

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

Tesis

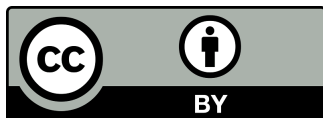
**Implementación basada en el mantenimiento productivo total en el
área de instrumentación, para la mejora de procesos internos de una
empresa de comisionamiento**

Dany Frank Acha Castro

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Industrial

Lima, 2025

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



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

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano(a) de la Facultad de Ingeniería
DE : Dr. José Antonio Velásquez Costa
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 30 de Junio de 2025

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

Título:

Implementación basada en el mantenimiento productivo total en el área de instrumentación, para la mejora de procesos internos de una empresa de comisionamiento

Autores:

1. Dany Frank Acha Castro – EAP. Ingeniería Industrial

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 15 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

Filtro de exclusión de bibliografía	SI	☒	NO	☐
Filtro de exclusión de grupos de palabras menores N.º de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"): 10	SI	☒	NO	☐
Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante	SI	☐	NO	☒

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,

La firma del asesor obra en el archivo original

(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

ASESOR

Dr. José Antonio Velásquez Costa

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer en primer lugar a Dios, a mi hermana Fabiola Acha y su esposo Frank Cornejo. Por haberme brindado un gran apoyo económico y anímico en mi camino universitario hasta la fecha. Del mismo modo a los docentes de la Universidad Continental especialmente a mi asesor de tesis José Velásquez Costa por su apoyo para el cumplimiento de mis objetivos.

DEDICATORIA

A mis padres, Maribel Castro y Juan Acha. Este logro es suyo. Mi gratitud hacia ellos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ASESOR	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	xv
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DE ESTUDIO	16
1.1. Planteamiento y Formulación del problema	16
1.1.1. Problema General	17
1.1.2. Problemas Específicos	17
1.2. Objetivos	18
1.2.1. Objetivo General	18
1.2.2. Objetivos Específicos	18
1.3. Justificación e Importancia.....	18
1.3.1. Justificación.....	18
1.3.2. Importancia.....	19
1.4. Delimitación del Proyecto	20
1.4.1. Delimitación Espacial.....	20
1.4.2. Delimitación Temporal	20
1.4.3. Delimitación Temática.....	20
1.5. Hipótesis y variables	21
1.5.1. Hipótesis General	21
1.5.2. Hipótesis Específicas.....	21
1.5.3. Variables	22
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	23
2.1. Antecedentes	23
2.1.1. Antecedentes Nacionales	23
2.1.2. Antecedentes Internacionales	26
2.1.3. Antecedentes Locales	29
2.2. Bases Teóricas del Estudio de Investigación	32
2.2.1. Mantenimiento Productivo Total (TPM).....	32
2.2.2. Proceso de Implementación del TPM	33

2.2.3.	Gestión del mantenimiento	35
2.2.4.	Mejora de procesos internos	36
2.2.5.	Instrumentación en procesos industriales	37
2.2.6.	Indicadores de desempeño	37
2.3.	Términos Básicos	38
2.3.1.	Ciclo PHVA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar)	38
2.3.2.	Educación y formación	38
2.3.3.	Gestión del mantenimiento	38
2.3.4.	Gestión temprana	38
2.3.5.	Mantenimiento Productivo Total (TPM)	38
2.3.6.	Mantenimiento autónomo	38
2.3.7.	Mantenimiento preventivo	39
2.3.8.	Mejora de procesos internos	39
2.3.9.	MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas)	39
2.3.10.	MTTR (Tiempo Medio de Reparación)	39
2.3.11.	OEE (Eficiencia General del Equipo)	39
CAPÍTULO III METODOLOGÍA		40
3.1.	Tipo de Investigación	40
3.1.1.	Cuantitativo	40
C		40
3.1.2.	Cualitativo	40
3.1.3.	Tipo de Estudio - Aplicado	41
3.1.4.	Diseño de Investigación - Preexperimental	41
3.1.5.	Alcance de la investigación:	41
3.2.	Población y Muestra	41
3.2.1.	Población	41
3.2.2.	Muestra	42
3.3.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos Técnicas	42
3.3.1.	Análisis documental	42
3.4.	Instrumentos	43
3.4.1.	Hojas de inspección para equipos de seguridad y mantenimiento	43
3.4.2.	Programas informáticos de mantenimiento	43
3.5.	Análisis de Datos	44
3.5.1.	Cuantitativo	44
3.5.2.	Cualitativo	44
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN		45
4.1.	Presentación de resultados	45

4.2.	Evaluación de la situación actual.....	46
4.2.1.	Mantenimiento de enfocados antes de implementación.....	46
4.2.2.	Mantenimiento autónomo antes de implementación.....	51
4.2.3.	Mantenimiento de calidad antes de implementación	52
4.2.4.	Mantenimiento planificado antes de implementación	54
4.2.5.	Mantenimiento preventivo antes de implementación.....	57
4.2.6.	Actividades de departamentos de administración y apoyo.....	57
4.2.7.	Formación y adiestramiento antes implementación	58
4.2.8.	Gestión de seguridad y entorno antes de implementación	58
4.3.	Implementación de mejoras en el TPM	59
4.3.1.	Mejoras enfocadas	59
4.3.2.	Mantenimiento autónomo después de implementación	63
4.3.3.	Mantenimiento planificado según protocolos después de implementación.....	64
4.3.4.	Mantenimiento de calidad después de la implementación	70
4.3.5.	Prevención del mantenimiento: procedimiento de inspección de equipos	72
4.3.6.	Plan periódico de ajuste de instrumentos	76
4.3.7.	Actividades de departamentos de apoyo	84
4.3.8.	Formación y adiestramiento	85
4.3.9.	Gestión de seguridad y entorno	87
4.4.	Mejora de procesos después de implementación TPM	89
4.5.	Análisis estadísticos	94
4.5.1.	Prueba de Normalidad	94
4.5.2.	¿Por qué se aplica Wilcoxon?	94
4.5.3.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon	94
4.6.	Discusión de resultados	96
4.7.	Limitaciones.....	97
	CONCLUSIONES	99
	RECOMENDACIONES.....	100
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
	ANEXOS.....	113
	Anexo 1. Matriz Morfológica	113
	Anexo 2. Matriz de Consistencia	114
	Anexo 3. Plano de Diseño.....	118
	Anexo 4. Matriz de operacionalización.....	120
	Anexo 5. Mantenimiento a instrumentos de Bombas sumideros y sumergibles	122
	Anexo 6. Mantenimiento de instrumentos del filtro prensa	125
	Anexo 7. Mantenimiento a instrumentos del sistema de aire de instrumentación	128

Anexo 8. Mantenimiento a instrumentos de línea de agua de sello	131
Anexo 9. Mantenimiento, inspección y calibración de sensores de temperatura	134
Anexo 10. Mantenimiento e inspección y calibración de sensores de presión.....	137
Anexo 11. Mantenimiento e inspección a instrumentos de unidad hidráulica	140
Anexo 12. Mantenimiento a instrumentos en celdas de flotación y columna	143
Anexo 13. Mantenimiento, inspección y calibración de sensores de flujo	146
Anexo 14. Mantenimiento, inspección y contraste de sensores de nivel	148
Anexo 15. Data de Instrumentos	151
Anexo 16. Resumen de protocolos por planta	154

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Actividades para implementar TPM	48
Tabla 2. Cronograma Gantt implementación TPM.....	49
Tabla 3. Auditoría del mantenimiento autónomo.....	51
Tabla 4. Detalle de instrumentos	52
Tabla 5. Disponibilidad de instrumentos enero - julio 2024.....	53
Tabla 6. Resumen de equipos listado PRECOM Julio 2024.....	56
Tabla 7. Relación de restricciones y lineamiento principales.	58
Tabla 8. Auditoría instrumentos calibración después de implementación TPM	63
Tabla 9. Comparación de Auditorías	64
Tabla 10. Resumen de Punch List POSTCOM - Diciembre 2024	65
Tabla 11. Comparación eficiencia entre PRECOM Julio2024 vs POSTCOM Dic2024	68
Tabla 12. Comparación eficacia entre PRECOM Julio2024 vs POSTCOM Dic2024	69
Tabla 13. Instrumentos de calibración.....	70
Tabla 14. Programa de revisión de instrumentación.....	71
Tabla 15. Disponibilidad de instrumentos en el periodo Agosto-Diciembre 2024.....	71
Tabla 16. Programa de mantenimiento preventivo de equipo según marca.	74
Tabla 17. Plan periódico de ajuste de instrumentos.	80
Tabla 18. Estructura del curso de capacitación en la UNI	86
Tabla 19. Equipos de protección personal	87
Tabla 20. Inversión anual en mantenimiento de equipos de calibración	92
Tabla 21. Planificación de Auditoría Interna de Calibración	93
Tabla 22. Prueba de normalidad.	94
Tabla 23. Prueba de rangos de Wilcoxon	95
Tabla 24. Estadísticas de prueba Wilcoxon	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Flujograma del proceso de mantenimiento	46
Figura 2. Diagrama de Ishikawa	47
Figura 3. Resumen de protocolos Julio 2024	54
Figura 4. Resumen de Certificados Julio 2024.....	54
Figura 5. Resumen de Caminatas Etapa Precomisionamiento	55
Figura 6. Resumen de Caminatas Construcción	55
Figura 7. Diagrama de flujo de mantenimiento preventivo antes implementación.....	57
Figura 8. Diagrama de mantenimiento de equipos de presión	60
Figura 9. Diagrama de mantenimiento de equipos sensores de flujo y de nivel	61
Figura 10. Diagrama de mantenimiento de equipos sensores de temperatura.....	62
Figura 11. Flujograma del Modelo de Solución.	72
Figura 12. Diagrama de proceso de confirmación metrológica	77
Figura 13. Programa de mantenimiento de equipos de calibración	83
Figura 14. Flujograma de compra de repuestos.....	84
Figura 15. Flujograma de solicitud de repuestos.....	84
Figura 16. Proceso de comunicación.....	85
Figura 17. Estructura del programa de capacitación del personal.....	86
Figura 18. Procedimiento de inspección de seguridad de instrumentos.....	88
Figura 19. Flujograma de inspección de equipos y componentes.....	90
Figura 20. SMED Proceso de calibración de equipos	90
Figura 21. Centro de costos por cada equipos a calibrar	91
Figura 22. Cuadro de control de mantenimiento preventivo de equipos.....	92

RESUMEN

El estudio se propuso implementar el Mantenimiento Productivo Total (TPM) en el área de Instrumentación y Control Industrial en una empresa de comisionamiento, con el fin de mejorar los procesos internos, garantizar un comisionamiento eficiente y aumentar la confiabilidad de los equipos. Asimismo, solucionar el problema de falta de mantenimiento estructurado, mantenimiento de equipos y deficiencias en calibración, generan ineficiencias que afectan la productividad y la precisión operativa. El TPM se presenta como una solución estratégica, enfocada en eliminar pérdidas y optimizar el rendimiento de los equipos mediante mantenimiento preventivo, correctivo y autónomo combinado con la formación técnica y la implementación de tecnologías avanzadas de monitoreo en tiempo real. El enfoque del estudio incluye:

- Diseñar planes de mantenimiento preventivo para reducir fallas.
- Establecer programas regulares de calibración.
- Capacitar al personal técnico en tecnologías avanzadas y utilizar indicadores clave de rendimiento (KPIs).

El análisis, desarrollado en un marco metodológico mixto (cuantitativo y cualitativo) y bajo un diseño pre experimental, medirá la efectividad del TPM comparando indicadores antes y después de implementación. Investigación destaca por su relevancia técnica y económica, asegurando reducir costos operativos como tiempos inactivos, promoviendo eficiencia del entorno competitivo. La implementación del TPM no solo fortalece la gestión de mantenimiento, sino que también fomenta la mejora continua, asegurando resultados confiables y sostenibles en las operaciones de instrumentación. Este enfoque estratégico posiciona a la empresa como un referente en el sector, capaz de adaptarse a los desafíos del mercado actual.

Palabras clave: Mantenimiento Productivo Total (TPM), Instrumentación Control Industrial, Comisionamiento, Procesos internos, Eficiencia operativa.

ABSTRACT

The study proposed that Total Productive Maintenance (TPM) around Instrumentation and Industrial Control in a commissioning company, to improve internal processes, ensure efficient commissioning and increase equipment reliability. Also, solving the problem of lack of structured maintenance, equipment maintenance and calibration deficiencies, generate inefficiencies that affect productivity and operational accuracy. TPM is presented as a strategic solution, focused on eliminating losses and optimizing equipment performance through preventive, corrective and autonomous maintenance combined with technical training and the implementation of advanced real-time monitoring technologies. The focus of the study includes:

- Designing preventive maintenance plans to reduce failures.
- Establishing regular calibration programs.
- Training technical personnel in advanced technologies and using key performance indicators (KPI's).

The analysis, developed in a mixed methodological framework (quantitative and qualitative) and under a pre-experimental design, will measure the effectiveness of TPM by comparing indicators before and after implementation. The research stands out for its technical and economic relevance, ensuring the reduction of operating costs such as downtime, promoting efficiency in the competitive environment.

The implementation of TPM not only strengthens maintenance management, but also fosters continuous improvement, ensuring reliable and sustainable results in instrumentation operations. This strategic approach positions the company as a benchmark in the industry, capable of adapting to the challenges of today's market.

Key words: Total Productive Maintenance (TPM), Industrial Control Instrumentation, Commissioning, Internal Processes, Operational Efficiency.

INTRODUCCIÓN

El sector de Instrumentación y Control Industrial enfrenta desafíos significativos en su día a día. La falta de mantenimiento estructurado y la presencia de problemas recurrentes en los equipos son solo algunos de los obstáculos que enfrentan los equipos de profesionales del sector industrial. Además, la falta de protocolos estandarizados y las deficiencias en la calibración generan ineficiencias que impactan negativamente tanto en la confiabilidad como en la precisión de los resultados obtenidos. Sin embargo, a través de soluciones que lleven a mejorar procesos y reducir costos tenemos: Mantenimiento Productivo Total (TPM, por siglas en inglés). Este enfoque integral busca alcanzar una mayor productividad, eficiencia y confiabilidad en ámbito de instrumentación y control industrial. Con la implementación del TPM, se eliminan pérdidas y desperdicios innecesarios. Además, se optimiza el rendimiento de los equipos, que significa una mayor eficiencia en operaciones diarias. Asimismo, se asegura la obtención de resultados confiables, siendo vital como importante garantizar calidad de productos y servicios ofrecidos por empresas del sector. El TPM no solo se enfoca en aspectos técnicos, también fortalece comunicación entre diversos actores involucrados en el proceso de instrumentación y control industrial. Se fomenta el trabajo en equipo y se promueve la mejora continua, lo que a su vez contribuye a una mayor eficiencia como competitividad en una organización. En resumen, el TPM se ha convertido en una herramienta indispensable en el proceso de comisionamiento en el ámbito de Instrumentación y Control Industrial. Su implementación no solo garantiza un mantenimiento estructurado y eficiente, sino que también contribuye la optimización de procesos, reducción de costos y mejora general en la organización. Con el TPM, las compañías de este sector pueden ser más competitivas, adaptables y eficientes, asegurando éxitos en el entorno empresarial exigente y competitivo.

(1)(2)(3)

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE ESTUDIO

1.1. Planteamiento y Formulación del problema

La reducción de costos de producción y tiempos de inactividad requiere tomar medidas para mantener los sistemas de operación y producción en óptimas condiciones. El Mantenimiento Productivo Total (TPM) surge como una herramienta que plantea nuevas técnicas de mantenimiento y mejora continua, con el objetivo de potenciar y consolidar los conocimientos, habilidades y herramientas necesarias para lograr este propósito.

A nivel mundial, es importante mencionar que aplicar la estrategia del TPM en áreas de instrumentos es vital para el control de los diversos instrumentos que se utilizan en empresas industriales como el sector minero y petrolero para poder controlar los desgastes de equipos y cumplir con el funcionamiento de estos, antes de tener diversos problemas de mantenimiento correctivo y paradas de planta que ocasionan gastos innecesarios y afectando la rentabilidad operativa de la organización. (7)

A nivel de Latinoamérica, existen muchos inconvenientes en las empresas que no aplican programas adecuados de mantenimiento total a los instrumentos que verifican como se mantienen los equipos en diversas áreas de producción de campamentos mineros, como bombas, motores, entre otros, que afectan los programas de producción, generando inconvenientes en procesos de fabricación de una planta de cementos en Colombia. (16)

A nivel nacional, debemos de tener en cuenta los problemas de mantenimiento total que existe en la empresa Minera Huinac (Huancavelica) que, debido al no control preventivo de sus equipos de perforación y unidades de bombas centrífugas, han generado un elevado porcentaje de ineficiencia productiva con altos costos de mantenimiento, por eso fue necesario que se aplique el TPM para mejorar la productividad de la minera. (3)

La empresa modelo es una empresa Minera que solicita la colaboración de los estudiantes en su Proyecto de Vinculación, para encontrar una solución que mejore los procesos internos del área de instrumentación, debido a la falta de información en el proceso de reportes de la calibración de equipos en el área de producción de una empresa minera. Los problemas más relevantes en esta área incluyen la falta de confiabilidad en los registros, la ausencia de reportes de desviaciones, la falta de consolidación de reportes pendientes como falta de prioridad en solución de problemas durante los períodos inactivos. Los reportes de problemas solo cobran importancia en la fase de garantía de la planta, que comienza después del comisionamiento, entre otros. (4)(5)

Las causas que inciden en que los procesos de calibración que no cumplan a la perfección es debido a los siguientes factores: (i) mano de obra, personal no calificado y falta de programas de capacitación, (ii) Métodos por falta de programación de abastecimiento, falta de formatos de trabajo y poca tecnología en ejecución de mantenimiento, (iii) Materiales, la falta de reposición de materiales y manejo logístico deficiente, (iv) Equipos de calibración, afecta trabajos en áreas de mantenimiento y producción, además de instrumentos no eficientes, (v) Medición, disminuye la eficiencia, eficacia y demora de mantenimiento de instrumentos. Finalmente (vi) Medio ambiente, utilización de energía no renovable y falta de tratamiento de aceites.

El aporte de la investigación es que el control de aplicación de los instrumentos servirá como base en cualquier tipo de empresa industrial, con finalidad de llevar a cabo un buen control de los equipos y desarrollo de procedimientos y de mantenimiento de los diversos equipos en una empresa industrial.

1.1.1. Problema General

¿De qué manera la implementación basada en el mantenimiento productivo total en el área de instrumentación mejora los procesos internos de una empresa de comisionamiento?

1.1.2. Problemas Específicos

1. ¿De qué manera los problemas frecuentes en los instrumentos del departamento causados por la falta de un mantenimiento preventivo adecuado afectan el rendimiento operativo?
2. ¿De qué manera la falta de mantenimiento periódico en la calibración de los instrumentos pone en riesgo la exactitud y fiabilidad de los datos empleados en el proceso de control industrial?
3. ¿De qué manera la falta de planificación estructurada para las actividades de mantenimiento correctivo conduce a demoras y mayores costos operativos?
4. ¿De qué manera la falta de capacitación del personal técnico en el uso de tecnologías avanzadas de monitoreo en tiempo real y gestión de datos disminuye la habilidad del equipo de soluciones modernas de instrumentación?
5. ¿De qué manera la falta de métricas fundamentales de desempeño (KPIs) influye en la medición para evaluar la eficacia de los procedimientos de mantenimiento e instrumentación?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Implementar el TPM en el sector de Instrumentación y Control Industrial mejora los procesos internos, garantiza un comisionamiento efectivo y aumenta la fiabilidad de los equipos.

1.2.2. Objetivos Específicos

1. Elaborar y ejecutar un programa de mantenimiento preventivo con el fin de disminuir las averías frecuentes en los dispositivos de instrumentación.
2. Establecer un plan periódico de ajuste de instrumentos con el fin de mejorar la exactitud y la fiabilidad de los datos utilizados en el control industrial.
3. Elaborar un plan detallado para realizar actividades de mantenimiento correctivo, con el fin de disminuir los tiempos de respuesta y los gastos operativos.
4. Entrenar al personal técnico en la utilización de tecnologías de monitoreo en tiempo real y manejo de datos de instrumentación de vanguardia.
5. Establecer y aplicar medidas de rendimiento para evaluar los procedimientos de mantenimiento e instrumentación.

1.3. Justificación e Importancia

1.3.1. Justificación

El comisionamiento de una planta industrial es un proceso crítico que garantiza que todos los sistemas y equipos funcionen de acuerdo con los requisitos establecidos antes de iniciar la operación. En este contexto, el área de Instrumentación y Control Industrial desempeña un papel fundamental, porque cualquier fallo en los equipos o deficiencia en los procesos de instrumentación puede comprometer la eficiencia operativa, la calidad de los resultados y la seguridad de las operaciones. En la actualidad, las fallas recurrentes, la falta de un mantenimiento estructurado y la ausencia de métricas claras en el área de instrumentación generan ineficiencias que afectan tanto al rendimiento de los equipos como a la confiabilidad de los datos. Este estudio propone la implementación del Mantenimiento Productivo Total (TPM) como una solución estratégica para abordar estos problemas, a través de la mejora de procesos internos, el fortalecimiento de la gestión de mantenimiento y el uso de tecnologías avanzadas. (10)(11)

La investigación también está justificada por:

Relevancia técnica: Un mantenimiento apropiado y una instrumentación precisa son fundamentales para garantizar el éxito del proceso de comisionamiento y para asegurar una operación continua.

Impacto económico: La disminución de los períodos de inactividad y de los gastos operativos posibilitará una utilización más eficaz de los recursos.

Viabilidad: La implementación de TPM se puede llevar a cabo con una adecuada planificación, el entrenamiento del personal y la inversión en tecnologías fundamentales.

Sostenibilidad: Al mejorar los procedimientos de mantenimiento e instrumentación, se asegura que la operación sea confiable en el largo plazo.

