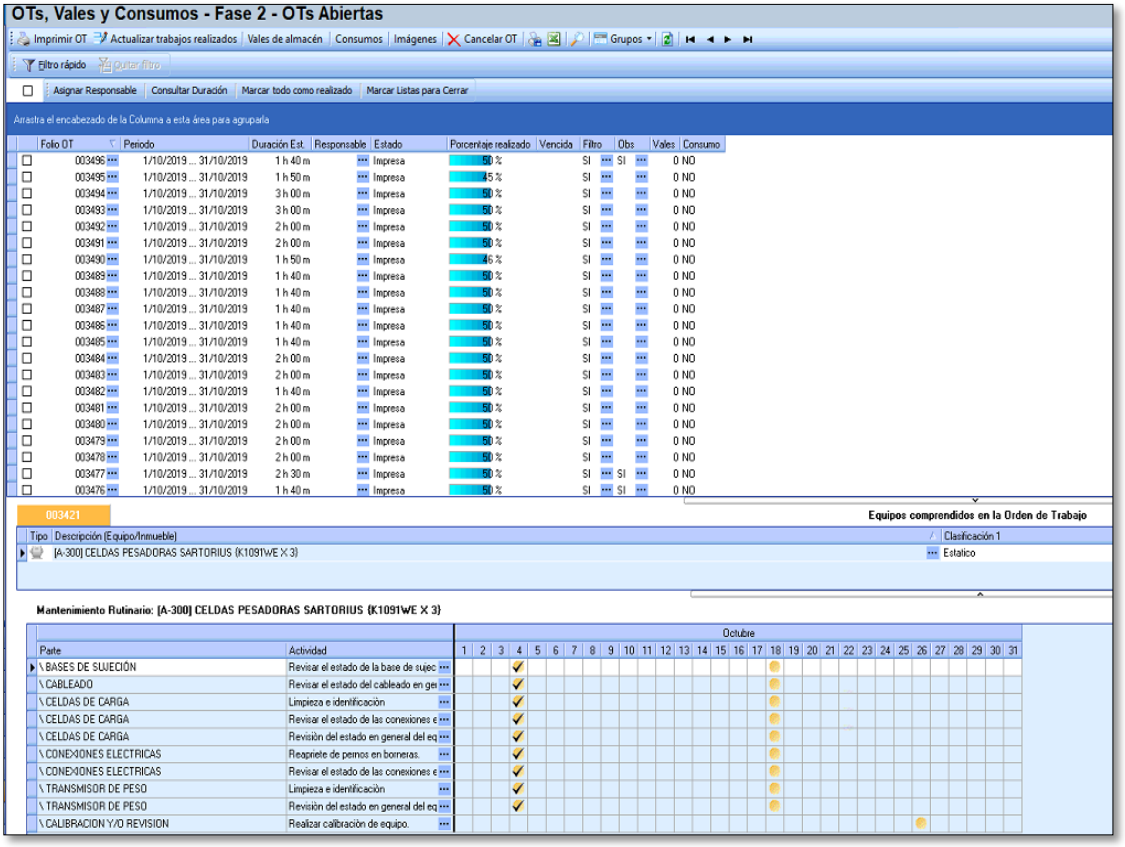
VELARDE, S.A.M. (2019). Gestión de mantenimiento de una flota de máquinas retroexcavadora Caterpillar 420F2. Universidad Continental [en línea], [consulta: 16 noviembre 2024]. Disponible en: https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/8212.

VELASCO, Y.J.J. y AGUILAR, C.E. (2021). Diseño de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo mecánico con la metodología RCM2, para la aplicación en una chancadora cónica MP1000; de una empresa minera cuprífera del sur del Perú.

Universidad Continental [en línea], [consulta: 16 noviembre 2024]. Disponible en: https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/10094.

ANEXOS

Anexo 1: Registro de órdenes de trabajo, consumos y mantenimientos.



En este cuadro se dispone de un plan de mantenimiento preventivo para los instrumentos de planta, que incluye la calibración periódica de tolvas pesadoras, actuadores eléctricos y neumáticos, RTD, termocuplas y transmisores de presión. Además, se realizan copias de seguridad de los programas PLC y SCADA del horno MAERZ cada 15 días, y se supervisa el cumplimiento de las órdenes de trabajo relacionadas con instrumentación y calibración.

Las empresas externas se encargan de calibrar equipos que requieren certificación, como básculas camioneras, calibradores de procesos, detectores de tormentas y analizadores de gases. También proporcionan soporte técnico para repuestos y mantenimientos especializados, como el ajuste de válvulas de aire comprimido del actuador neumático del área de inyección de coque al horno MAERZ.