1.3.2. Importancia

El análisis es crucial debido a que trata temas esenciales que impactan la eficacia y la excelencia del procedimiento de puesta en marcha en las instalaciones industriales. Sus ventajas se manifiestan en distintos ámbitos:

1.3.2.1. Nivel Operativo

Incrementa la disponibilidad y fiabilidad de los equipos, disminuyendo las interrupciones no programadas. Mejora la exactitud y excelencia de las medidas a través de una instrumentación debidamente calibrada.

1.3.2.2. Nivel Organizacional

Mejora las habilidades del personal técnico a través de capacitación constante en mantenimiento y tecnologías de vanguardia. Establece una cultura de mejora continua enfocada en la medición y evaluación de indicadores clave de desempeño (KPIs).

A. Nivel Económico

Disminuye los gastos operativos relacionados con reparaciones urgentes y períodos de inactividad. Aumenta la eficacia global de los procedimientos, lo cual tiene un efecto positivo en el desempeño económico.

B. Nivel Estratégico

Asegura un inicio operativo eficaz y de confianza, estableciendo a la compañía como un líder en su campo. Establece fundamentos robustos para la adopción de tecnologías de la era 4.0, como sistemas de seguimiento en tiempo real. (10)

1.4. Delimitación del Proyecto

1.4.1. Delimitación Espacial

La investigación se llevará a cabo de manera específica en la Unidad de Servicios Técnicos del Área de Instrumentación y Control Industrial de una empresa dedicada al comisionamiento de plantas industriales. El enfoque estará puesto en los equipos e instrumentos que tienen un impacto directo en los procesos internos y en la eficiencia del comisionamiento de las plantas, obteniendo la información de una empresa minera ubicada en la Región Junín como parte del estudio para su posterior aplicación a otras empresas industriales. (12)

1.4.2. Delimitación Temporal

El proyecto tiene una duración de 12 meses en el año 2024, que se dividen de la siguiente manera en orden cronológico:

Meses 1-2: Evaluación inicial del área y aprobación de los líderes para realizar modificaciones en los procesos.

Meses 3-6: Revisión y actualización de protocolos, planificación de actividades de mantenimiento y calibración inicial de instrumentos.

Meses 7-9: Formación del personal técnico, implementación de tecnologías avanzadas de monitoreo y establecimiento de indicadores clave de desempeño.

Meses 10-12: Puesta en marcha del plan de mantenimiento basado en TPM, seguimiento de los indicadores y evaluación final de resultados. (13)

1.4.3. Delimitación Temática

El estudio estará limitado a los siguientes temas principales:

- Optimización de procesos internos a través de la ejecución del enfoque de Mantenimiento Productivo Total (TPM).

- Mejora de la instrumentación y control industrial, Centrándose en ajustar y cuidar los aparatos.
- Capacitación continua del personal técnico Capacitación continua del personal técnico en el uso de herramientas de Mantenimiento Productivo Total para optimizar la eficiencia y calidad en el área de Instrumentación. En el cuidado anticipado, reparación y tecnologías de vanguardia para mantenimiento.
- Uso de indicadores clave de rendimiento (KPIs) Para medir la eficacia de las prácticas de mantenimiento y equipamiento.
- Implementación de tecnologías avanzadas, Como equipos de vigilancia en tiempo real, con el propósito de asegurar la fiabilidad en las operaciones.

1.5. Hipótesis y variables

1.5.1. Hipótesis General

La introducción del TPM en el campo de Instrumentación y Control Industrial tiene un impacto positivo en los procesos internos, la confiabilidad de los equipos y la eficiencia operativa en el comisionamiento de plantas industriales. (16)(17)

1.5.2. Hipótesis Específicas

- La puesta en marcha de un programa de mantenimiento preventivo en el campo de instrumentación disminuirá la ocurrencia de averías en los equipos, lo que incrementará su disponibilidad y fiabilidad.
- La implementación de un plan periódico de calibración de dispositivos contribuirá a elevar la precisión de las mediciones y a perfeccionar los procedimientos de supervisión en la industria.
- La planificación efectiva de las tareas de mantenimiento correctivo reducirá tanto el tiempo de inactividad no programada como los gastos relacionados.
- El incremento de la eficiencia operativa y la mejora en la gestión de equipos se lograrán a través de la formación del personal técnico en mantenimiento productivo total y tecnologías avanzadas.
- La utilización de KPIs permitirá evaluar la eficacia de los procesos internos y fomentar la mejora continua en el campo de Instrumentación y Control Industrial. (18)(19)

1.5.3. Variables

1.5.3.1. Variable Independiente

Mantenimiento Productivo Total (TPM), con las siguientes dimensiones:

1. Mantenimiento enfocado: Considerar los pasos de la planificación del TPM y eliminar pérdidas identificadas en el proceso de producción.
2. Mantenimiento autónomo: Entrenar a los trabajadores para que puedan llevar a cabo labores de mantenimiento básicas.
3. Mantenimiento de calidad: Detalla el programa de calidad de inspección de los principales equipos.
4. Mantenimiento planificado: Es la identificación de todas las actividades a efectuarse en el mantenimiento en un área determinado.
5. Mantenimiento preventivo: Programar actividades con el fin de prevenir fallas y prolongar la vida útil de los equipos. Gestión temprana: Implementar estrategias de mantenimiento desde la etapa de diseño de nuevos equipos.
6. Actividades de departamentos de apoyo: Son todos aquellos que dan soporte al área de mantenimiento, como la compra de repuestos y accesorios, seguridad entre otros.
7. Formación y adiestramiento: Son todos los aspectos de capacitación al personal de mantenimiento, con finalidad de mejorar los conocimientos y habilidades de los colaboradores del área.
8. Gestión de seguridad y entorno: Considerar todos las normas, procedimientos y utilización de implementos de seguridad a usarse por los colaboradores del área de mantenimiento.

1.5.3.2. Variable Dependiente

Mejora de proceso internos reflejados en los flujogramas de mantenimiento, con las siguientes dimensiones:

- Ciclo PHVA. (21)(22)

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes Nacionales

Los investigadores Quiñones y Vite en su tesis "Implementación del mantenimiento productivo total en la empresa Scharff Logística Integrada para aumentar la operatividad de la flota, Provincia Constitucional del Callao - 2022" publicada el año 2023, tuvieron como objetivo de analizar cómo usar el método del Mantenimiento Productivo Total (TPM) en una empresa de servicios logísticos y la mejora de sus procesos. Diseño fue preexperimental y nivel explicativo, con el fin de mejorar el funcionamiento y desempeño de la flota vehicular de la reconocida empresa de logística integrada, Scharff Logística Integrada, técnica de recolección de datos de mantenimiento de flota y aplicaron los instrumentos de la orden de trabajo. Se llevó a cabo una exhaustiva evaluación inicial que permitió identificar las dificultades y desafíos existentes en el funcionamiento de la flota. Tras implementar de manera efectiva el TPM, se evidenció un aumento notable de 17.36% donde el TPM fue de 97.6%, demostrando de manera contundente la eficacia y eficiencia de esta metodología en el ámbito logístico peruano, brindando así soluciones efectivas y mejoras tangibles en la operatividad y optimización de los procesos logísticos de la empresa. De esta forma, Scharff Logística Integrada se posiciona como referente indiscutible en el mercado, gracias a su compromiso con la excelencia y su capacidad de adaptación a los constantes cambios y desafíos del entorno logístico peruano. (55)

En la tesis "Plan de mantenimiento preventivo para los laboratorios de una institución educativa de nivel superior basado en el mantenimiento productivo total", elaborado por Pumahuanca (2021), investigador tuvo como objetivo principal de este exhaustivo estudio llevado a cabo ha sido el desarrollo de un plan extremadamente detallado y meticuloso para el mantenimiento preventivo de los laboratorios de una prestigiosa universidad, logrando una mejora óptima y eficiente de los procesos. Para este fin, se ha implementado y aplicado de manera exitosa la metodología del Mantenimiento Productivo Total (TPM), que se ha revelado como la mejor opción para lograr los resultados deseados, tipo de diseño fue preexperimental y nivel explicativo. En este análisis pormenorizado, se ha realizado un minucioso seguimiento de los tiempos de operación de los equipos de laboratorio, así como de las paradas ocasionadas por fallos técnicos o cualquier otro contratiempo. De esta manera, se ha logrado una evaluación exhaustiva de la disponibilidad y confiabilidad de dichos equipos, permitiendo así tomar decisiones fundamentadas y estratégicas para su correcto mantenimiento y funcionamiento a largo plazo.

La meticulosa implementación del plan según el método TPM ha tenido un impacto significativo en el sistema de mantenimiento de los laboratorios. Se ha observado una mejora notable en la fiabilidad y capacidad de mantenimiento de las máquinas y equipos utilizados en dichos espacios, lo cual ha redundado en un aumento sustancial en su vida útil. Este resultado ha sido ampliamente satisfactorio y ha generado un impacto positivo en la calidad de la enseñanza e investigación desarrollada en la universidad, donde la disponibilidad de maquinarias tuvo un 92% en área de torno, 89% área de fresadoras y 93% área de taladros. De manera concluyente, gracias a la rigurosa aplicación de la metodología TPM, se ha logrado garantizar un óptimo funcionamiento de los laboratorios universitarios, asegurando su disponibilidad y confiabilidad a largo plazo, como la mejora en los procesos de mantenimiento. Este estudio ha brindado soluciones eficientes y efectivas para el mantenimiento preventivo, mejorando ampliamente la vida útil de los equipos e impulsando la excelencia académica en la universidad. (56)

En la tesis "Implementación de mantenimiento productivo total para mejorar la disponibilidad de máquinas en una empresa Metal Mecánica, 2023", los investigadores Montoya y Segura (2023) tuvieron como objetivo principal del presente estudio analizar minuciosamente y detalladamente el significativo efecto positivo que se obtuvo tras la introducción e implementación del TPM (Total Productive Maintenance) en la disponibilidad de máquinas utilizadas en una destacada y destacable empresa perteneciente al próspero y enérgico sector metalmecánico, con mejorar procesos para mejor disponibilidad de máquinas. Con el objetivo de obtener resultados veraces y confiables, se llevó a cabo y se utilizó un riguroso y exhaustivo diseño de investigación preexperimental en el cual se contó de manera oportuna y precisa con una muestra representativa compuesta por un total de 11 equipos de gran importancia en la empresa en cuestión. Los prominentes y destacados hallazgos encontrados y revelados en esta investigación indicaron, de manera concluyente, que la deseada disponibilidad de los equipos experimentó un notable e impresionante incremento sustancial del 18.4% tras la oportuna e idónea implantación del TPM en la organización, lo cual es altamente significativo y determinante para el óptimo funcionamiento y éxito de la industria metalmecánica en su totalidad, demostrando así la eficacia y eficiencia de esta renombrada y exitosa metodología en tan importante sector industrial. (57)

En la tesis "Implementación del mantenimiento productivo total (TPM) para incrementar la productividad en la empresa Miguel Ángel S.A.C 2022", los investigadores Castillo y Dulce (2023) tuvieron el propósito fundamental de este análisis exhaustivo y detallado fue mejorar de manera significativa y sustancial la eficiencia y rendimiento de la línea de cocido de la reconocida y prestigiosa compañía Miguel Ángel S.A.C. Este objetivo se logró exitosamente a

través de la implementación y el empleo estratégico y eficaz del Total Productive Management (TPM) como mejora de los procesos productivos; tipo de diseño fue preexperimental y nivel explicativo. La primera etapa de este proceso implicó llevar a cabo una minuciosa y detallada evaluación inicial, cuyos resultados revelaron de manera contundente y clara que la falta de un adecuado mantenimiento preventivo y la insuficiente formación y capacitación de los valiosos operarios eran las principales y determinantes causas detrás de la baja productividad registrada hasta ese momento. No obstante, gracias a la implementación y la puesta en práctica del TPM, se logró obtener y evidenciar mejoras notables y sustanciales tanto en la disponibilidad óptima de las máquinas utilizadas en la línea de cocido como en la eficiencia y productividad global de dicha línea. Estos avances notorios y altamente beneficiosos tuvieron un impacto directo y positivo en los indicadores y resultados clave de la compañía, permitiendo alcanzar niveles de rendimiento superiores, optimizando los recursos disponibles y maximizando la calidad y eficacia de los productos finales. Como resultado de esta exitosa implementación, la empresa Miguel Ángel S.A.C se consolidó como referente y líder en su sector, destacándose por su alta eficiencia, calidad y productividad en la línea de cocido. Esto le ha permitido mantener una posición privilegiada en el mercado y alcanzar una mayor rentabilidad y competitividad, asegurando su crecimiento sostenible a largo plazo. Los resultados de implementar TPM se incrementaron obteniendo MTBF, MTTR y disponibilidad de máquina en 65.76 horas, 3.38 horas y 95.17% respectivamente, además la productividad de máquina se incrementó en 18%. En conclusión, el análisis riguroso y la implementación estratégica del TPM en la línea de cocido de la compañía Miguel Ángel S.A.C han demostrado ser una decisión acertada y altamente beneficiosa. Los resultados obtenidos han sido más que satisfactorios y han contribuido de manera significativa al crecimiento y éxito de la empresa. El empleo de esta metodología ha demostrado ser una herramienta clave para mejorar la eficiencia, la productividad y la rentabilidad de cualquier empresa que desee alcanzar altos estándares de excelencia operativa en sus procesos de producción. (58)

En la tesis "Propuesta de mantenimiento productivo total (TPM) para mejorar la productividad de la empresa Lubriseng E.I.R.L Talara 2020 ", el autor Rosas (2021) tuvo como objetivo definir una propuesta del método TPM para mejorar la productividad del área de mantenimiento de la empresa automotriz. La metodología aplicada fue el TPM para lo cual tuvieron en cuenta el diagnóstico de la situación actual, asimismo, mediante un diagrama de mantenimiento preventivo usando Ishikawa, Pareto se determinaron las causas y efecto en el área de mantenimiento, asimismo, tipo de diseño fue preexperimental y nivel explicativo para mejora de los procesos. Resultados que logró obtener en el mantenimiento vehicular en el trimestre de julio a agosto, lograron una eficacia promedio del 61%, eficiencia con 13% y productividad con 8%. Llegó a la conclusión, que los objetivos de la empresa Lubriseng EIRL al implementar

el TPM se logró mejorar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos en el área de mantenimiento de unidades automotrices, lo cual generó una mejora en el servicio a los clientes, y reducir el tiempo de fallas y a cero defectos, teniendo en cuenta que la implementación del TPM la empresa invirtió en infraestructura en el local, como en equipos, herramientas y programas de capacitación para poder cumplir el mantenimiento planificado. (59).

2.1.2. Antecedentes Internacionales

En el artículo científico "Implementation of Total Productive Maintenance (TPM) to Improve Overall Equipment Effectiveness (OEE): A Case Study", los investigadores Jurewicz y otros (2023), efectuaron un exhaustivo análisis de la implementación del TPM (Total Productive Maintenance) en una prestigiosa compañía de fabricación. El objetivo principal de este enfoque es mejorar significativamente la Eficiencia General de los Equipos (OEE), lo cual constituye un pilar fundamental en la consecución del éxito y la excelencia operacional, método aplicado fue el TPM y mejora de procesos, diseño fue preexperimental y nivel explicativo. Al analizar los resultados obtenidos, se puede constatar que la aplicación del TPM ha generado un notable incremento en la disponibilidad, rendimiento y calidad de los equipos utilizados en el proceso de producción. Esto indica de manera contundente la efectividad y la eficacia del TPM como una sólida metodología para la mejora de los procesos industriales. Una de las principales ventajas observadas es el aumento significativo en la disponibilidad de los equipos, lo cual se traduce en una menor cantidad de paradas no programadas y tiempos de inactividad. Esto permite una mayor productividad y eficiencia en las operaciones diarias de la compañía. Además, se ha observado una mejoría considerable en el rendimiento de los equipos, lo que se refleja en un aumento en la producción y una reducción en los tiempos de ciclo. Esto se logra mediante la identificación y eliminación de las principales fuentes de pérdida de eficiencia con un ahorro del 35% en costos, así como la implementación de medidas preventivas para evitar fallos y averías, disminuyendo en 32% los gastos de paradas innecesarias. Otro aspecto destacado es el incremento en la calidad de los productos fabricados con un 95% de calidad estándar. Gracias al TPM, se han implementado rigurosos procesos de control de calidad, lo que ha permitido reducir de manera significativa los defectos y los retrabajos. Esto se traduce en una mayor satisfacción del cliente, al recibir productos de alta calidad y cumplir con los estándares más exigentes. En conclusión, este estudio demuestra de forma contundente la efectividad y los beneficios del TPM en la mejora de los procesos de producción. La implementación de esta metodología ha permitido un notable incremento en las técnicas de disponibilidad, rendimiento y calidad de los equipos, lo que ha llevado a una mayor eficiencia general de los equipos (OEE). Sin duda, el TPM se presenta como una herramienta

indispensable para aquellas compañías que buscan alcanzar altos niveles de excelencia operacional y mejorar su posición competitiva en el mercado. (60)

En el artículo "Implantation of Total Productive Maintenance: A Case Study in the Manufacturing Industry", los investigadores que fueron Amorín y (2024) tuvieron como objetivo principal efectuar un análisis centrado en la utilización del TPM (Total Productive Maintenance) en una empresa de fabricación, poniendo especial énfasis en el pilar de mantenimiento autónomo, siendo el método el TPM como mejora del proceso SMED, diseño preexperimental y nivel explicativo de los procesos. Los resultados obtenidos a lo largo de la implementación del TPM han sido sumamente positivos, logrando un increíble incremento del 30% en la Eficiencia General de los Equipos (OEE) en un lapso de dos años y medio. Este incremento significativo en la OEE del 35% ha generado una mejora sustancial en la capacidad productiva de la empresa, lo cual se traduce directamente en mayores ingresos. Según enfoque en el mantenimiento autónomo, los equipos de la empresa han sido capaces de operar de manera más eficiente y confiable, minimizando los tiempos de inactividad y optimizando la producción. La implementación del TPM ha brindado a la empresa una serie de beneficios adicionales, como, por ejemplo, una mayor vida útil de los equipos en un 65% del total de maquinarias, una reducción en los costos de mantenimiento y un aumento en la satisfacción de los clientes. Además, se ha promovido una cultura de trabajo más colaborativa y participativa, empoderando al personal para que se responsabilice de sus propias áreas de trabajo cumpliendo sus objetivos al 92%. En resumen, el TPM ha demostrado ser una estrategia eficaz para mejorar la eficiencia y la rentabilidad en una empresa de fabricación. Gracias a su enfoque en el mantenimiento autónomo, se ha logrado maximizar la productividad de los equipos, generando un impacto positivo en la capacidad productiva y los ingresos de la empresa. Con estos resultados exitosos, queda claro que el TPM es una metodología que toda empresa de fabricación debería considerar implementar. (61)

En el artículo científico "Total Productive Maintenance: A Case Study in Manufacturing Industry" los investigadores Workneh y Singh (2022), plantearon como objetivo principal analizar cómo el TPM (Mantenimiento Productivo Total) ha contribuido a mejorar el rendimiento de la industria de malta en Etiopía con nuevo proceso productivo. Método fue la metodología TPM, investigación tipo descriptiva aplicada, diseño preexperimental y nivel explicativo de los procesos. Se evidencia que la implementación enfocada del TPM ha jugado un papel estratégico en las mejoras significativas en la calidad de la manufactura, la eficiencia de los procesos y la rentabilidad general de las operaciones industriales. Además, se destaca el potencial del TPM para optimizar el rendimiento organizacional, al promover la cultura de mejora continua, la reducción de desperdicios y la maximización de la productividad en todos

los niveles de la empresa. El TPM ha demostrado ser una herramienta efectiva para abordar los desafíos específicos de la industria de malta en Etiopía. Mediante la implementación de prácticas de mantenimiento preventivo, gestión de equipos y capacitación adecuada, las empresas de malta han logrado reducir los tiempos de inactividad no planificados en un 27%, aumentar la disponibilidad de los equipos en 23% y mejorar la calidad de los productos al 84% de estándar, a través de una mejora de procesos. Esto ha tenido un impacto positivo en la competitividad de la industria, permitiendo a las empresas satisfacer la creciente demanda de malta de alta calidad tanto a nivel nacional como internacional. Además de los beneficios tangibles, el TPM ha fomentado un cambio cultural en las organizaciones de malta en Etiopía. Se ha promovido la participación de los empleados en la mejora de los procesos y la resolución de problemas, lo que ha fortalecido el sentido de pertenencia y compromiso con la empresa. Asimismo, el enfoque orientado a la calidad y la eficiencia ha contribuido a mejorar la imagen de la industria de malta en el mercado, generando confianza tanto en los clientes como en los socios comerciales, con resultados que después de implementar el TPM, los valores de OEE de tiempo perdido se redujo de 64.48 horas a 41.40 horas; asimismo el OEE en se incrementó de 70.81% en mes de Marzo a 80.23% en Junio. En conclusión, el TPM ha sido clave en la transformación de la industria de malta en Etiopía. Su implementación enfocada ha permitido mejorar el rendimiento organizacional, optimizar los procesos de fabricación y garantizar la calidad de los productos. Con un enfoque continuo en la mejora y la innovación, el TPM continuará desempeñando un papel estratégico en el desarrollo futuro de la industria de malta en Etiopía, posicionándola como un actor importante en el mercado global de bebidas alcohólicas. (90).

En el artículo científico "A Case Study of Total Productive Maintenance Implementation at Precision Tube Mills", los investigadores Singh y otros (2022), tuvieron como objetivo principal analizar las acciones exitosas de TPM (Mantenimiento Productivo Total) en la fabricación competitiva impactan en una organización manufacturera en la India, considerando su implementación estratégica, para mejora de procesos Método considerado fue aplicar iniciativas estratégicas de TPM pueden tener un gran impacto en la mejora del rendimiento de la manufactura, lo que lleva al desarrollo de habilidades clave para enfrentar desafíos a nivel global, enfoque cuantitativo, diseño preexperimental y nivel explicativo. Estos hallazgos demuestran que la implementación efectiva de TPM puede conducir al crecimiento sostenible y a la ventaja competitiva de la organización manufacturera. Además, se descubrió que la adopción de TPM no solo tiene beneficios a nivel interno, sino que también puede fortalecer la posición en el mercado de la organización manufacturera, brindando una mayor confiabilidad y calidad de los productos, teniendo como resultados, que se redujeron a cero los accidentes mayores, accidentes menores se redujeron en 80%, la improvisación en planta solamente fue

del 10%, los costos variables se redujeron en 43%, finalmente el proceso de inventarios se redujo en 34%. Esto a su vez puede generar un mayor reconocimiento de la marca y una mayor satisfacción del cliente. La investigación proporciona ejemplos específicos de cómo las empresas manufacturadas en la India han implementado con éxito el TPM y han logrado mejoras significativas en sus operaciones. Estos casos de estudio demuestran la importancia de una implementación estratégica de TPM y destacan los beneficios que puede ofrecer a las organizaciones manufacturadas. En conclusión, la implementación efectiva de TPM puede tener un impacto positivo en la fabricación competitiva y permitir a las organizaciones enfrentar exitosamente los desafíos del entorno global actual. (62)

En el artículo científico “Implementación del enfoque de mantenimiento productivo total: mejora de la eficiencia general de los equipos en una industria metalúrgica”, los investigadores Singh y otros (2022) tuvieron como objetivo analizar como el implementar el TPM mejora los procesos y eficiencia en equipos de una empresa metalúrgica. Método aplicado ha considerado los pasos del TPM, con finalidad de evaluar la efectividad general de equipos (OEE) de las diversas áreas de laminado, corte, doblado y troquelado en la empresa metalúrgica en el periodo 2018-2019, del mismo modo analizando como los aspectos logísticos de abastecimientos e inventarios afectan el OEE, diseño preexperimental, enfoque cuantitativo y nivel explicativo de procesos. Los resultados que se obtuvieron fue que los OEE mejoraron el proceso de laminado a 19.64%, de doblado a 14,04%, de corte a 52,73%, y troquelado a 16,72%. Concluyendo, que la implementación del TPM ha generado en la empresa del sector metalúrgico ha generado una mejora en la eficiencia de los equipos, del mismo modo el personal involucrado en la reparación de equipos ha sido capacitado en el manejo de los nuevos equipos, con lo cual ha determinado menores tiempos en reparación al registrarse fallas, lo que ha traído en el corto plazo una mejora en la reducción de costos al reducirse los tiempos de paradas y en el corto plazo se incrementó la rentabilidad de la empresa. (63)

2.1.3. Antecedentes Locales

En la tesis “Propuesta de implementación del Mantenimiento Productivo Total (TPM) para incrementar la efectividad global del equipo OEE de la cabina de pintura en la Empresa Construcciones Metálicas Unión S.A.C”, Huamán y Chipana (2021) plantearon como objetivo verificar al implementar el TPM puede incrementar la OEE de los equipos en una empresa metalmecánica. Método aplicado fue un diagnóstico inicial de la situación actual de los diversos procesos productivos, diseño preexperimental y alcance explicativo, con finalidad de identificar los problemas que afectan la producción en la cabina de pintado de las estructuras metálicas. Resultados obtenidos de la implementación generó un incremento de OEE de un 54% al 81% otorgando un ahorro del S/ 153,659.13 soles, generando una mejor tasa de calidad, rendimiento

como disponibilidad de equipo. Con respecto a la tasa de calidad del sistema de pintado en la cabina de estructuras se elevó de 76% al 95%. Concluyó, que la implementación del TPM en un escenario moderado genera un VAN de S/ 48,019 soles, un TIR 7% lo que indica que el implementar el TPM ha sido viable y sostenible en el tiempo. (64)

En el artículo científico “Implementación de la metodología TPM-Lean Manufacturing para mejorar la eficiencia general de los equipos (OEE) en la producción de repuestos en una empresa metalmecánica”, Canahua (2021) planteó como objetivo demostrar como el implementar el método TPM tiene un efecto de mejora OEE en los equipos que fabrican repuestos en empresa metalmecánica. Método que aplicaron fueron todas las fases de TPM, con enfoque cuantitativo y diseño preexperimental, considerando el análisis de fallas a través del MTBF y MTTR. Resultados que obtuvieron fue que el cumplimiento del mantenimiento preventivo en factor calidad del 49.5% al 94.7%, factor rendimiento se incrementó en 76.7% a 93.4%, como, asimismo, el factor disponibilidad aumentó al 96.88%. Concluyó, que el OEE se incrementó al 85.58%, además el MTBF anual se incrementó en +50.87 horas y el MTTR se redujo de 7.76 horas 0.27 horas, siendo la inversión de S/ 119,317.15 soles, que es justificables debido a que genera un ahorro de S/ 590,353.55 soles, con el cumplimiento de la implementación del TPM. (65)

En la tesis “Implementación de la metodología del TPM para mejorar la disponibilidad del OEE en la gestión del mantenimiento en los equipos diversos de una empresa de astilleros”, los autores Estupiñan y Bustios (2023), plantearon como objetivo analizar como el implementar el método TPM ha influido en mejorar la OEE considerando la información entre los años 2017 al 2021. Método que aplicaron fueron las fases del TPM, enfoque cuantitativo, diseño preexperimental y alcance explicativo, con finalidad de determinar todas las actividades del mantenimiento tanto preventivo como correctivo, con finalidad de determinar las causas que influyen en la disponibilidad de equipos, consideraron la aplicación del mantenimiento autónomo (MA), todas las mejoras en la gestión de equipos considerando una programación de capacitación del personal y mantenimiento planificado. Resultados que obtuvieron aplicando la metodología TPM, fueron que la disponibilidad de equipos se incrementó en 17%, el OEE se incrementó a un 90.89% con una variación positiva del 18.33% anual, lo cual conllevó a ahorros en la aplicación del mantenimiento correctivo. Concluyeron que al implementarse el TPM en todas sus fases, lograron incrementar el OEE al 90.89%, lo cual influyó en mejoras económicas y mayor disponibilidad de equipo en los procesos de la empresa de fabricación de embarcaciones pesqueras. (68)

En la tesis “Implementación de metodología de Mantenimiento Productivo Total TPM para mejorar la productividad en una empresa de alimento congelados”, los autores Ascencio y Lara

(2023), tuvieron como objetivo verificar los resultados de implementar el TPM para incrementar la productividad de procesos de empresa de alimentos congelados. Método considerado ha sido la metodología TPM, enfoque cuantitativo, diseño preexperimental y alcance explicativo, aplicando inicialmente un diagnóstico de la situación inicial y mediante el diagrama de Ishikawa determinar las causas que afectan los procesos productivos en la empresa, teniendo en cuenta a la data del año 2022 en la producción de la empresa. Resultados que se obtuvieron se lograron un incremento del 33% del presupuesto anual programado, dando un total de S/ 268,644.50 soles, de los cuales el costo del mantenimiento preventivo se incrementó en 49% y los programas de mantenimiento correctivo se redujo en 33% y los costos de transportes se redujeron en 13%. Concluyeron, que de acuerdo con los programas de mantenimiento preventivo se redujeron las paradas en 21% y trajo una reducción de S/ 81,331.29 soles en los costos de producción, lo que trajo que la empresa al implementar el TPM mejoró los procesos productivos y establecer programas de mantenimiento y capacitación del personal. (66)

En la tesis “Modelo de producción basado en lean-tpm para aumentar la eficiencia del proceso de acabado en empresas textiles”, los autores Garay y Osorio (2024) tuvieron como objetivo verificar el impacto de implementar TPM en empresas textiles con finalidad de incrementar la eficiencia de los procesos. Método fue tipo cuantitativo, diseño experimental, alcance explicativo y técnica de determinar el método de aplicación del TPM en empresas del sector textil. Resultados que obtuvieron en el análisis efectuado, que al aplicar el método TPM lograron mejorar la eficiencia en un promedio del 22.4%, la OEE se incrementó en 12.4%, un factor de mejora adicional fue la capacitación del personal en un 75% de las empresas textiles. Concluyendo, que el aplicar el TPM en las empresas textiles traen mejora en la eficiencia de los procesos e incremento de la productividad. (67)

2.2. Bases Teóricas del Estudio de Investigación

2.2.1. Mantenimiento Productivo Total (TPM)

El TPM es una estrategia dedicada a optimizar el rendimiento de maquinaria y equipos a través de la colaboración de todos los departamentos de la empresa. Originado en Japón, su objetivo es comprometer a todos los trabajadores, desde los empleados de producción hasta los directivos, promoviendo un sentimiento de responsabilidad compartida. (69)(70)

Elementos clave del TPM: (71) (72)

Tendrá en cuenta los ocho pilares del TPM que son los siguientes:

- Mantenimiento enfocado: Considerar los pasos de la planificación del TPM y eliminar pérdidas identificadas en el proceso de producción.
- Mantenimiento autónomo: Entrenar a los trabajadores para que puedan llevar a cabo labores de mantenimiento básicas.
- Mantenimiento de calidad: Detalla el programa de calidad de inspección de los principales equipos.
- Mantenimiento planificado: Es la identificación de todas las actividades a efectuarse en el mantenimiento en un área determinado.
- Mantenimiento preventivo: Programar actividades con el fin de prevenir fallas y prolongar la vida útil de los equipos. Gestión temprana para implementar estrategias de mantenimiento desde la etapa de diseño de nuevos equipos.
- Actividades de departamentos de apoyo: Son todos aquellos que dan soporte al área de mantenimiento, como la compra de repuestos y accesorios, seguridad entre otros.
- Formación y adiestramiento: Son todos los aspectos de capacitación al personal de mantenimiento, con finalidad de mejorar los conocimientos y habilidades de los colaboradores del área.
- Gestión de seguridad y entorno: Considerar todas las normas, procedimientos y utilización de implementos de seguridad a usarse por los colaboradores del área de mantenimiento.

Beneficios esperados

Incremento en la disponibilidad y fiabilidad de los dispositivos. Mejora en la eficiencia y disminución de gastos operativos. Reducción de los fallos imprevistos. (70)(72)

En primer lugar, el Mantenimiento Productivo Total (TPM) es una estrategia de gestión enfocada en la mejora continua de los procesos de producción. Se basa en la participación de

los operadores y el mantenimiento preventivo para garantizar la disponibilidad de los equipos y la calidad de los productos. En el área de instrumentación, la implementación del TPM puede ayudar a optimizar el rendimiento de los instrumentos y a reducir los tiempos de inactividad. Además, al centrarse en la prevención de averías y la mejora de los procesos internos, el TPM puede contribuir a una mayor eficiencia en el comisionamiento de proyectos. "Total Productive Maintenance." (69)(70)

2.2.2. Proceso de Implementación del TPM

Fase de Diagnóstico

Identificar los principales problemas en el área de instrumentación (fallas recurrentes, equipos críticos) es fundamental para mejorar la eficiencia y productividad de la empresa. Por lo tanto, es necesario realizar un estudio exhaustivo de estos problemas, analizando a fondo cada uno de ellos.

Para iniciar este proceso, es importante medir indicadores iniciales como el OEE (Overall Equipment Effectiveness), la disponibilidad de los equipos y el tiempo de inactividad. Estas métricas nos proporcionarán información clave sobre el rendimiento de la instrumentación y nos ayudarán a identificar áreas problemáticas que requieren intervención. El OEE es una herramienta que nos permite evaluar la eficiencia global de nuestros equipos de instrumentación. Nos indica qué también están trabajando en comparación con su capacidad máxima. Permite identificar las pérdidas de rendimiento en términos de disponibilidad, rendimiento y calidad.

Además del OEE, es esencial medir la disponibilidad de los equipos, es decir, el tiempo durante el cual los equipos están operativos y listos para su uso. Esta métrica nos indica qué tan confiables son nuestros equipos de instrumentación y cuánto tiempo están disponibles para realizar las tareas asignadas.

Por último, pero no menos importante, medir el tiempo de inactividad nos permite identificar cuánto tiempo nuestros equipos de instrumentación están sin funcionar debido a fallas recurrentes u otros problemas. Esto nos da una idea clara de los momentos en los que nuestros equipos no están operativos y nos permite tomar medidas correctivas para minimizar estos tiempos muertos.

En resumen, identificar los principales problemas en el área de instrumentación y medir indicadores iniciales como OEE, disponibilidad y tiempo de inactividad son pasos clave para mejorar la eficiencia y productividad de la empresa. Estas métricas nos proporcionan

información valiosa que nos ayudará a tomar decisiones informadas y a implementar soluciones efectivas en el área de instrumentación. (32)(33)

Fase de Planificación:

Diseñar un programa de mantenimiento autónomo y preventivo es fundamental para asegurar el correcto funcionamiento de las maquinarias y equipos utilizados en una empresa. Este programa debe incluir diferentes actividades, tales como inspecciones regulares, lubricación, limpieza, ajustes y reparaciones menores.

Para garantizar la efectividad del programa de mantenimiento, es necesario definir capacitaciones específicas para los operarios y técnicos encargados de llevar a cabo las tareas. Estas capacitaciones deben abarcar desde conocimientos básicos sobre el funcionamiento de las máquinas hasta técnicas avanzadas de mantenimiento.

Además, es importante establecer metas y objetivos claros para la implementación del TPM (Total Productive Maintenance). Estas metas deben ser realistas y alcanzables, y deben estar orientadas a mejorar la eficiencia y confiabilidad de los equipos, reducir los tiempos de parada no planificados y minimizar los costos de mantenimiento.

El programa de mantenimiento autónomo y preventivo, junto con las capacitaciones y las metas establecidas, contribuirá a prolongar la vida útil de los equipos, evitar averías y aumentar la productividad de la empresa. Es fundamental contar con un personal calificado y comprometido en el mantenimiento de los activos, porque esto garantizará un funcionamiento óptimo de las instalaciones y una mayor eficiencia en los procesos productivos. (34)(35)

Fase de Ejecución:

Realizar mantenimiento autónomo con la participación y comprometida de los operarios y técnicos especializados se convierte en una estrategia crucial para garantizar la máxima eficiencia y vida útil de los equipos industriales. La implementación de un plan de mantenimiento preventivo programado en aquellos equipos clave es esencial para minimizar el riesgo de fallas y evitar tiempos de inactividad costosos. Además, aplicar herramientas de mejora continua, como el conocido método de las 5S (Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu y Shitsuke) contribuye a mantener un entorno de trabajo organizado, limpio y seguro, optimizando así los procesos y maximizando la productividad. Estas prácticas no solo aseguran un óptimo rendimiento de los equipos, sino que también fomentan un mayor sentido de pertenencia y responsabilidad por parte de los colaboradores, generando un espíritu de colaboración y trabajo en equipo que impulsa el éxito de la organización. En resumen, invertir en el mantenimiento

autónomo con participación de los operarios, implementar el mantenimiento preventivo programado y utilizar herramientas de mejora continua son acciones fundamentales para alcanzar la excelencia operativa y mantener una ventaja competitiva en el mercado actual. (36)(37)

Fase de Evaluación:

Durante la fase de Evaluación del TPM en el área de Instrumentación, es crucial identificar los equipos críticos para el proceso de comisionamiento y realizar un análisis detallado de su estado actual. Una vez identificados los equipos críticos, se procede a establecer un plan de mantenimiento preventivo para garantizar su correcto funcionamiento en el proceso de comisionamiento. En el proceso de implementación del TPM, es fundamental establecer una estrategia de mantenimiento preventivo para optimizar el funcionamiento de los equipos críticos en el área de instrumentación. Esto garantizará una mejora significativa en los procesos internos de la empresa de comisionamiento. Comparar los indicadores antes y después de la implementación, se vuelve fundamental para evaluar de manera eficiente los cambios realizados. La importancia de analizar en profundidad los resultados obtenidos radica en la posibilidad de identificar áreas de mejora y tomar decisiones informadas para ajustar las estrategias si es necesario. Es preciso tener en cuenta que este proceso de análisis y ajuste continuo jugará un papel crucial en el logro de los objetivos establecidos. Por lo tanto, invertir tiempo y esfuerzo en esta tarea resulta indispensable para garantizar el éxito de la implementación y alcanzar los resultados deseados. (38)(6)

2.2.3. Gestión del mantenimiento

La administración del mantenimiento involucra la organización, realización y control de tareas destinadas a asegurar el correcto funcionamiento de los equipos en una compañía. En el ámbito de la instrumentación, es de suma importancia debido a la precisión necesaria en los sistemas y aparatos. (73)

Modelos de mantenimiento relevantes:

- Mantenimiento preventivo: Actividades planificadas para disminuir la posibilidad de fallos. (76)
- Mantenimiento predictivo: Aplicación de herramientas avanzadas como monitoreo de vibraciones, termografía y ultrasonido para anticipar posibles problemas. (76)
- Mantenimiento correctivo: Arreglos realizados después de una avería.

En el ámbito de la instrumentación: Es vital cuidar la calibración y funcionamiento de los equipos para garantizar seguridad y continuidad operativa en sistemas de control e instrumentación. Una falla en este sentido puede tener consecuencias significativas. (75)

"RCM: Gateway to World Class Maintenance." La Gestión del Mantenimiento es fundamental para garantizar la eficiencia de los procesos internos en una empresa de comisionamiento. En este sentido, la Implementación del Mantenimiento Productivo Total en el Área de Instrumentación juega un papel clave en la mejora de la productividad y la reducción de costos. (73)

2.2.4. Mejora de procesos internos

El perfeccionamiento de los procedimientos internos consiste en reconocer, examinar y mejorar las tareas llevadas a cabo dentro de una empresa con el fin de lograr una eficiencia operativa más elevada. (77)

Enfoques teóricos:

El ciclo PHVA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar) busca mejorar continuamente al evaluar y ajustar constantemente los procesos. La teoría de restricciones identifica los cuellos de botella en el sistema y propone soluciones para maximizar el flujo de trabajo. Por su parte, el Lean Manufacturing persigue la eliminación de desperdicios y la creación de valor en cada etapa del proceso. (77)

Impacto esperado:

Disminución de los periodos de inactividad. Más uniformidad y supervisión de los procedimientos. Aumento en la excelencia del producto o servicio. (78)

"The Goal." El objetivo de la implementación del Mantenimiento Productivo Total en el Área de Instrumentación es mejorar los procesos internos de la empresa de Comisionamiento. (77)

2.2.5. Instrumentación en procesos industriales

La instrumentación se refiere al empleo de aparatos y sistemas para la medición, regulación y supervisión de variables críticas como presión, temperatura, nivel y flujo en los procesos industriales. (81)

Aspectos clave:

Calibración: Es importante ajustar los instrumentos para asegurar mediciones precisas.

Monitoreo continuo: Es fundamental instalar sistemas que permitan recopilar datos en tiempo real. (81)

Integración de tecnologías: Se recomienda emplear sistemas SCADA y sensores inteligentes para optimizar el proceso. (82)

Importancia en el ámbito de la investigación: Dentro de una compañía dedicada al comisionamiento, la utilización de instrumentos garantiza que se cumplan con los estándares técnicos y normativos, lo cual tiene un impacto directo en la seguridad y la eficiencia del proceso. (83)

"Measurement Systems: Application and Design." Los sistemas de medición juegan un papel crucial en los procesos industriales, porque permiten obtener datos precisos para el control y la optimización de estos. En el área de instrumentación, es fundamental contar con sistemas de medición fiables y precisos para garantizar la eficiencia en los procesos internos de una empresa de comisionamiento. (84)

2.2.6. Indicadores de desempeño

La utilización de métricas de rendimiento permite evaluar el efecto de la aplicación del TPM en la optimización de los procedimientos internos. (88)

Indicadores clave:

El OEE (Eficiencia General del Equipo) es un indicador que evalúa el desempeño global de los equipos tomando en cuenta su disponibilidad, rendimiento y calidad. (87)

Por su parte, el MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas) mide el tiempo promedio entre las fallas de un equipo, mide la disponibilidad de un componente o sistema. (86)

MTTR (Tiempo Medio de Reparación) calcula el tiempo promedio necesario para reparar un equipo o recuperar un equipo en proceso de mantenimiento. (85)

"Benchmarking Best Practices in Maintenance Management". Los indicadores de desempeño son herramientas clave para medir el éxito de la implementación del Mantenimiento Productivo Total en el Área de Instrumentación. Estos indicadores permiten evaluar el impacto de los procesos internos en una empresa de comisionamiento y optimizar su rendimiento. (86)

2.3. Términos Básicos

2.3.1. Ciclo PHVA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar)

Busca mejorar continuamente al evaluar y ajustar constantemente los procesos. La teoría de restricciones identifica los cuellos de botella en el sistema y propone soluciones para maximizar el flujo de trabajo. (77)(80)

2.3.2. Educación y formación

Fomentar la formación continua del personal. (71)

2.3.3. Gestión del mantenimiento

La administración del mantenimiento involucra la organización, realización y control de tareas destinadas a asegurar el correcto funcionamiento de los equipos en una compañía. (73)

2.3.4. Gestión temprana

Implementar estrategias de mantenimiento desde la etapa de diseño de nuevos equipos. (72)

2.3.5. Mantenimiento Productivo Total (TPM)

Es una estrategia dedicada a optimizar el rendimiento de maquinaria y equipos a través de la colaboración de todos los departamentos de la empresa. (69)

2.3.6. Mantenimiento autónomo

Entrenar a los trabajadores para que puedan llevar a cabo labores de mantenimiento básicas. (71)

2.3.7. Mantenimiento preventivo

Programar actividades con el fin de prevenir fallas y prolongar la vida útil de los equipos. (72)

2.3.8. Mejora de procesos internos

El perfeccionamiento de los procedimientos internos consiste en reconocer, examinar y mejorar las tareas llevadas a cabo dentro de una empresa con el fin de lograr una eficiencia operativa más elevada. (77)

2.3.9. MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas)

Mide el tiempo promedio entre las fallas de un equipo, mide la disponibilidad de un componente o sistema. (86)

2.3.10.MTTR (Tiempo Medio de Reparación)

Calcula el tiempo promedio necesario para reparar un equipo o recuperar un equipo en proceso de mantenimiento. (85)

2.3.11.OEE (Eficiencia General del Equipo)

Es un indicador que evalúa el desempeño global de los equipos tomando en cuenta su disponibilidad, rendimiento y calidad. (87)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Tipo de Investigación

Enfoque: Mixto (cuantitativo y cualitativo).

3.1.1. Cuantitativo

Con el objetivo principal de evaluar exhaustiva y minuciosamente todas las métricas fundamentales de rendimiento, tales como la eficacia, disponibilidad y excelencia en el vasto y amplio campo de la instrumentación, es imprescindible llevar a cabo un análisis completo y detallado. Este riguroso proceso de evaluación y examen nos permitirá obtener información precisa y precisa sobre el desempeño de los instrumentos y garantizar su funcionamiento óptimo en diversas situaciones y escenarios. Mediante esta evaluación en profundidad, podremos identificar y comprender mejor cualquier deficiencia o área de mejora potencial, lo que a su vez nos permitirá implementar soluciones efectivas y estratégicas para optimizar aún más el rendimiento general. Al emplear estas métricas fundamentales, podemos mantener un estándar supremo y continuo de calidad en el campo de la instrumentación, asegurándonos de que todos los instrumentos sean duraderos, confiables y capaces de producir resultados precisos y confiables en todo momento. (23)

3.1.2. Cualitativo

Con el propósito de realizar una investigación exhaustiva y obtener un amplio panorama sobre las opiniones de los valiosos empleados de esta organización con relación a cómo el TPM impacta de manera significativa en los distintos procedimientos internos implementados en nuestra empresa, hemos diseñado un detallado cuestionario que nos permitirá recopilar valiosas estimaciones y comentarios para evaluar a fondo esta importante cuestión. El objetivo principal de este análisis es comprender de manera integral qué percepciones tienen los colaboradores sobre la influencia del TPM en los procesos internos, a fin de identificar áreas de oportunidad, mejorar la eficiencia y optimizar el rendimiento en todas las áreas operativas. Valoramos profundamente la participación de todos los empleados y consideramos sus opiniones fundamentales para alcanzar nuestro objetivo de excelencia en el rendimiento y la calidad. (14)

3.1.3. Tipo de Estudio - Aplicado

Este análisis implementa TPM (Mantenimiento Productivo Total) en comisionamiento empresarial para mejorar la disponibilidad, confiabilidad y rendimiento de los activos. TPM involucra a todos los niveles de la organización y busca excelencia operativa, eliminación de pérdidas y mejora continua. Busca maximizar la productividad, reducir los tiempos de inactividad y minimizar los costos de mantenimiento. Optimiza el comisionamiento de equipos y reduce riesgos y costos asociados a la operación. Integrando disciplinas y enfoques de TPM se logra la excelencia en la gestión del comisionamiento. Mejora la eficiencia, confiabilidad y calidad de los equipos y optimiza el proceso de puesta en marcha y operación de los activos empresariales. (24)

3.1.4. Diseño de Investigación - Preexperimental

Se tomará la medida del estado actual de los procesos internos antes de que se implemente el TPM, a fin de evaluar su eficacia y determinar áreas de mejora. Posteriormente, una vez que se haya llevado a cabo la implementación del TPM, se realizará una nueva medición para comparar los resultados y determinar el impacto que ha tenido en la eficiencia operativa. Esta evaluación permitirá obtener datos objetivos y cuantitativos sobre el desempeño de los procesos internos, lo cual facilitará la toma de decisiones informadas y la identificación de oportunidades para optimizar la productividad y reducir los costos operativos. La implementación del TPM se considera una estrategia clave para lograr la excelencia operativa y promover una cultura de mejora continua dentro de la organización. (25)

3.1.5. Alcance de la investigación:

Para el presente estudio TPM el alcance de la investigación es de tipo descriptivo, debido a que se describe el proceso del fenómeno a estudiar, definiendo el análisis de datos que tiene un enfoque cuantitativo. (25)

3.2. Población y Muestra

3.2.1. Población

Todos los dispositivos y procedimientos en el sector de instrumentación dentro de la empresa de comisionamiento son de vital importancia para garantizar el correcto funcionamiento de todos los equipos y sistemas involucrados en los procesos operativos y de mantenimiento. En este sentido, es crucial contar equipos altamente adecuados y calibrados, para mejor control de los equipos instalados en las diversas instalaciones del área de producción. En este caso la

población está dada por los dispositivos del área de instrumentación. Es necesario contar con dispositivos y procedimientos adecuados, así como con personal capacitado y especializado, que garantice un correcto funcionamiento de todos los equipos involucrados. Una gestión eficiente en este sector contribuirá al éxito y la rentabilidad de la empresa en su conjunto. (26)

3.2.2. Muestra

Elección de un grupo de equipos críticos en el área de instrumentación que sean representativos y cumplan con los más altos estándares de calidad y eficiencia. Involucramiento activo y participativo de operarios altamente capacitados, técnicos especializados y supervisores clave en las tareas fundamentales del Mantenimiento Productivo Total (TPM). Esto permitirá contar con una sólida base de conocimiento y experiencia para abordar los desafíos y las problemáticas propias de la instrumentación en un entorno industrial exigente y dinámico. La muestra está dada por instrumentos para el mantenimiento de equipos, caso de calibrador industrial de procesos Fluke, comunicador Handfield Emerson (TREX), multímetro digital, revelador de tensión portátil (hasta 500 VAC) y radio de comunicación, además de kit de herramientas para instrumentistas y juego de llaves mixtas. Estos equipos serán destinados para el mantenimiento de: Bombas sumideros y sumergibles, Filtros de prensa, Sistemas de aire acondicionado, Línea de agua de sellos, Sensores de temperatura y presión, Unidad hidráulica, Celdas de flotación y columna, Sensores de Flujo y Sensores de nivel.

3.3. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos Técnicas

3.3.1. Análisis documental

Con el fin de registrar de manera integral y documentar a fondo la condición inicial de los equipos y procesos involucrados, se realizará una evaluación minuciosa de las condiciones de operación y mantenimiento. Esta evaluación se llevará a cabo de manera rigurosa y detallada, asegurando un registro preciso y completo de las condiciones actuales. Además, se tomarán en cuenta factores como el rendimiento de los equipos, su funcionamiento óptimo, las posibles áreas de mejora y los procedimientos de mantenimiento existentes. De esta manera, se logrará obtener un panorama completo y detallado de la situación inicial, lo cual será fundamental para implementar las acciones necesarias de mejora y mantener un control eficaz de los equipos y procesos en el futuro.

Se realiza una cuidadosa revisión de los informes de mantenimiento (ver anexo 15 y 16), verificando los procedimientos y actividades realizados, así como la precisión y exhaustividad de los datos recopilados. Además, se examinan con meticulosidad los informes técnicos, prestando especial atención a cualquier hallazgo, recomendación o acción correctiva sugerida.

Es fundamental analizar y comprender de manera integral los registros de anomalías, buscando patrones o tendencias que indiquen problemas o fallas recurrentes, a fin de proponer medidas correctivas y preventivas efectivas. En resumen, el examen de estos documentos históricos y registros es un proceso primordial y significativo para garantizar la seguridad, fiabilidad y eficiencia de los equipos y sistemas, al proporcionar una visión valiosa y detallada de su historial de mantenimiento y rendimiento operativo. (29)

3.4. Instrumentos

3.4.1. Hojas de inspección para equipos de seguridad y mantenimiento

Asegúrese de realizar un seguimiento completo de las actividades de inspección, verifique el estado de los equipos y garantice la conformidad con los protocolos de seguridad establecidos. Lleve un registro detallado de cada inspección, anotando cualquier problema o anomalía detectada. Esto ayudará a prevenir cualquier incidente y a mantener los equipos en óptimas condiciones de funcionamiento. Recuerde siempre seguir las pautas y recomendaciones del fabricante para garantizar la seguridad de todos los involucrados.

3.4.2. Programas informáticos de mantenimiento

Herramientas de software son indispensables para empresas de diferentes sectores, que les permiten realizar un seguimiento exhaustivo del rendimiento de sus equipos y tomar decisiones informadas para mejorar su eficiencia y productividad. Los programas informáticos de mantenimiento ofrecen una interfaz fácil de usar y están diseñados para permitir a los usuarios registrar y analizar los datos relevantes de manera efectiva. Además, muchos de estos programas ofrecen funciones personalizables que se adaptan a las necesidades específicas de cada empresa, en este caso se tienen en cuenta el programa Excel del Windows y en la parte estadística el software spssv27. Con características como el seguimiento en tiempo real, la generación de informes detallados y la capacidad de establecer alarmas y recordatorios, estos programas informáticos de mantenimiento se han convertido en una herramienta indispensable en la gestión efectiva de los equipos de una organización. Gracias a su capacidad para almacenar y analizar grandes cantidades de datos, los programas informáticos de mantenimiento permiten a las empresas identificar rápidamente los problemas y tomar las medidas correctivas necesarias de manera oportuna. En resumen, la inversión en programas informáticos de mantenimiento adecuados puede marcar una gran diferencia en la eficiencia y productividad de una empresa, al tiempo que ayuda a reducir los tiempos de inactividad y los costos asociados. (31)

3.5. Análisis de Datos

3.5.1. Cuantitativo

Uso de herramientas estadísticas avanzadas para el análisis detallado de las métricas de rendimiento operativo, como el OEE (Overall Equipment Efficiency), el MTBF (Mean Time Between Failure) y el MTTR (Mean Time To Repair). Estas herramientas permiten identificar patrones, tendencias y variaciones en los datos recopilados, lo que a su vez ayuda a mejorar la eficiencia y productividad de los equipos y equipos. Además, se pueden realizar comparaciones significativas entre los valores iniciales y finales utilizando pruebas T para muestras relacionadas, lo que permite determinar si ha habido mejoras o cambios significativos en el rendimiento a lo largo del tiempo. Estas técnicas estadísticas proporcionan información valiosa para la toma de decisiones estratégicas y la implementación de mejoras continuas en los procesos de producción y mantenimiento. (39)

3.5.2. Cualitativo

Análisis de contenido de entrevistas y encuestas, identificando patrones, tendencias y percepciones clave, así como examinando detalladamente la información recopilada para extraer conocimientos relevantes y significativos. Mediante la aplicación de diversas técnicas de análisis, como el análisis temático y el análisis de palabras clave, se exploran en profundidad las respuestas y opiniones proporcionadas por los entrevistados, permitiendo una comprensión más completa y una visualización clara de los hallazgos. Este proceso de análisis también implica la identificación de relaciones y conexiones entre los diferentes elementos del contenido, permitiendo la detección de patrones y contextos que puedan dar lugar a nuevas perspectivas e ideas. En conclusión, el análisis de contenido de entrevistas y encuestas se presenta como una valiosa herramienta para desentrañar la riqueza de información cualitativa, brindando una visión más profunda y enriquecedora de las perspectivas y opiniones de los entrevistados. (40)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Presentación de resultados

Para la implementación de la herramienta del mantenimiento productivo total (TPM) propuesto para el área de calibración de equipos, se deben de considerar las ocho fases con finalidad de poder construir un TPM que sea exitoso y resultados adecuados, que son los siguientes:

- (i) Mejoras enfocadas: Se desarrolla en el punto (4.3.1) la implementación de los pasos de la TPM se debe de realizar una planificación de la situación actual del área de calibración de equipos en la empresa minera, se aplica el método Kaizen para su desarrollo.
- (ii) Mantenimiento autónomo: La empresa dispone de procesos en el mantenimiento de los equipos de calibración en el punto (4.3.2) dispone de un flujograma de procesos con finalidad de evaluar los equipos para el proceso de calibración y servicio que brinda a los equipos de la empresa minera, diagrama de mejora de procesos.
- (iii) Mantenimiento planificado: Se detalla en el punto (4.3.3) se detallan todos los cuadros de resumen de protocolos de los diversos tipos de contratos de la empresa de comisionamiento de plantas industriales.
- (iv) Mantenimiento de Calidad: En la tabla 8 del punto (4.3.4) se detalla el programa de calidad de inspección de principales equipos a desarrollarse en los meses de mayo y octubre por parte del personal del área de instrumentación.
- (v) Prevención del mantenimiento: Se ha procedido a desarrollar procedimiento de inspección de equipos en el punto (4.3.5), todo un manual para el mantenimiento preventivo de los equipos de calibración y en el anexo del número (5 al 14) se detalla el manual de mantenimiento preventivo por cada instrumento de calibración.
- (vi) Actividades de departamentos administrativos y de apoyo: Se detallan en el punto (4.3.6) todas las actividades de los departamentos de apoyo en el mantenimiento productivo total se enfocar en mejorar la eficiencia, que se ha demostrado y la transparencia de los procesos, estas actividades son efectuadas por el área de abastecimientos, recursos humanos y recursos financieros
- (vii) Formación y adiestramiento: En el punto (4.3.7) esta fase del TPM, tiene en cuenta al personal responsable del área de calibración que son seis colaboradores especialistas en el manejo de equipos de calibración disponibles para la calibración de equipos (motores, bombas, entre otros) en la empresa minera.

- (viii) **Gestión de seguridad y entorno:** Se desarrollan en el punto (4.3.8). En el TPM es muy importante tener en cuenta un plan de seguridad y medio ambiente, con finalidad de reducir los riesgos para la salud y seguridad de los colaboradores, en este caso del personal del área de instrumentación y calibración de equipos en una empresa minera.

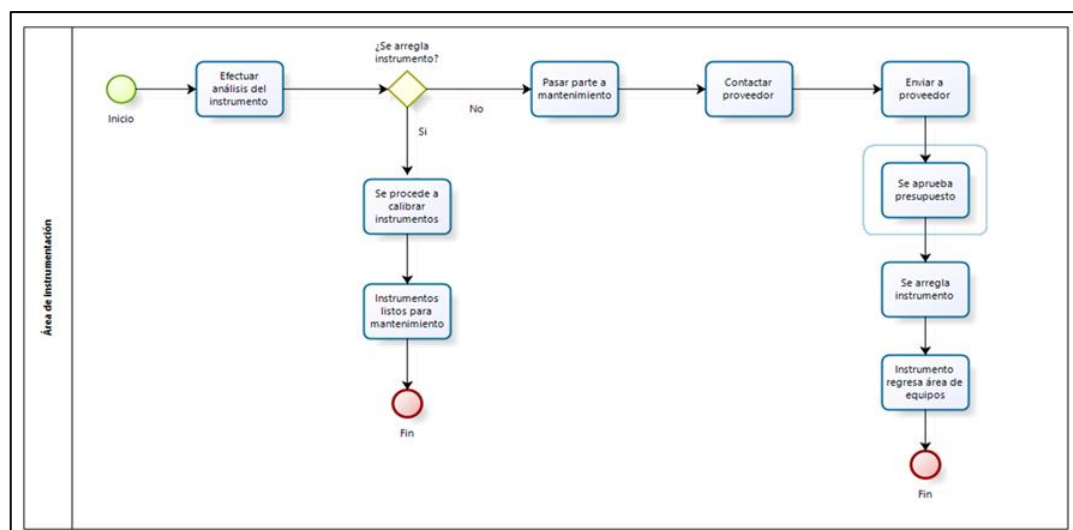
4.2. Evaluación de la situación actual

Para determinar la actual situación de la empresa dedicada al comisionamiento en plantas industriales, se debe verificar el área de instrumentación de equipos, de acuerdo con el Kaizen y considerando los siguientes pilares del mantenimiento productivo total (TPM) antes de la implementación de mejoras:

4.2.1. Mantenimiento de enfocados antes de implementación

- a) **Desarrollo del actual proceso de mantenimiento, que es un proceso empírico en el área de instrumentación en la empresa minera.**

Figura 1. Flujograma del proceso de mantenimiento

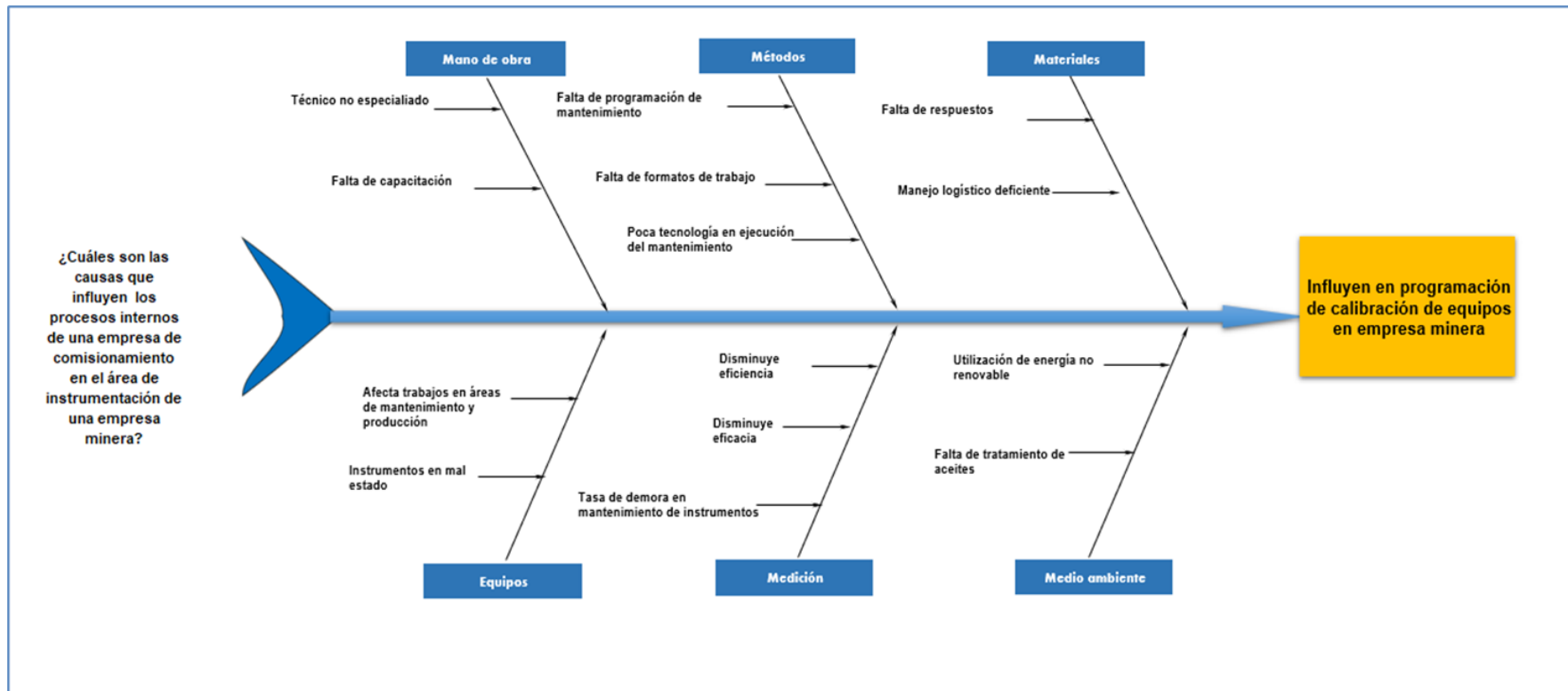


Nota: Elaborado por el Jefe del área de calibración.

b) Diagrama de Ishikawa

Es una herramienta a través de la cual se puede determinar las causas y efectos que inciden en el cumplimiento de objetivos en una empresa, en este caso en el cumplimiento de los programas de aplicación de instrumentos en los diversos equipos instalados en una empresa minera. (89)

Figura 2. Diagrama de Ishikawa



Nota. Elaboración propia.

c) Diagrama Gantt

Para el mejor desarrollo de implementación de TPM lo mejor es desarrollar todas las acciones en un cronograma de tiempo con finalidad que esta herramienta sea la adecuada en la empresa dedicada al comisionamiento de plantas industriales.

Tabla 1. Actividades para implementar TPM

1	PREPARACIÓN
2	Reunión informativa en la empresa
3	Obtener información
4	Actividades propias del área de instrumentación
5	Definir metas y objetivos
6	Desarrollar el plan maestro
7	IMPLANTACIÓN
8	FORMACIÓN Y ENTRENAMIENTO
9	Elaboración de documentos
10	Formación obligatoria del personal
11	Cursos, seminarios y técnicas para implementar TPM
12	Lanzamiento oficial
13	MANTENIMIENTO AUTÓNOMO
14	Estandarizar procedimientos
15	Inspección autónoma
16	Organizar y gestionar área de trabajo
17	SEGURIDAD Y MEDIOAMBIENTE
18	MANTENIMIENTO DE CALIDAD
19	Establecer condiciones básicas de instrumentos
20	Analizar causas de demora de calibración de instrumentos
21	Implementar mejoras
22	Comprobar resultados
23	Estandarizar y replicar

Nota. Elaboración propia.

Tabla 2. Cronograma Gantt implementación TPM

N.º	ACTIVIDADES	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	PREPARACIÓN																
2	Reunión informativa en la empresa																
3	Obtener información																
4	Actividades propias del área de instrumentación																
5	Definir metas y objetivos																
6	Desarrollar el plan maestro																
7	IMPLANTACIÓN																
8	FORMACIÓN Y ENTRENAMIENTO																
9	Elaboración de documentos																
10	Formación obligatoria del personal																
11	Cursos, seminarios y técnicas para implementar TPM																
12	Lanzamiento oficial																
13	MANTENIMIENTO AUTÓNOMO																
14	Estandarizar procedimientos																
15	Inspección autónoma																

4.2.2. Mantenimiento autónomo antes de implementación

Para el control del mantenimiento autónomo, se procede a realizar una auditoría del en el área de calibración de los instrumentos de calibración por parte del personal, para lo cual se efectúa una auditoría del mantenimiento autónomo de los instrumentos:

Tabla 3. Auditoría del mantenimiento autónomo

INSTRUMENTOS DE CALIBRACION	MARCA	Limpieza Externa	Limpieza Interna	Puntaje Total
CALIBRADOR INDUSTRIAL DE PROCESOS	FLUKE	3	3	6
COMUNICADOR HANDHELP	EMERSON	3	2	5
MULTIMETRO DIGITAL	FLUKE	3	1	4
REVELADOR DE TENSION PORTATIL (500 VAC)	FLUKE	3	2	5
SENSORES DE TEMPERATURA	ROSEMOUNT	2	2	4
SENSORES DE PRESION	ROSEMOUNT	2	3	5
SENSORES DE FLUJO	ROSEMOUNT	3	3	6
SENSORES DE NIVEL	VEGA	3	2	5
Total		22	18	40

Nota: Elaboración propia

La máxima calificación por cada instrumento es de valor 5 puntos, la auditoría inicial tiene un valor del 50% en el cumplimiento de los labores de limpieza de instrumentos.

4.2.3. Mantenimiento de calidad antes de implementación

En el mantenimiento de calidad de los instrumentos que se detallan en la (tabla 4) y determinar los tiempos de paradas de equipos en el periodo enero a junio 2024, que se detallan en la (tabla 5), donde la disponibilidad es solamente 60.79% del periodo investigado.

Tabla 4. Detalle de instrumentos

INSTRUMENTOS DE CALIBRACION	MARCA	Equipo
CALIBRADOR INDUSTRIAL DE PROCESOS	FLUKE	A
COMUNICADOR HANDHELP	EMERSON	B
MULTIMETRO DIGITAL	FLUKE	C
REVELADOR DE TENSION PORTATIL (500 VAC)	FLUKE	D
SENSORES DE TEMPERATURA	ROSEMOUNT	E
SENSORES DE PRESION	ROSEMOUNT	F
SENSORES DE FLUJO	ROSEMOUNT	G
SENSORES DE NIVEL	VEGA	H

Nota: Elaboración propia

Tabla 5. Disponibilidad de instrumentos enero - julio 2024

Meses	A	B	C	D	E	F	G	H	Total, Horas Paradas (THPa)	Total, Horas Programado (THPro)	Disponibilidad Instrumentos (THPro – THPa)/THPro
Enero	6	8	12	12	10	11	10	8	77	192	59.90%
Febrero	8	6	10	8	8	9	12	14	75	192	60.94%
Marzo	12	9	5	8	12	10	8	10	74	192	61.46%
Abril	8	12	8	7	8	10	9	12	74	192	61.46%
Mayo	6	12	11	11	8	10	10	9	77	192	59.90%
Junio	7	9	10	8	12	9	12	12	79	192	58.85%
Julio	8	6	8	8	10	12	9	10	71	192	63.02%
Total, horas paradas	55	62	64	62	68	71	70	75	527	1344	60.79%

Nota: Elaboración propia

Fórmula de disponibilidad: $(\text{THPro} - \text{THPa}) / \text{THPro}$

- ✓ THPro = Total horas programadas
- ✓ THPa = Total horas paradas

4.2.4. Mantenimiento planificado antes de implementación

Se detalla todo el proceso de planificación de equipos en el periodo enero – julio 2024 antes de la implementación de mejoras.

Figura 3. Resumen de protocolos Julio 2024

Resumen de Protocolos				
Contrato C116				
Disciplina	Programado	Cerrado	Abierto	% Avance
Instrumentación	600	564	36	94%
Eléctrica	216	214	2	99%
Piping	53	53	0	100%
Mecánica	44	44	0	100%
Total	913	875	38	96%
Contrato C114				
Disciplina	Programado	Cerrado	Abierto	% Avance
Instrumentación	3632	154	3478	4%
Eléctrica	295	55	240	19%
Piping	186	3	183	2%
Mecánica	418	10	408	2%
Total	4531	222	4309	5%

Nota. En los contratos C116 de julio 2024 se tiene en promedio un 96% avance del total de 913 instrumentos programados.

Nota. En los contratos C114 de julio 2024 se tiene en promedio del 5% avance del total de 4513 instrumentos programados, lo cual es un avance muy por debajo de lo estimado.

Figura 4. Resumen de Certificados Julio 2024

Resumen de Certificados				
Contrato C116				
Certificado	Programado	Aprobado	Abierto	% Avance
CCN	33	33	0	100%
LAR	34	33	1	97%
LCRP	34	33	1	97%
TM	33	33	0	100%
TCCC	33	0	33	0%
Contrato C114				
Certificado	Programado	Aprobado	Abierto	% Avance
CCN	117	83	34	71%
LAR	117	9	108	8%
CRP	117	9	108	8%
TM	117	0	117	0%
TCCC	117	0	117	0%

Nota. En el resumen de certificados del contrato C116, el certificado TCCC no tiene ningún avance, 0% lo cual debe de analizarse para mejorar resultados.

Nota. En el resumen de certificados del contrato C114, solamente el certificado CCN se encuentra en un avance del 71%, los demás se encuentran en niveles del 8% (certificados LAR – CRP) y los certificados TM y TCCC no tienen ningún avance (0%).

Figura 5. Resumen de Caminatas Etapa Precomisionamiento

Resumen de Caminatas Etapa Precomisionamiento				
Contrato C116				
Caminata	Programado	Realizado	Abierto	% Avance
Caminata componente liberado	38	1	37	3%
Caminata término mecánico	38	28	10	74%
Caminata Sist. Operable	14	0	14	0%
Contrato C114				
Disciplina	Programado	Realizado	Abierto	% Avance
Caminata componente liberado	117	0	117	0%
Caminata término mecánico	117	0	117	0%
Caminata Sist. Operable	22	0	22	0%

Nota. En el resumen de caminatas etapa precomisionamiento, solamente la caminata término mecánico tiene un 74% de avance, las demás tienen un 3% y 0%, lo que indica claramente el atraso en los contratos C116.

Nota. En el resumen de caminatas etapa precomisionamiento del Contrato C114, ninguna etapa de disciplina tiene avance, 0% en cualquiera de los tres tipos de caminata.

Figura 6. Resumen de Caminatas Construcción

Resumen de Caminatas Construcción				
Contrato C116				
Caminata	Programado	Realizado	Abierto	% Avance
Caminata 85%	38	33	5	87%
Caminata 100%	38	33	5	87%
Contrato C114				
Disciplina	Programado	Realizado	Abierto	% Avance
Caminata 85%	117	64	53	55%
Caminata 100%	117	28	89	24%

Nota. En el resumen de caminatas construcción se encuentran en el contrato C116 un 87% promedio de avance.

Nota. En el resumen de caminatas construcción se encuentran en el contrato C114 un 55% promedio de avance en caminata 85% y 24% avance en caminata 100%.

Tabla 6. Resumen de equipos listado PRECOM Julio 2024

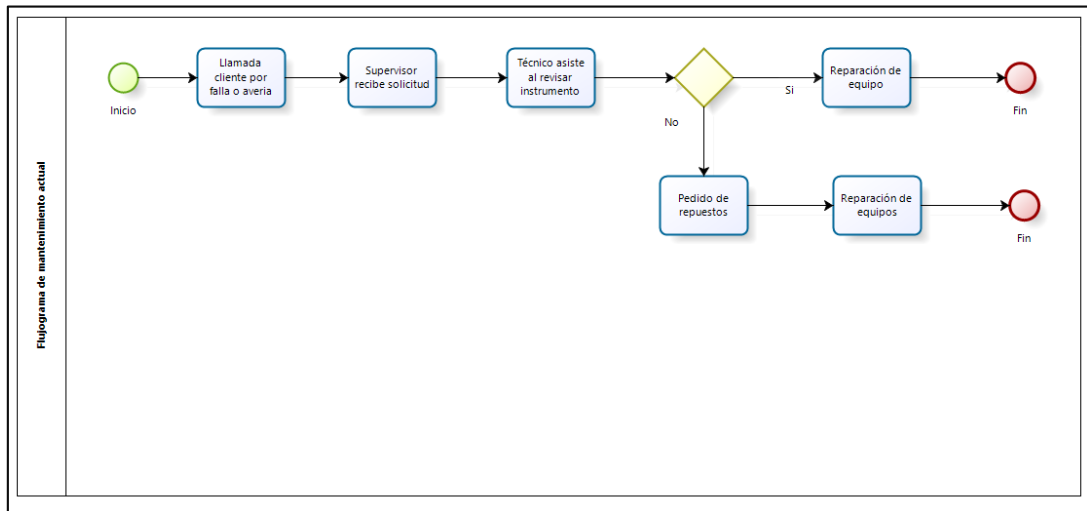
Resumen de Punch List PRECOM - Julio 2024										
Contrato C116	ABIERTOS				CERRADOS				TOTAL, PUNTOS	%
SUBSISTEMAS	CAT. A	CAT. B	CAT. C	TOTAL	CAT. A	CAT. B	CAT. C	TOTAL		
7011-62-001	1	1	0	2	5	2	0	7	9	77.78%
2560-60-001	3	4	0	7	12	5	0	17	24	70.83%
2560-60-002	0	0	0	0	0	1	0	1	1	100.00%
2560-60-003	0	2	0	2	1	0	0	1	3	33.33%
2560-62-001	0	0	2	2	1	0	0	1	3	33.33%
2560-62-002	0	1	0	1	0	0	1	1	2	50.00%
2560-64-001	0	7	0	7	0	0	0	0	7	0.00%
2560-69-001	0	0	1	1	3	1	1	5	6	83.33%
2560-69-002	0	0	2	2	0	0	0	0	2	0.00%
2560-69-003	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0.00%
2560-60-006	7	10	0	17	0	0	0	0	17	0.00%
2562-60-001	8	8	0	16	0	0	0	0	16	0.00%
2562-69-001	0	5	0	5	5	0	0	5	10	50.00%
2562-69-002	3	3	0	6	0	0	0	0	6	0.00%
2562-PRW-001	1	4	0	5	0	0	0	0	5	0.00%
2562-AI-001	0	4	0	4	0	0	0	0	4	0.00%
2562-AP-001	0	3	0	3	0	0	0	0	3	0.00%
2562-AAP-001	0	3	0	3	0	0	0	0	3	0.00%
2562-SH-001	5	8	1	14	0	0	0	0	14	0.00%
2562-SLY-001	0	2	0	2	0	0	0	0	2	0.00%
2562-SLY-002	10	11	3	24	0	0	0	0	24	0.00%
2562-SLY-003	0	2	0	2	0	0	0	0	2	0.00%
2562-LN22-001	1	3	0	4	0	0	0	0	4	0.00%
2563-LN22-002	3	1	1	5	0	0	0	0	5	0.00%
2562-SP-001	3	4	1	8	0	0	0	0	8	0.00%
2562-LN34-003	0	2	0	2	0	0	0	0	2	0.00%
TOTAL	45	88	12	145	27	9	2	38	183	20.77%

Nota. Listado de partes de instrumentos 2560 (Tablero de control), 2562 (Transformadores), 7011(Switchgear 23 kv) de instrumentos en centros mineros. Solamente se cumplió el 20.77% de aplicación de instrumentación. PRECOM = pre control de equipos.

4.2.5. Mantenimiento preventivo antes de implementación

De acuerdo con la situación actual del área de calibración, se debe de indicar inicialmente que no ha existido un flujograma de procedimientos de mantenimiento, solamente se procedía a recibir órdenes del cliente de compañía minera para cumplir reparaciones, que se detalla a continuación:

Figura 7. Diagrama de flujo de mantenimiento preventivo antes implementación



Nota: Sería el flujo determinado en la (figura 4): El cliente daba aviso de una avería o falla a la empresa de comisionamiento. Posteriormente: El supervisor de la empresa indicaba al técnico que vaya al punto a revisar. Seguidamente: El técnico reportaba si el equipo estaba reparado o necesitaba algún repuesto o cambio. Finalmente, dos opciones: El equipo quedaba operativo o pendiente por cambio o reparación o inhabilitado por falta de repuestos.

4.2.6. Actividades de departamentos de administración y apoyo

Las actividades de los departamentos de apoyo en el mantenimiento productivo total en lo actualidad no existen una planificación adecuada, con finalidad de :

- Reducir las actividades burócratas en las adquisiciones de equipos y repuestos, para el servicio de calibración de equipos de la planta de producción .
- Transparencia en la solicitud de materiales y accesorios.
- Mejor comunicación entre las áreas relacionadas.
- Mejor disposición de personal de apoyo, especializado para cumplimiento de objetivos.

4.2.7. Formación y adiestramiento antes implementación

En el área de calibración no ha existido ningún presupuesto asignado para la capacitación del personal que son en totalidad 8 colaboradores.

4.2.8. Gestión de seguridad y entorno antes de implementación

En el TPM es muy importante tener en cuenta un plan de seguridad y medio ambiente, con finalidad de reducir los riesgos para la salud y seguridad de los colaboradores, en este caso del personal del área de instrumentación y calibración de equipos en una empresa minera. A continuación, se detallan las principales restricciones, lineamientos y/o consideraciones antes de efectuar el trabajo de mantenimiento, que se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 77. Relación de restricciones y lineamiento principales.

No.	Restricciones, lineamientos y consideraciones
1	Personal debe de tener autorización del supervisor para iniciar mantenimiento de equipos
2	No se efectuará ninguna actividad cuando exista alerta roja de tormenta eléctrica.
3	Está prohibido ingresar al área de trabajo bajo efectos de alcohol o sustancias prohibidas
4	No operar o realizar trabajo alguno cuando personal se encuentra fatigado.
5	No efectuar trabajo si no cuenta con el IPERC CONTINUA de tarea.
6	No se realizará procedimiento cuando el equipo se encuentra en operación.
7	Uso obligatorio de los trajes ignífugos.
8	Los permisos deben de tener los visados de autorización por parte del supervisor.
9	Verificar que los equipos a trabajar deben contar con fecha de programación de mantenimiento.
10	Posterior al mantenimiento el área de trabajo debe encontrarse el área limpia

Nota: Elaboración propia

4.3. Implementación de mejoras en el TPM

4.3.1. Mejoras enfocadas

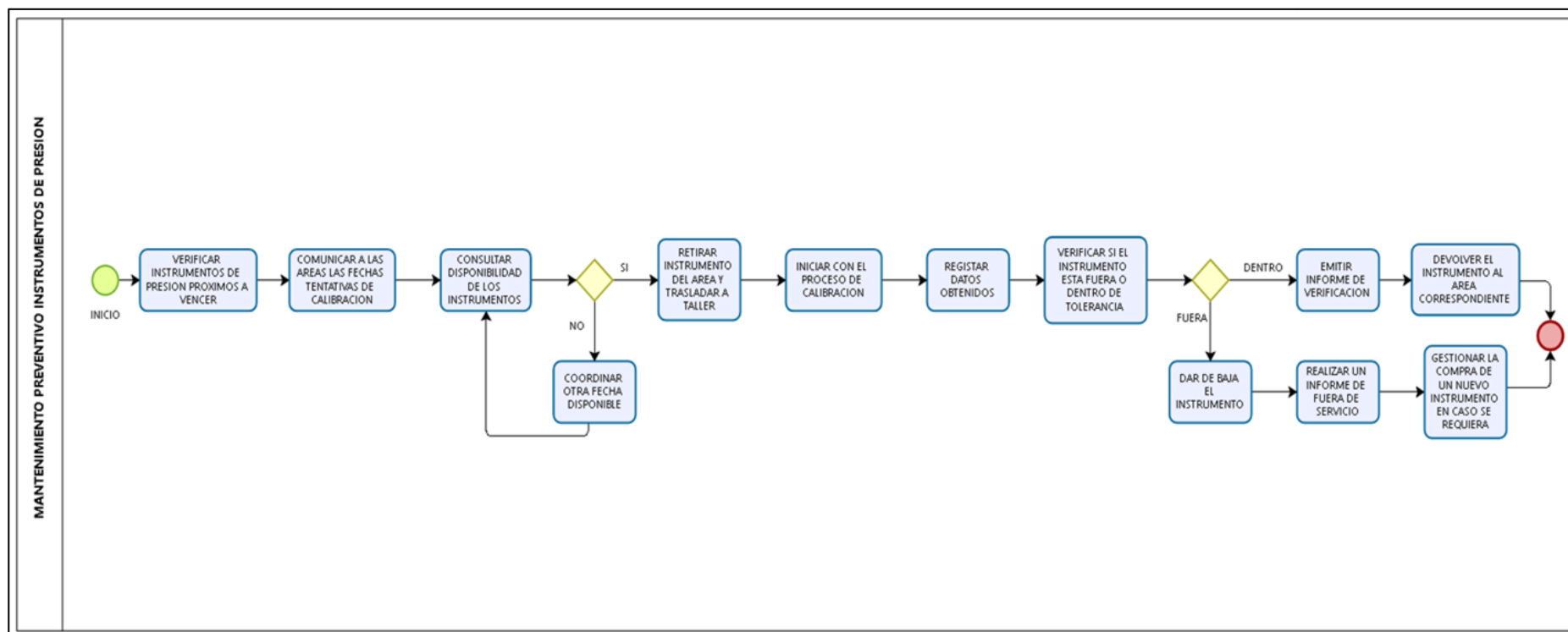
Para la implementación de los pasos en el TPM, se debe de realizar una planificación de la situación actual del área de calibración de equipos en la empresa minera, se aplica el método Kaizen para su desarrollo, debemos de indicar que la empresa no tenía procesos en la calibración de instrumentos, para lo cual se han detallado la situación actual.

- Área escogida: Área de calibración de instrumentos para optimizar los procesos y mejorar la calidad.
- Líder del equipo: Ing. Joaquín Maldonado, responsable del área de calibración de equipos.
- Programar evento Kaizen de acuerdo con las mejoras realizadas:

Evaluar resultados de implementación del TPM.

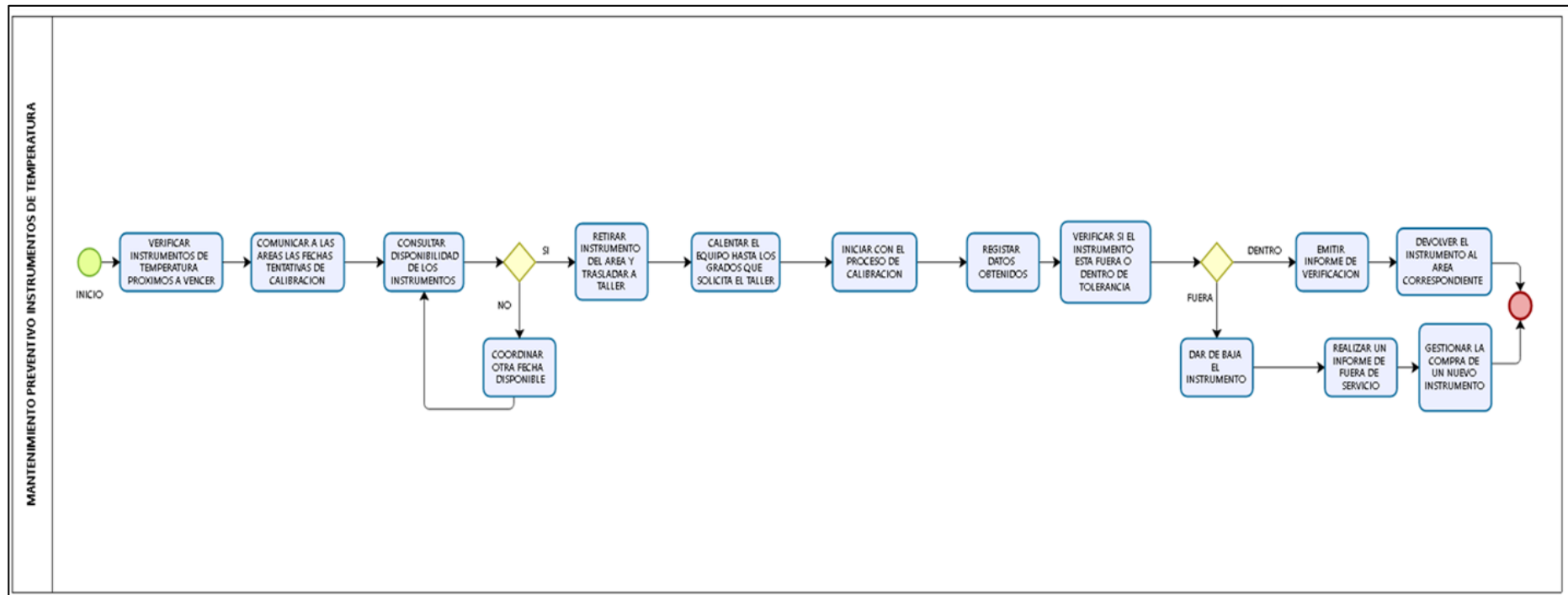
Prevención de mantenimiento de equipos elaborado ver figuras (4, 5 y 6).

Figura 8. Diagrama de mantenimiento de equipos de presión



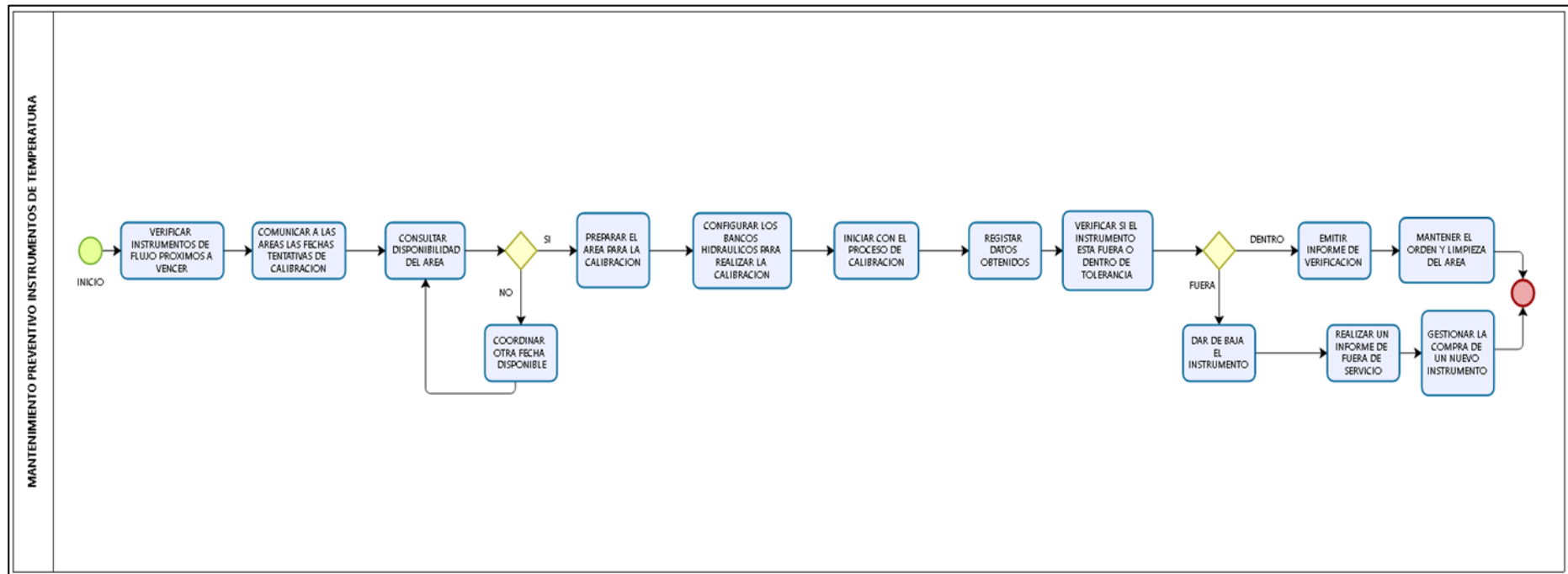
Nota. Elaboración propia

Figura 9. Diagrama de mantenimiento de equipos sensores de flujo y de nivel



Nota: Elaboración propia

Figura 10. Diagrama de mantenimiento de equipos sensores de temperatura



Nota: Elaboración propia.

4.3.2. Mantenimiento autónomo después de implementación

Se ha procedido a efectuar una auditoría sobre el mantenimiento autónomo de los instrumentos de calibración, sobre si los trabajadores cumplen con la limpieza de estos, como parte de su mantenimiento de los instrumentos ver (tabla 8).

Tabla 8. Auditoría instrumentos calibración después de implementación TPM

INSTRUMENTOS DE CALIBRACION	MARCA	Limpieza Externa	Limpieza Interna	Puntaje Total
CALIBRADOR INDUSTRIAL DE PROCESOS	FLUKE	5	4	9
COMUNICADOR HANDHELP	EMERSON	4	4	8
MULTIMETRO DIGITAL	FLUKE	4	5	9
REVELADOR DE TENSION PORTATIL (500 VAC)	FLUKE	5	4	9
SENSORES DE TEMPERATURA	ROSEMOUNT	5	4	9
SENSORES DE PRESION	ROSEMOUNT	5	5	10
SENSORES DE FLUJO	ROSEMOUNT	4	5	9
SENSORES DE NIVEL	VEGA	5	5	10
Total		37	36	73

Nota. Elaboración propia

Tabla 9. Comparación de Auditorías

Auditoria	Antes de Implementación	Después de Implementación	Incremento
CALIBRADOR INDUSTRIAL DE PROCESOS	6	9	50.0%
COMUNICADOR HANDHELP	5	8	37.5%
MULTIMETRO DIGITAL	4	9	125.0%
REVELADOR DE TENSION PORTATIL (500 VAC)	5	9	80.0%
SENSORES DE TEMPERATURA	4	9	125.0%
SENSORES DE PRESION	5	10	100.0%
SENSORES DE FLUJO	6	9	50.0%
SENSORES DE NIVEL	5	10	100.0%
Totales	40	73	92.5%

Nota. Elaboración propia

Resultados después de implementar el TPM, en la auditoría sobre cumplimiento del mantenimiento autónomo, se ha mejorado en promedio en 92.5% en el total de los instrumentos, igualmente en la (tabla 9) se detalla el incremento por cada instrumento.

4.3.3. Mantenimiento planificado según protocolos después de implementación

A continuación, se detallan todos los cuadros de resumen de protocolos de los diversos tipos de contratos de la empresa de comisionamiento de plantas industriales:

Tabla 80. Resumen de Punch List POSTCOM - Diciembre 2024

Resumen de Punch List POSTCOM - Diciembre 2024										
Contrato C116	ABIERTOS				CERRADOS				TOTAL	%
SUBSISTEMAS	CAT. A	CAT. B	CAT. C	TOTAL	CAT. A	CAT. B	CAT. C	TOTAL	PUNTOS	
7011-62-001	0	0	0	0	6	3	0	9	9	100.00%
2560-60-001	1	1	0	2	14	8	0	22	24	91.67%
2560-60-002	0	0	0	0	0	1	0	1	1	100.00%
2560-60-003	0	1	0	1	1	1	0	2	3	66.67%
2560-62-001	0	0	0	0	1	0	2	3	3	100.00%
2560-62-002	0	0	0	0	0	1	1	2	2	100.00%

2560-64-001	0	2	0	2	0	5	0	5	7	71.43%
2560-69-001	0	0	1	1	3	1	1	5	6	83.33%
2560-69-002	0	0	0	0	0	0	2	2	2	100.00%
2560-69-003	0	0	0	0	0	0	1	1	1	100.00%
2560-60-006	2	3	0	5	5	7	0	12	17	70.59%
2562-60-001	2	2	0	4	6	6	0	12	16	75.00%
2562-69-001	0	2	0	2	5	3	0	8	10	80.00%
2562-69-002	0	1	0	1	3	2	0	5	6	83.33%
2562-PRW-001	1	1	0	2	0	3	0	3	5	60.00%
2562-AI-001	0	1	0	1	0	3	0	3	4	75.00%
2562-AP-001	0	1	0	1	0	2	0	2	3	66.67%

2562-AAP-001	0	0	0	0	0	3	0	3	3	100.00%
2562-SH-001	1	2	1	4	4	6	0	10	14	71.43%
2562-SLY-001	0	0	0	0	0	2	0	2	2	100.00%
2562-SLY-002	3	4	1	8	7	7	2	16	24	66.67%
2562-SLY-003	0	0	0	0	0	2	0	2	2	100.00%
2562-LN22-001	0	1	0	1	1	2	0	3	4	75.00%
2563-LN22-002	1	0	0	1	2	1	1	4	5	80.00%
2562-SP-001	1	1	0	2	2	3	1	6	8	75.00%
2562-LN34-003	0	0	0	0	0	2	0	2	2	100.00%
TOTAL	12	23	3	38	60	74	11	145	183	79.23%

Nota. Listado de partes de instrumentos 2560 (tablero de control), 2562 (Transformadores), 7011 (Switchgear 23 Kv) de instrumentos en centros mineros. Se mejoró la aplicación de instrumentación hasta llegar a un 79.23%.

El incremento entre PRECOM Julio 2024 y POSTCOM Diciembre 2024, demuestra crecimiento de la eficiencia en un 58.46% (ver tabla 11), donde se mide el cumplimiento de los programas de mantenimiento efectuados con respecto a los programados.

Tabla 91. Comparación eficiencia entre PRECOM Julio2024 vs POSTCOM Dic2024

PRECOM JULIO 2024			POSTCOM DIC 2024			
7	9	77.78%	9	9	100.00%	
17	24	70.83%	22	24	91.67%	
1	1	100.00%	1	1	100.00%	
1	3	33.33%	2	3	66.67%	
1	3	33.33%	3	3	100.00%	
1	2	50.00%	2	2	100.00%	
0	7	0.00%	5	7	71.43%	
5	6	83.33%	5	6	83.33%	
0	2	0.00%	2	2	100.00%	
0	1	0.00%	1	1	100.00%	
0	17	0.00%	12	17	70.59%	
0	16	0.00%	12	16	75.00%	
5	10	50.00%	8	10	80.00%	
0	6	0.00%	5	6	83.33%	
0	5	0.00%	3	5	60.00%	
0	4	0.00%	3	4	75.00%	
0	3	0.00%	2	3	66.67%	
0	3	0.00%	3	3	100.00%	
0	14	0.00%	10	14	71.43%	
0	2	0.00%	2	2	100.00%	
0	24	0.00%	16	24	66.67%	
0	2	0.00%	2	2	100.00%	
0	4	0.00%	3	4	75.00%	
0	5	0.00%	4	5	80.00%	
0	8	0.00%	6	8	75.00%	
0	2	0.00%	2	2	100.00%	
38	183	20.77%	145	183	79.23%	
						58.46%

Nota. Resultados de comparación entre PRECOM Julio 2024 vs POSTCOM Dic 2024

El incremento entre PRECOM Julio 2024 y POSTCOM Diciembre 2024, demuestra crecimiento de la eficacia en un 58.46% (ver tabla 12), donde se mide el cumplimiento de los programas de mantenimiento efectuados con respecto a los programados.

Tabla 102. Comparación eficacia entre PRECOM Julio2024 vs POSTCOM Dic2024

PRECOM JULIO 2024			POSTCOM DIC 2024		
5	8	62.50%	10	15	66.67%
17	25	68.00%	22	15	146.67%
1	3	33.33%	2	2	100.00%
1	3	33.33%	2	3	66.67%
1	3	33.33%	3	3	100.00%
1	4	25.00%	2	2	100.00%
0	8	0.00%	5	8	62.50%
7	8	87.50%	5	6	83.33%
0	8	0.00%	2	2	100.00%
0	8	0.00%	1	1	100.00%
0	20	0.00%	12	18	66.67%
0	16	0.00%	12	18	66.67%
10	15	66.67%	8	12	66.67%
0	6	0.00%	5	10	50.00%
0	5	0.00%	3	5	60.00%
0	4	0.00%	3	4	75.00%
0	3	0.00%	2	3	66.67%
0	3	0.00%	3	3	100.00%
2	14	14.29%	10	16	62.50%
0	2	0.00%	2	2	100.00%
4	24	16.67%	16	25	64.00%
0	2	0.00%	2	2	100.00%
0	4	0.00%	3	4	75.00%
2	5	40.00%	4	5	80.00%
2	8	25.00%	6	10	60.00%
2	2	100.00%	2	2	100.00%
55	211	26.07%	145	194	74.74%

Nota. Resultados de comparación entre PRECOM Julio 2024 vs POSTCOM Dic 2024

4.3.4. Mantenimiento de calidad después de la implementación

Se procede a realizar la auditoria después de implementación del TPM, en la (tabla 13) se identifican a los instrumentos de calibración, asimismo en la (tabla 14) se determina el programa de mantenimiento de acuerdo con la marca de cada instrumento y es la recomendación que los fabricantes indican en sus catálogos de mantenimiento.

Tabla 113. Instrumentos de calibración

INSTRUMENTOS DE CALIBRACION	MARCA	Equipo
CALIBRADOR INDUSTRIAL DE PROCESOS	FLUKE	A
COMUNICADOR HANDHELP	EMERSON	B
MULTIMETRO DIGITAL	FLUKE	C
REVELADOR DE TENSION PORTATIL (500 VAC)	FLUKE	D
SENSORES DE TEMPERATURA	ROSEMOUNT	E
SENSORES DE PRESION	ROSEMOUNT	F
SENSORES DE FLUJO	ROSEMOUNT	G
SENSORES DE NIVEL	VEGA	H

Nota. Elaboración Propia.

Tabla 124. Programa de revisión de instrumentación

Instrumentos reparación	Periodo
Tablero de control	Mensual
Transformadores	Cada 6 meses
Bombas de sumidero	Cada 6 meses
Switchgear	Cada 6 meses
Equipo de aire acondicionado	Cada 6 meses
Subestaciones	Mensual

Nota. Elaboración propia

Tabla 135. Disponibilidad de instrumentos en el periodo Agosto-Diciembre 2024

Meses	A	B	C	D	E	F	G	H	Total, Horas Paradas (THPa)	Total, Horas Programado (THPro)	Disponibilidad Instrumentos (THPro- THPa) / THPro
Agosto	2	3	3	4	5	3	2	4	26	192	86.46%
Setiembre	3	2	4	3	3	3	4	3	25	192	86.98%
Octubre	4	4	3	3	3	4	5	4	30	192	84.38%
Noviembre	2	3	5	2	4	3	3	4	26	192	86.46%
Diciembre	3	4	4	4	2	4	4	5	30	192	84.38%
Total, horas paradas	14	16	19	16	17	17	18	20	137	960	85.73%

Nota. Elaboración propia

Fórmula de disponibilidad: $(THPro - THPa) / THPro$

- ✓ THPro = Total horas programadas
- ✓ THPa = Total horas paradas

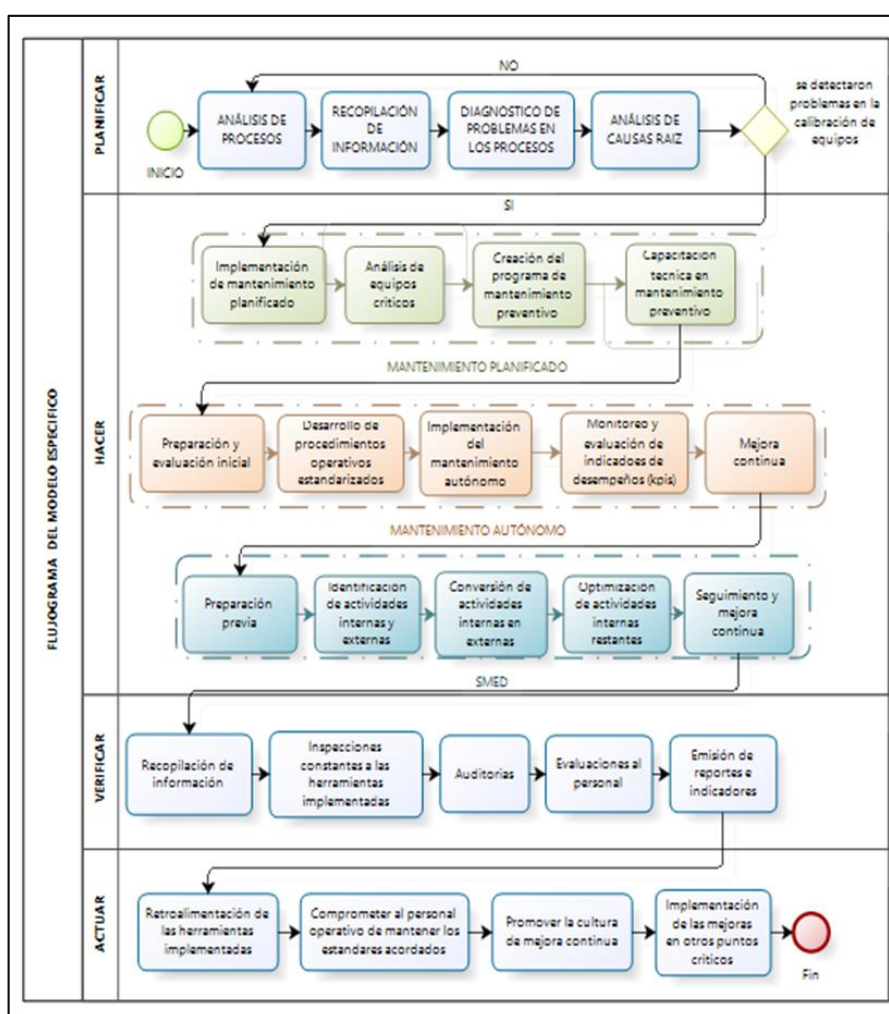
La disponibilidad de instrumentos de calibración se ha incrementado de 60.79% al 85.73%, con un valor del 24.94% en la disponibilidad de los instrumentos para el control de los equipos en la empresa minera.

4.3.5. Prevención del mantenimiento: procedimiento de inspección de equipos

Para la prevención de mantenimiento se ha procedido a desarrollar el procedimiento general de mantenimiento de equipos de calibración, para mejora de resultados.

Por lo cual a continuación se detalla un resumen del desarrollo de las soluciones (ver figura 5) indicadas en los objetivos específicos con la finalidad de lograr una mejora en la eficiencia del 58.46% entre la evaluación del Precom 2024 vs Postcom 2024, para lograr este resultado se elaboró inicialmente el procedimiento de mantenimiento preventivo de instrumentos y el desarrollo de todos los manuales de procedimientos por calibración de equipos, mediante el flujograma de solución.

Figura 11. Flujograma del Modelo de Solución.



Como parte de la prevención del mantenimiento preventivo (ver tabla 20), se procede a detallar todos los siguientes procesos de mantenimiento de los diversos instrumentos de mina, los cuales no existían, que se detallan a continuación:

- Mantenimiento a instrumentos de Bombas sumideros y sumergibles (ver anexo 5)
- Mantenimiento de instrumentos de filtro de prensa (ver anexo 6).
- Mantenimiento a instrumentos del sistema de aire de instrumentación (ver anexo 7)
- Mantenimiento a instrumentos de línea de agua de sello (ver anexo 8)
- Mantenimiento, inspección y calibración de sensores de temperatura (ver anexo 9).
- Mantenimiento, inspección y calibración de sensores de presión (ver anexo 10).
- Mantenimiento e inspección a instrumentos de unidad hidráulica (ver anexo 11).
- Mantenimiento a instrumentos en celdas de flotación y columna. (ver anexo 12)
- Mantenimiento, inspección y calibración de sensores de flujo (ver anexo 13).
- Mantenimiento, inspección y contraste de sensores de nivel (ver anexo 14).

Continuando con el programa de mantenimiento preventivo de instrumentos, debido al uso de los equipos en la planta minera, la prioridad de mantenimiento de equipos con periodo de tiempo mensual, son los filtros de prensa, los de línea de agua de sello y los sensores de flujo y de nivel, que se detallan en la (tabla 9), como los costos estimados de repuestos anuales son S/ 30,000 soles estimados y la compra de dos equipos de calibración por valor de S/ 25,000 cada uno, da un total de S/ 80,000 soles anuales en compras.

Se debe de mencionar que el área de calibración en la empresa minera nunca ha tenido un plan de mantenimiento de los instrumentos de calibración, por lo cual inicialmente se han desarrollado los manuales de mantenimiento de cada uno de los instrumentos a considerarse en el programa de calibración, posteriormente de acuerdo a la (tabla 9) se planteó un programa de mantenimiento preventivo de instrumentos con finalidad que mensualmente se da una calibración a los equipos, pero con más tiempo de calibración a los siguientes instrumentos debido al proceso continuo de la planta de producción en la empresa minera de las 24 horas al día:

- Instrumentos para filtros de prensa (línea de separación de sólidos).
- Instrumentos para línea de agua de sello (chequeo de las bombas y turbinas para evitar fugas de líquidos).
- Instrumentos para sensores de flujo (conocidos como flujómetros o caudalímetros, indispensables para medir la tasa de flujo de fluidos que pueden líquidos o gases en el proceso de mina).

- Instrumentos para sensores de nivel (dispositivos utilizados para medir y controlar el nivel de líquidos o sólidos en tanques, recipientes y otros sistemas), para medir niveles de tanques de agua, combustibles.

Asimismo, para el mantenimiento de los equipos de calibración de acuerdo con los repuestos de los equipos estimados por los técnicos del área, se estima S/ 30,000 soles anuales para mantenimiento preventivo de los equipos de calibración, esta calibración de los equipos ha sido fundamental en la obtención del incremento de la eficiencia en 58.42% (ver [tabla 11](#)).

Tabla 16. Programa de mantenimiento preventivo de equipo según marca.

INSTRUMENTOS DE CALIBRACION	MARCA	PROGRAMA DE MANTENIMIENTO EQUIPO SEGÚN MARCA
CALIBRADOR INDUSTRIAL DE PROCESOS	FLUKE	Cada 6 meses
COMUNICADOR HANDHELP	EMERSON	Cada 6 meses
MULTIMETRO DIGITAL	FLUKE	Cada 3 meses
REVELADOR DE TENSION PORTATIL (500 VAC)	FLUKE	Cada 6 meses
SENSORES DE TEMPERATURA	ROSEMOUNT	Cada 3 meses
SENSORES DE PRESION	ROSEMOUNT	Cada 3 meses
SENSORES DE FLUJO	ROSEMOUNT	Cada 3 meses
SENSORES DE NIVEL	VEGA	Cada 3 meses

Nota. Elaboración propia.

Además en el anexo (5 al 14) se han elaborado los procesos de mantenimiento de cada uno de los instrumentos que se deben de realizar mantenimiento preventivo, no se dispone del método SMED porque nos es necesario su aplicación, tampoco se aplica la metodología 5S (no hacemos limpieza ni ordenamiento del almacén de herramientas), no tenemos tiempos de reparación de

equipos para aplicar el AMEF (análisis de modo y efecto de fallas) y los indicadores del MTBF (tiempo medio entre fallos) ni MTTR (tiempo medio de reparación) no se consideran porque no estamos considerando los tiempos de parada de equipos, sólo la aplicación del mantenimiento preventivo de los instrumentos.

Detalle del mantenimiento preventivo de los instrumentos de calibración según fabricante:

- Calibrador industrial de procesos (Fluke): Para su mantenimiento preventivo se debe realizar una inspección visual para verificar sus componentes para detectar signos de desgastes, daño o corrosión. Limpieza permanente para evitar suciedad por polvo y residuos que afecten el adecuado funcionamiento del calibrador.
- Comunicador HANDHELP (Emerson): Este mantenimiento implica acciones periódicas con finalidad de prolongar vida útil del calibrador y evitar fallas, por lo cual debe existir limpieza diaria de la carcasa y pantallas para eliminar polvo y suciedad. En todo momento evitar contacto con líquidos y humedad, porque afecta componentes electrónicos, verificar la batería que debe estar cargada con regularidad y evitar contacto del equipo con altas temperaturas.
- Multímetro digital (Fluke): Según proceso del fabricante debe tener las siguientes acciones: (i) Inspección visual: verificar que multímetro, sondas y cables, no presenten daños físicos, revisar pantalla y botones. (ii) Limpieza debe ser diaria, usando un paño húmedo limpiando carcasa y terminales de sondas. (iii) Almacenamiento en lugar limpio, libre de humedad y temperatura controlada no muy elevada.
- Revelador de tensión portátil (500 VAC) (Fluke): Consideran importante que el instrumento debe ser limpiado el exterior con paño húmedo en un detergente suave, con finalidad de eliminar manchas y limpiar analizador con alcohol isopropílico no mayor al 70%, porque puede dañar al equipo. Verificar en todo momento el estado de batería, para que funcione el instrumento al 100%.
- Sensores de temperatura (Rosemount): El mantenimiento preventivo de un sensor de temperatura implica la inspección y limpieza periódica, la comprobación de conexiones; con finalidad de eliminar la suciedad, residuos o polvos que afecten la medición, asegurar siempre que cables y conectores se encuentren en buen estado, para evitar conexiones flojas o que tengan corrosión por humedad del ambiente.
- Sensores de presión (Rosemount): El mantenimiento preventivo implica limpiar, inspeccionar y calibrar el sensor periódicamente para garantizar medición precisa y fiable. Limpiar sensor con paño suave y disolvente adecuado para eliminar cualquier acumulación de suciedad o residuos. En el caso de transductores de presión, se

recomienda limpiarlos después de 20 disparos o una vez por semana, especialmente si se someten a tratamientos químicos o tienen altos niveles de H_2 .

- Sensores de flujo (Rosemount): El mantenimiento preventivo de un sensor de flujo (o caudalímetro) debe tener limpieza regular, debido a posibles daños o desgaste, la limpieza del instrumento es desconectar el sensor, limpieza con un cepillo suave o aire acondicionado para retirar residuos. Evitar el uso de productos químicos cerca al instrumento. Revisar carcasa en todo momento y sus componentes para evitar desgaste, como verificar sellos y conexiones.
- Sensores de nivel (VEGA): Para garantizar una medición precisa y fiable, los sensores de nivel deben retirarse periódicamente para su limpieza, inspección y posterior calibración periódica para ajustes del canal del sensor. Verificar el voltaje o resistencia con un multímetro, para comparar señal de salida del valor o rango esperado.

4.3.6. Plan periódico de ajuste de instrumentos

Un plan periódico de ajuste de instrumentos, o plan de calibración, es un documento que define los procedimientos, frecuencias y responsables para asegurar la precisión y confiabilidad de los instrumentos de medición. Este plan ayuda a mantener la cadena de trazabilidad y asegura que las medidas sean precisas y válidas, para lo cual se han desarrollado los diversos manuales de los instrumentos (ver anexo 5 al 14). Después de elaborarse el programa de mantenimiento preventivo anual de los equipos de calibración, existe un programa periódico de ajuste que se detalla en la (tabla 9), como complemento del programa de mantenimiento preventivo anual, este programa es exclusivamente de limpieza de equipos, prueba de equipos, cambio de repuestos y completar fichas de mantenimiento.

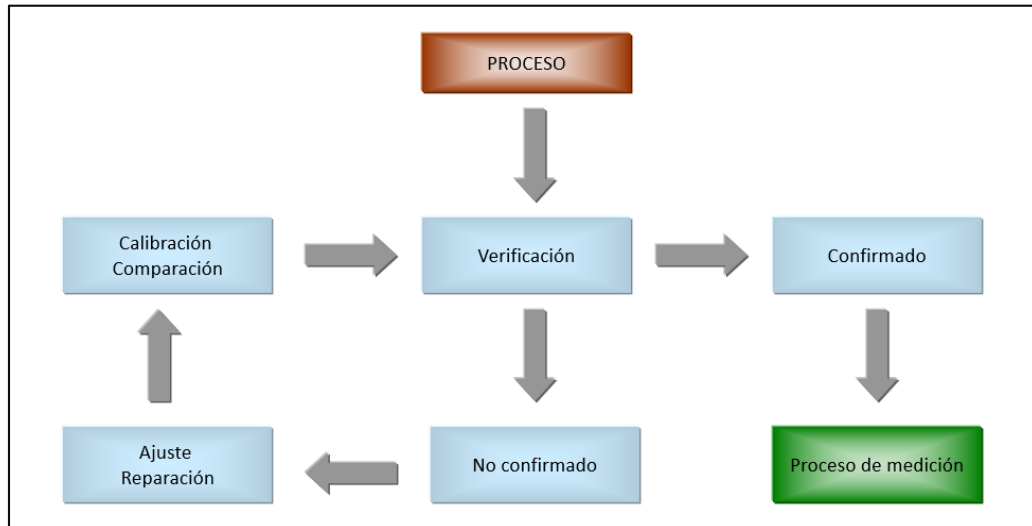
Antes del plan de ajuste se desarrolla un diagrama de flujo de la gestión de metrología de los instrumentos, que se detalla a continuación en la (figura 5) el cual se aplica a todos los instrumentos de calibración.

Posteriormente en la (tabla 10) se desarrolla el programa de ajuste de equipos y verificar el dictamen de los equipos, si se mantienen o se den de baja, por la compra de otros equipos de calibración, este programa es de acuerdo con las recomendaciones de las marcas de los equipos, pero se debe de indicar que la limpieza superficial del equipo calibrador debe ser diaria, con finalidad que la suciedad y el polvo afecte al equipo.

Un flujograma de gestión metrológica de calibración de equipos define los pasos a seguir para asegurar la precisión y confiabilidad de los instrumentos de medición. Este proceso implica la

planificación, ejecución, documentación y seguimiento de la calibración, garantizando que los equipos midan con precisión y cumplan con los estándares requeridos.

Figura 12. Diagrama de proceso de confirmación metrológica



Nota: Elaboración propia

Proceso de calibración de los instrumentos según fabricante:

- Calibrador industrial de procesos (Fluke): La importancia del proceso de calibración es evitar futuros inconvenientes del instrumento, este se debe de efectuar cada 6 meses, debe de verificarse lo siguiente: (i) Manómetros: Calibración mediante uso de un medido de presión y verificar sus lecturas del manómetro a diferentes valores para confirmar que manómetro funciona correctamente. (ii) Termómetros: Se calibra mediante baño de temperatura a nivel controlado y comparando lecturas a diversas temperaturas, para confirmar su correcto uso. (iii) Transmisores de presión, mediante patrón de presión y verificando en todo momento señales del transmisor para comprobar valores.
- Comunicador HANDHELP (Emerson): De acuerdo con el fabricante los pasos para la calibración del instrumento comunicador de campo son los siguientes: (i) Conectar equipo y verificar su conexión con el sistema, para verificar sus comandos de transmisión para su configuración. (ii) Posteriormente se comparan los valores de acuerdo con un patrón para calibrar el instrumento, debe de cumplir con los 5 puntos de calibración, lecturas al 0 %, 25 %, 50 %, 75 % y 100 % del rango de calibración (iii) Finalmente, se comparan los valores medidos con el valor correcto, se documentan la desviación, se verifica la medición y se emite certificado del fabricante.

- **Multímetro digital (Fluke):** El proceso de calibración se inicia a un patrón de referencia de tensión, se comparan las lecturas del multímetro con el respectivo patrón y se ajusta la configuración del multímetro para alinearlo. Además, verificar los componentes internos que deben de tener lecturas exactas, verificando baterías y cables que se encuentren en buenas condiciones.
- **Revelador de tensión portátil (500 VAC) (Fluke):** La calibración del equipo se debe hacer cada seis meses obligatoriamente, debido a que según estadísticas de la marca se puede encontrar lecturas en pantalla del instrumento fuera del rango, por lo que el medidor requiere un ajuste o calibración. Para lo cual el termopar tipo K se conecta a la entrada de temperatura del medidor y ambos resultados deben de tener igual temperatura. El tiempo de calibración depende del uso, pero lo recomendable son dos calibraciones al año.
- **Sensores de temperatura (Rosemount):** Consiste en comparar un Patrón con el Sensor de Temperatura realizando varios puntos de medición en su rango de uso y repitiendo el primero de nuevo al final para determinar el error por repetibilidad del Sensor de Temperatura. Para Sensores de Temperatura con resoluciones de 1 mK o menores esta forma de determinar el error de repetibilidad se sustituye por la repetición del mismo punto de medida 10 veces.
- **Sensores de presión (Rosemount):** Los métodos convencionales de calibración del sensor de presión se basan en aplicar presión a un volumen de líquido o gas contenido en una cámara de prueba rígida. Dicha presión se mide con precisión y se compara con la señal de salida del objeto de prueba. La presión p se define como un esfuerzo normal que actúa en todas las direcciones. Es el resultado de una fuerza F que se distribuye de forma uniforme sobre una superficie A . Con esta definición, la presión ($\text{Pa} = \text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s}^2)$) puede rastrearse mediante la fuerza y la superficie hasta las unidades SI de kilogramos, metros y segundos. La presión se puede medir directamente convirtiéndola en una fuerza usando una membrana o un cilindro con una superficie definida.

- Sensores de flujo (Rosemount): La calibración de este tipo de instrumento se efectúa midiendo la escala o medición del medidor de flujo con la respectiva escala de medición estándar y se ajusta la medida hasta llegar al rango. La calibración del medidor de flujo implica comparar las mediciones de un medidor de flujo en funcionamiento con las de un dispositivo de medición de flujo estándar en las mismas condiciones y ajustar la escala del medidor de flujo para que coincida estrechamente con el estándar.
- Sensores de nivel (VEGA): La calibración de medidores de nivel es de forma rápida y efectiva, ajustar y perfeccionar el dispositivo con finalidad de garantizar que proporcione mediciones de nivel precisas. Esta calibración se utiliza mediante el software PACTware y los DTM (Device Type Manager), verificar el nivel mínimo y máximo del sensor usando un estándar que coincida la densidad y viscosidad del fluido de proceso.

Tabla 17. Plan periódico de ajuste de instrumentos.

Instrumentos para equipos	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
Calibrado Industrial de procesos						X						X
Comunicador HANHELP						X						X
Multímetro Digital			X			X			X			X
Revelador de tensión portátil (500 VAC)						X						X
Sensores de temperatura			X			X			X			X
Sensores de presión			X			X			X			X
Sensores de flujo			X			X			X			X
Sensores de nivel			X			X			X			X

Nota. Elaboración propia

4.3.6.1. Plan detallado de actividades de mantenimiento correctivo

El plan detallado de actividades ha sido, establecer el programa de mantenimiento preventivo de los instrumentos de los diversos equipos en la empresa minera, posteriormente capacitación del personal y los resultados se aprecian en la aplicación de mejoras del área de instrumentación, que se aprecia en la (tabla 9), el cual ha servido para mejorar los resultados de los programas de mantenimiento de los equipos de calibración.

Un plan de mantenimiento correctivo para equipos de calibración debe enfocarse en la reparación o sustitución de componentes defectuosos que impiden el funcionamiento correcto de los equipos, garantizando su precisión y confiabilidad. Este plan incluye la detección, diagnóstico, planificación de la solución, ejecución de la solución, pruebas, verificación y documentación, establecidos en la (tabla 9) y programa de ajuste en la (tabla 10).

El plan de la actividades de mantenimiento correctivo de los equipos de calibración, involucra los siguientes pasos, considerando el diagrama de flujo de metodología (ver figura 6) según el proceso de mantenimiento preventivo de los equipos de calibración que se detalla a continuación:

1. Detección y diagnóstico del problema: Identificar falla o mal funcionamiento del equipo y dar solución a la causa.
2. Planificación y recursos: Determinar las acciones de mejora y realizar mantenimiento con el personal especializado del área.
3. Ejecución de la solución: Efectuar la reparación o sustituir componentes defectuosos, para generar recomendaciones al fabricante sobre el desgaste de las partes y piezas.
4. Pruebas y verificación: Verificar que el instrumento o equipo de calibración funcione correctamente posterior a la reparación.
5. Documentación y seguimientos: Se debe de efectuar todo un reporte de las acciones efectuadas, desde descripción de fallas hasta resultados de pruebas.
6. Análisis de causa-raíz: Importante un análisis más profundo para determinar causas de las fallas y prevenir futuros problemas.

Mantenimiento correctivo de instrumentos de calibración, dejando como aspecto importante que este tipo de mantenimiento es costoso, lo que puede llevar a cumplir con reparar instrumento o de lo contrario decidir la compra de un nuevo instrumento.

- Calibrador industrial de procesos (Fluke): El mantenimiento correctivo se realiza cuando fallan los sensores por dar lecturas erróneas, por desgaste de componentes del instrumento (piezas móviles, engranajes u otros lo que genera reemplazo); daños en las conexiones que generan desgaste, y lo principal, errores del software (afecta al instrumento y se necesita reparar el software).
- Comunicador HANDHELP (Emerson): En este tipo de instrumento el mantenimiento correctivo es aplicar un mantenimiento directo al hardware, limpiar de polvo en ventiladores, desfragmentar discos duros del instrumento, cumplir con escanear errores en el sistema y finalmente, verificar temperatura del instrumento.
- Multímetro digital (Fluke): Cuando el equipo falla de un momento a otro en sus lecturas, se procede a realizar el mantenimiento correctivo con la finalidad de verificar los defectos o fallas para su reparación, siendo el fallo más común (i) falla del hardware por calentamiento excesivo, fuente de alimentación insuficiente, fallo del disco duro por falla de ventilador interno, falla de batería, todos estos factores afectan los problemas de memoria. (ii) Limpieza del software por demora en inicio y cierre del programa.
- Revelador de tensión portátil (500 VAC) (Fluke): El mantenimiento correctivo se efectúa cuando se presentan fallas imprevistas del instrumento, primera acción es desmontaje y limpieza, reparar los componentes dañados, ajuste y volver a calibrar equipos, finalmente se realiza pruebas de funcionamiento para verificar si el problema ha sido resuelto de lo contrario, se verifica los pasos nuevamente y si vuelve a fallar se descarta instrumento y se sugiere un nuevo equipo.
- Sensores de temperatura (Rosemount): Ante la falla imprevista del sensor de temperatura, se debe proceder inicialmente a su limpieza, se procede a realizar las pruebas de situación y diagnóstico del instrumento, se verifica el cableado por cortes o aplastamientos, si se puede cambiar se hacen posteriormente el proceso de trabajo del sensor, de lo contrario se procede al cambio del sensor.
- Sensores de presión (Rosemount): Cuando existe falla imprevista del sellado del sensor, es cuando la salida no cambia, es decir la presión aumenta y cae repentinamente, se debe de cambiar el anillo de sellado y volver a verificar el funcionamiento del instrumento, caso contrario que el instrumento no cumple la norma estándar, se procede al cambio del instrumento.
- Sensores de flujo (Rosemount): Se verifica el instrumento de acuerdo con el control del sistema de nivel de flujo, para su mantenimiento y verificar si al limpiar las paletas o reemplazar por estar quebradas o cable dañado, se vuelve a instalar sensor de nivel y

se reestablece el flujo del sistema, se procede a verificar los controles estándar y si difieren se procede al cambio del sensor.

- Sensores de nivel (VEGA): El instrumento falla en forma imprevista cuando la causa de falla puede ser por una señal incorrecta o lectura errática, para lo cual se debe de desmontar el sensor y efectuar los ajustes necesarios, mediante el uso del software PACTware y los DTM (Device Type Manager), verificar el nivel mínimo y máximo del sensor usando un estándar que coincida la densidad y viscosidad del fluido de proceso, si la falla continúa se procede al cambio del sensor y se procede a enviar el sensor al fabricante de la marca.

En la figura 13 se detalla el programa de mantenimiento a efectuarse en el área de calibración

Figura 13. Programa de mantenimiento de equipos de calibración

ETAPA	ACTIVIDADES	HERRAMIENTA	e n e r o	f e b r o	m a r z o	a b r i l	m a y o	j u n i o
PLANIFICAR	Elaborar una selección de todos los instrumentos de medición para el proceso de calibración.	Matriz de objetivos, estrategias que se plantean y cumplimiento de los objetivos						
HACER	Rediseñar el programa de envíos y calibración de instrumentos de medición Realizar el programa de	Reingeniería del diseño actual de instrumentos de medición y realizar una distribución equitativa mensualmente.						
	Elaborar manuales de operación de equipos de calibración	Manuales de procedimientos de uso y aplicación de los equipos de calibración, se incluirá los procedimientos de calibración para cada uno (presión, temperatura y flujo)						
	Diseñar formatos de mantenimiento preventivos y correctivos para los instrumentos de medición y herramientas de poder	Protocolo para realizar los mantenimientos preventivos y correctivos de los instrumentos de medición y herramientas de poder						
	Realizar el programa de capacitación de personal	Plan de capacitación						
VERIFICAR	Verificar el cumplimiento de los objetivos planteados sobre la mejora del proceso de calibración de los instrumentos y el mantenimiento preventivo y correctivo de las herramientas de poder	KPI's: -cantidad de instrumentos atendidos mensualmente entre instrumentos programados -tiempo del proceso de calibración de los instrumentos de medición (<20 días). -tiempo de mantenimiento preventivo de las herramientas de poder (<25 días)						
ANALIZAR	Analizar los resultados finales obtenidos para comprobar los resultados de la mejora planteada.	Organizar una reunión en donde como primer punto se realizará el análisis de todo el trabajo realizado durante el año, se realizará una presentación de todos los indicadores los cuales serán expuestos por el supervisor y programador del área, después de ello se hará la sustentación de los resultados obtenidos y finalmente se procederá a evaluar los resultados, y se harán mejoras en los apartados donde se requieran y se propondrán las nuevas propuestas de mejoras para poder mejorar los indicadores.						

Nota. Elaboración propia.

4.3.7. Actividades de departamentos de apoyo

Las actividades de los departamentos de apoyo en el mantenimiento productivo total se enfocan en mejorar la eficiencia, que se ha demostrado y la transparencia de los procesos, estas actividades son efectuadas por el área de abastecimientos, recursos humanos y recursos financieros, que se detallan:

- Reducir las actividades burócratas en las adquisiciones de equipos y repuestos, para el servicio de calibración de equipos de la planta de producción (ver figura 10)
- Transparencia en la solicitud de materiales y accesorios (ver figura 11)
- Mejor comunicación entre las áreas relacionadas. (ver figura 12)
- Mejor disposición de personal de apoyo, especializado para cumplimiento de objetivos.

Figura 24. Flujograma de compra de repuestos

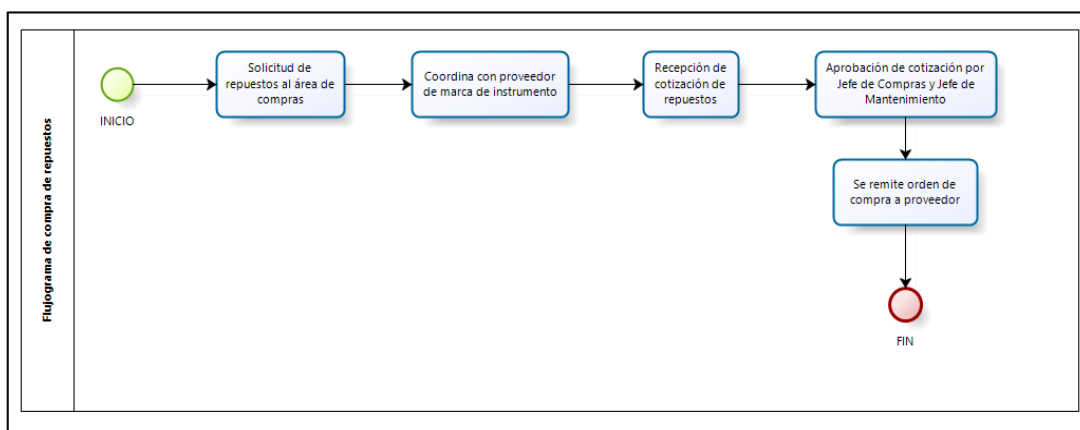
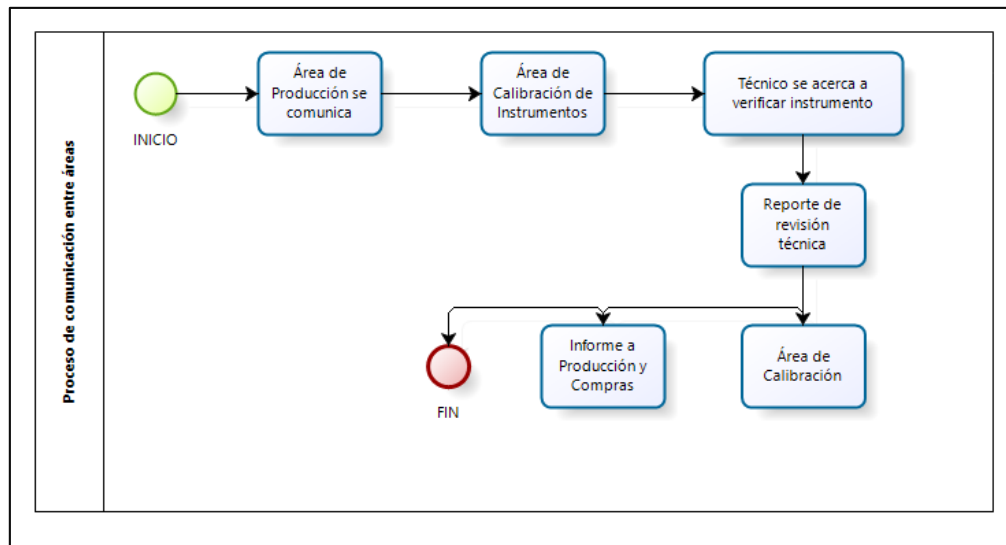


Figura 35. Flujograma de solicitud de repuestos

FORMATO DE SOLICITUD DE REPUESTOS Y MATERIALES				
FECHA: / /				
DEPENDENCIA:				
DEPARTAMENTO:				
SOLICITANTE:				
CON CARGO A:				
CENTRO DE DESTINO:			CONTRATO:	
C.C.			TELEFONO/EXTENSION:	
ITEM	DESCRIPCION Y REFERENCIA	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD SOLICITADA	CANTIDAD APROBADA
SOLICITANTE: _____				

Figura 46. Proceso de comunicación



4.3.8. Formación y adiestramiento

Se tiene en cuenta al personal responsable del área de calibración que son seis colaboradores especialistas en el manejo de equipos de calibración disponibles para la calibración de equipos (motores, bombas, entre otros) en la empresa minera. Para la capacitación del personal se ha contactado con la Universidad de Ingeniería en su Escuela de Formación Profesional “Ingenium”, dirigido al personal de operadores de planta (campo y sala de control), instrumentistas de campo, supervisores de instrumentación, personal técnico de automatización de procesos, supervisores de operaciones, analistas de datos, y jefes de proyectos de instrumentación. Costo del programa S/ 1,770 soles de inversión por cada colaborador, siendo la inversión un total de S/ 8,850.00 soles. Esta capacitación ha sido favorable para la mejor aplicación de instrumentos en la reparación de equipos determinados en la (tabla 8).

La estructura del programa de adiestramiento en la Universidad de Ingeniería es el siguiente:

Tabla 18. Estructura del curso de capacitación en la UNI

- Introducción a fundamentos de medición, instrumentos de campo, medición de presión y temperatura.
- Internet industrial de las cosas (IoT, considerando la importancia del dato de instrumentos hasta los modelos predictivos.
- Transmisores y transductores, linealizar señales.
- Simulación de señales con node-red para control de los diversos procesos, para control de presión y temperatura, con prácticas de simulación.
- Controladores lógicos programables RSLogix.
- Simulación los tres niveles de SCADA (Dashboards Node-red) para procesos, control y supervisión en un entorno virtualizado

Nota. Elaboración propia

Figura 57. Estructura del programa de capacitación del personal

HERRAMIENTA DE MEJORA	OBJETIVOS	ACTIVIDADES	INDICADORES	RESPONSABLE DE SEGUIMIENTO
Plan de capacitación	Aprendizaje del personal en el correcto uso de los instrumentos de medición.	Realizar charlas con cierta frecuencia sobre el correcto uso de instrumentos. Tener una documentación donde el personal técnico registre su asistencia. Tener un cronograma con las fechas en las que se realizará las capacitaciones. Programa de capacitación en Universidad de Ingeniería por valor de S/ 8,850 (ver tabla 13 estructura)	Trabajadores que son capacitados / toda la cantidad de trabajadores que se encuentran en planta. Evaluaciones que evidencien si la información fue bien recibida.	Supervisor de mantenimiento
Manuales de operación de equipos de calibración	Poder operar a la perfección los equipos de calibración y realizar el proceso de calibración en el taller de mantenimiento	Realizar manuales de operación de cada uno de los equipos de calibración junto al personal que utilizara los equipos. Implementar procedimiento de calibración respecto a las magnitudes que van a calibrarse: Flujo, temperatura y presión.	Cantidad de manuales realizados de cada equipo sobre la cantidad de equipos adquiridos. Prueba de funcionamiento de los equipos para evaluar a los operadores. Cantidad de informes de verificación o calibración realizados por el personal de mantenimiento.	Supervisor de mantenimiento
Diseño de formatos de mantenimiento preventivo y correctivo	Contar con un procedimiento establecido al momento en que el técnico encargado realice el mantenimiento preventivo o correctivo.	Realizar formatos donde se encuentren los procedimientos, materiales, etc. Para realizar los mantenimientos preventivos y correctivos. Contar con una constante supervisión de los primeros mantenimientos realizados por el taller.	Número de formatos de cada grupo de instrumentos realizados. Cantidad de herramientas atendidas por mes sobre la cantidad de herramientas programadas.	Programador de herramientas
Rediseño del programa de envíos y calibración de instrumentos de medición	Mejorar la distribución de los instrumentos de medición en las diferentes áreas de trabajo	Distribuir los instrumentos de medición de una forma equitativa por mes en cada área de trabajo. Identificar los instrumentos que son únicos para evitar que se crucen con fechas donde las actividades sean críticas. Tener una mejor relación con el proveedor externo que realizará algunas calibraciones.	Cantidad de instrumentos calibrados por mes sobre la cantidad de instrumentos programados. Número de días en que los instrumentos son retirados de su área de trabajo	Programador de herramientas / Técnico de herramientas

4.3.9. Gestión de seguridad y entorno

Asimismo, para el mantenimiento de equipos los colaboradores deben de tener los siguientes equipos de protección personal para evitar accidentes laborales.

Tabla 19. Equipos de protección personal

No.	Equipos de protección personal
1	Casco de seguridad dieléctrico
2	Lentes de seguridad claros y/o oscuros.
3	Lentes Google
4	Orejeras o tapones auditivos
5	Mascarillas para polvo.
6	Mascarillas media cara con filtro para polvo.
7	Guantes de badana y/o anticorte
8	Guantes dieléctricos Clase 00 (500 VAC)
9	Guantes de nitrilo
10	Chaleco reflectivo
11	Traje descartable Categoría 3
12	Zapatos dieléctricos con punta de baquelita
13	Ropa térmica

Figura 68. Procedimiento de inspección de seguridad de instrumentos

Objetivo Establecer los pasos, procesos y/o tareas necesarias para realizar Inspección de Equipos y/o instrumentos en campo de manera segura y eficaz, con el fin de prevenir accidentes personales, daños a los equipos, daño al medio ambiente y/o al proceso. Asimismo, asegurar que por medio del presente documento todo el personal involucrado de PCC y colaboradores de empresas contratistas, tengan el soporte necesario para la identificación de peligros, riesgos, controles, ejecución segura y saludable de la actividad.
Alcance Este procedimiento es aplicable a el personal de PROJECTS COMMISSIONING CONSULTANTS (PCC) que se encontrará involucrado dentro el Comisionamiento y también es aplicable a todos los Equipos Eléctricos del Proyecto MC01058GSA – WO 001 "Servicio Dotación de Personal TaskForce para Etapa Comm TEP II" que se encuentren instalados en las áreas y que cumplan con los planos, especificaciones y hojas técnicas de los componentes eléctricos e instrumentación.
Responsabilidades Ingeniero de Seguridad • Verificar que se cumplan todos los estándares de seguridad y cuidado del medio ambiente para la ejecución de los trabajos. • Verificar que el personal cuente con equipos de protección personal adecuada y en buenas condiciones. • Verificar que el personal ejecutor se encuentre habilitado con los cursos específicos de seguridad relacionados a la tarea a realizar. • Visar la documentación de seguridad (IPERC CONTINUO, PETAR) al personal encargado de realizar el trabajo, en campo. Supervisor Instrumentación • Difundir y verificar que los trabajadores conozcan y cumplan el presente PETS, así mismo usen adecuadamente el equipo de protección personal apropiado para cada tarea. • Facilitar y verificar la existencia del documento impreso los taller de chancado, molienda, flotación y filtros. Asegurar que se mantenga siempre la última revisión. • Facilitar y verificar que el personal cuente con los cursos vigentes para el desarrollo de la tarea específica. • Coordinar, planificar y asignar responsabilidades al personal de acuerdo a la actividad a realizar. • Proporcionar asesoría técnica a los responsables asignados a la tarea específica. • Coordinar con el supervisor del área a intervenir sobre el trabajo que se va a realizar. • Verificar si los equipos de medición a usar para la actividad se encuentran debidamente certificados (calibración) sin haber excedido el límite de la fecha de vencimiento, por las empresas certificadoras correspondientes. • Visar el IPERC CONTINUO realizado por el personal técnico en campo. • Actuar inmediatamente frente a cualquier peligro que sea informado en el lugar de trabajo. • Verificar si el desarrollo de la tarea se está ejecutando tal como se instruye en el presente procedimiento. • Paralizar las operaciones o labores en situaciones de alto riesgo hasta que se haya eliminado o minimizado dichas situaciones riesgosas.
Equipos de Protección Personal • Casco de seguridad dieléctrico. • Lentes de seguridad claros y/o oscuros. • Lentes Google. • Orejeras o Tapones auditivos • Mascarillas para polvo. • Respirador medio cara con filtros para polvo y contra vapores orgánicos. • Guantes de badana y/o anticorte. • Guantes dieléctricos Clase 00 (500 VAC) • Guantes de nitrilo • Chaleco reflectivo. • Traje descartable Categoría 3. • Zapatos dieléctricos con punta de baquelita. • Ropa térmica.

Peligros de las condiciones climáticas y entorno de trabajo asociados a la actividad

- A continuación, se muestra una tabla de peligros y medidas de control asociado algunas condiciones climáticas o del entorno de trabajo que se presentan en varias tareas descritas en el presente PETS. Se declara que los EPP's básicos son: zapato dieléctrico con punta de baquelita, traje térmico, chaleco con cinta reflectivo, lentes de seguridad y casco dieléctrico.



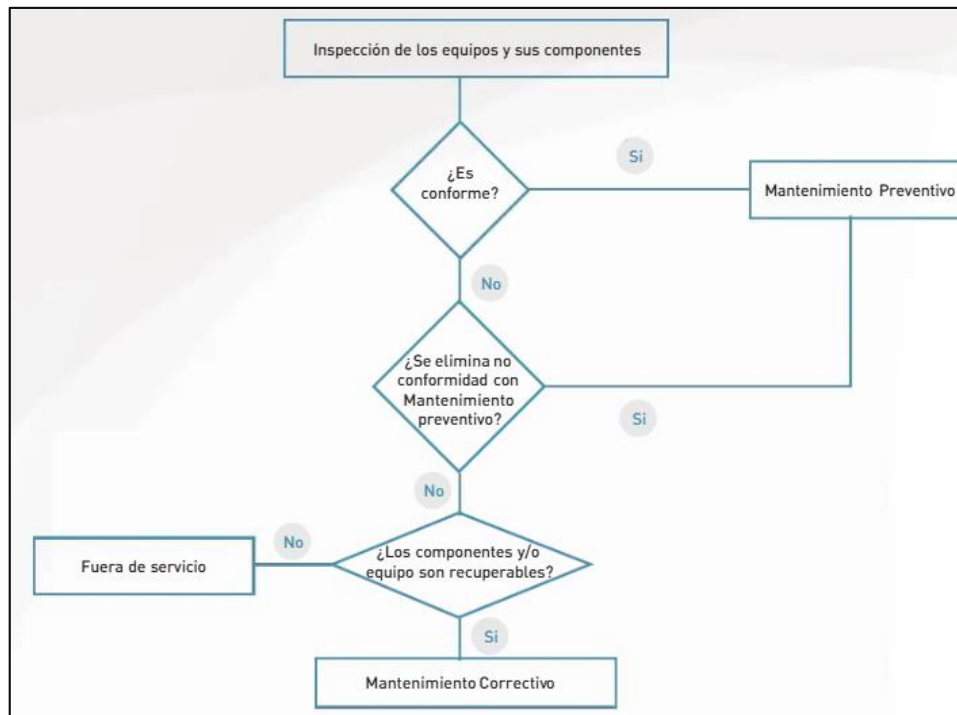
Tabla Nro.1: Peligros y Medidas de control de las condiciones climáticas y entorno de trabajo.

1	Superficies resbaladizas	Uso de 3 puntos de apoyo, verificar estado de accesos
2	Vehículos en movimiento	Respetar las normas de tránsito y peatones. Caminar por zonas de tránsito peatonal.
3	Polvo ambiental	Uso de EPP básico, respirador de media cara con filtro para partículas de polvo
4	Tormentas eléctricas	Uso de radio de comunicación y uso de refugios aprobados.
5	Ruido	Uso de EPP básico, tapones auditivos
6	Radiación solar	Uso de bloqueador solar
7	Postura ergonómica inadecuada	Verificar postura adecuada para maniobra
8	Trabajos paralelos con otras disciplinas	Comunicación constante y coordinación con personal de otras áreas

4.4. Mejora de procesos después de implementación TPM

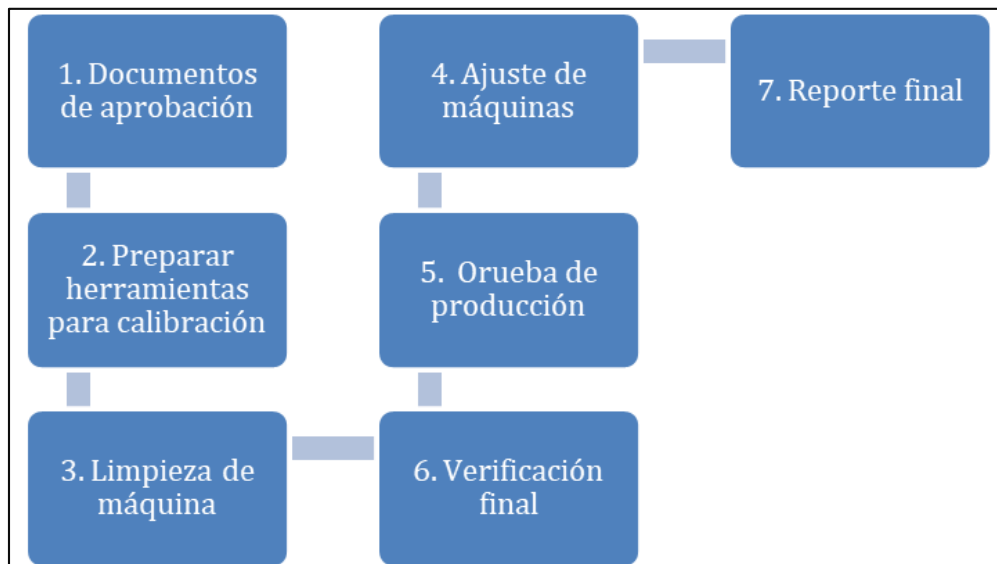
En la empresa minera en el área de instrumentación no existía al inicio de la etapa del programa de mantenimiento un flujograma de procesos adecuados para la inspección de equipos y sus componentes, solamente tenía un flujograma general empírico (ver figura 2) y posteriormente se detalló, un flujograma de inspección debido al TPM, que se detalla a continuación.

Figura 79. Flujograma de inspección de equipos y componentes



Debido a la mejora del proceso de mejora de calibración e instrumentación de equipos en la empresa minera se aplica el SMED:

Figura 20. SMED Proceso de calibración de equipos



Este método SMED de 7 etapas es fundamental en la calibración de equipos en la empresa minera, debido que de acuerdo con el programa de mantenimiento preventivo se establecen los manuales de mantenimiento de los equipos: Bombas sumideros y sumergibles; Filtro de prensa, Sistema de aire de instrumentación, Línea de agua de sello, Sensores de temperatura, Sensores

de presión, Unidad hidráulica, Celdas de flotación y columna, Sensores de flujo y Sensores de Nivel. Para todos los equipos se aplica el proceso detallado en el SMED. (ver figura 13)

Después de aplicarse el TPM se desarrolló un programa de mantenimiento (ver **tabla 9**) y se elaboró una tabla de centro de costos por cada equipo que se calibra según detalle:

Figura 21. Centro de costos por cada equipos a calibrar

CENTRO DE COSTOS							
MANO DE OBRA							
APELLIDOS Y NOMBRES		ESPECIALIDAD	HR/HOMBRE	VALOR HR/HOMB	COSTO M.O.		
				COSTO POR MANO DE OBRA S/.			
REPUESTO Y MATERIALES							
SUMINISTRO		DESCRIPCION	U.M.	CANT.	COSTO UNIT S/.	COSTO PARCIAL S/.	
INSN SB	EMPR.						
				COSTOS DE REPUESTOS Y MATERIALES S/.			
COSTO TOTAL S/.							
COSTOS POR MANO DE OBRA							
COSTOS POR REPUESTOS, ACCESORIOS Y MATERIALES							
OTROS GASTOS (Detallar)							
IMPUESTOS DE LEY							
TOTAL GENERAL S/.							
FIRMA DEL EJECUTOR DE MANTENIMIENTO				V° B° JEFE DE OFICINA DE INGENIERIA CLINICA O MANTENIMIENTO			

Además, de acuerdo con el programa anual de mantenimiento preventivo de equipos, se tiene en cuenta el control de los diversos trabajos de calibración de equipos en la empresa minera:

Figura 22. Cuadro de control de mantenimiento preventivo de equipos

[illegible]

La inversión por considerar en la empresa minera en el área de calibración en el año 2024 es la siguiente:

Tabla 20. Inversión anual en mantenimiento de equipos de calibración

Detalle de inversión	Importe S/.
Programa de mantenimiento de equipos de calibración	30,000.00
Adquisición de instrumentos	50,000.00
Inversión en capacitación al personal técnico	8,850.00
Total, de inversión S/.	88,850.00

Nota. Elaboración propia

Para validar el rendimiento del personal, se ha procedido a desarrollar la planificación de una auditoría de mantenimiento al personal sobre los equipos de calibración que se detalla a continuación:

Tabla 21. Planificación de Auditoría Interna de Calibración

Fases de la Auditoría Interna de Calibración	Detalle
1. Definición de objetivos	Evaluar la eficacia de la gestión de calibración de instrumentos.
2. Alcance	Se efectuará en el área de calibración de la empresa minera.
3. Criterios de auditoría	De acuerdo con los procedimientos internos de la empresa.
4. Seleccionar equipo auditor	Equipos independiente externo a la organización.
5. Programa de Auditoría	Se establecerá de acuerdo con disponibilidad de equipo auditor.
6. Plan de Auditoría	Se desarrollará un cronograma Gantt del programa de auditoría.
7. Tiempo de Auditoría Interna	Tiempo aproximado 5 días útiles.
8. Comunicación de resultados	Se comunicará al personal técnico sobre el cronograma del plan de auditoría a efectuarse

Nota. Elaboración propia.

4.5. Análisis estadísticos

4.5.1. Prueba de Normalidad

Antes de la contrastación de las hipótesis se realiza la prueba de normalidad, donde se puede observar en la (tabla 18), que los valores tanto en la prueba de Kolmogórov-Smirnov como Shapiro-Wilk los valores de significancia son mayores a 0,05, por lo tanto, son resultados paramétricos, por lo tanto, se desarrolla la prueba de Wilcoxon.

Tabla 142. Prueba de normalidad.

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogórov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Precom_Julio2024	,396	26	,125	,465	26	,078
Postcom_Diciembre2024	,237	26	,163	,781	26	,085

Nota. Resultados de aplicar data en el spssv27

4.5.2. ¿Por qué se aplica Wilcoxon?

La prueba de Wilcoxon se utiliza para comparar dos muestras relacionadas y determinar si hay diferencias entre ellas. Es una prueba no paramétrica que se usa cuando no se puede suponer la normalidad de las muestras, para comparar el rango medio de dos muestras relacionadas y determinar si existen diferencias entre ellas.

4.5.3. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon

Como se aprecia en la (tabla 19) de prueba de rangos, los rangos negativos son cero y los rangos positivos son 24 con rango promedio 12,50 y total 300, solamente 2 rangos empatados. Esto significa que la mejora del plan de mantenimiento correctivo ha mejorado los resultados entre el postcom Diciembre 2024 y precom Junio 2024.

Tabla 153. Prueba de rangos de Wilcoxon

		N	Rango promedio	Suma de rangos
	Rangos negativos	0 ^a	,00	,00
Postcom_Diciembre2024 - Precom_Julio2024	Rangos positivos	24 ^b	12,50	300,00
	Empates	2 ^c		
	Total	26		

a. Postcom_Diciembre2024 < Precom_Julio2024

b. Postcom_Diciembre2024 > Precom_Julio2024

c. Postcom_Diciembre2024 = Precom_Julio2024

Como se aprecia en los estadísticos de prueba de Wilcoxon, el valor $z = -4,304$ y la prueba de significancia tiene valor igual a ,000 es $< 0,05$, lo que valida los resultados.

Tabla 164. Estadísticas de prueba Wilcoxon

Estadísticos de prueba ^a	
	Postcom_Diciembre2024 - Precom_Julio2024
Z	-4,304 ^b
Sig. asin. (bilateral)	,000
a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon	
b. Se basa en rangos negativos.	

4.6. Discusión de resultados

De acuerdo con el **objetivo general** los resultados de implementación de aplicación de equipos de instrumentalización en se ha determinado que aplicando el TPM en el área de instrumentos, se ha logrado determinar una mejora en la aplicación de equipos, caso de tableros de mando, equipos de aire acondicionado, entre otros se incrementó en un 58.46% con lo cual se pudo certificar mejor los equipos según contratos de comisionamiento. Estos resultados tienen similitud con la tesis “Propuesta de implementación del Mantenimiento Productivo Total (TPM) para incrementar la efectividad global del equipo OEE de la cabina de pintura en la Empresa Construcciones Metálicas Unión S.A.C”, resultados obtenidos de la implementación generó un incremento de OEE de un 54% al 81% otorgando un ahorro de S/ 153,659.13 soles, generando una mejor tasa de calidad, rendimiento como disponibilidad de equipo. Con respecto a la tasa de calidad del sistema de pintado en la cabina de estructuras se llevó de 76% al 95%. (64)

Según el **objetivo específico 1** se cumplió con elaborar un plan de mantenimiento preventivo con finalidad de disminuir las averías frecuentes en los dispositivos de instrumentación, especialmente en los filtros de prensa, los de línea de agua de sello y los sensores de flujo y de nivel. Este resultado tiene similitud con la tesis de implementar el mantenimiento preventivo de los laboratorios de una prestigiosa universidad, logrando así una gestión óptima y eficiente de los mismos. Para este fin, se ha implementado y aplicado de manera exitosa la metodología del Mantenimiento Productivo Total (TPM), que se ha revelado como la mejor opción para lograr los resultados deseados. Este resultado ha sido ampliamente satisfactorio y ha generado un impacto positivo en la calidad de la enseñanza e investigación desarrollada en la universidad, donde la disponibilidad de maquinarias tuvo un 92% en área de torno, 89% área de fresadoras y 93% área de taladros. (56).

Según el **objetivo específico 2** se elaboró un plan periódico de ajuste de instrumentos, que se detallan en el plan de mantenimiento preventivo de todos los instrumentos de calibración. Estos resultados tienen similitud con los investigadores tuvieron como propósito fundamental del presente estudio fue analizar minuciosa y detalladamente el significativo efecto positivo que se obtuvo tras la introducción e implementación del TPM (Total Productive Maintenance) en la disponibilidad de las valiosas y esenciales máquinas utilizadas en una destacada y destacable empresa perteneciente al próspero y enérgico sector metalmecánico. (57)

Según el **objetivo específico 3** se cumplió con el cronograma de actividades del TPM y los costos de implementación, que son especialmente el cronograma de implementación de capacitación y el cronograma de repuestos, dando un total aproximado de S/ 38,850 soles. Estos

resultados tienen similitud con investigación de mejorar de manera significativa y sustancial la eficiencia y rendimiento de la línea de cocido de la reconocida y prestigiosa compañía Miguel Ángel S.A.C. Este objetivo se logró exitosamente a través de la implementación y el empleo estratégico y eficaz del Total Productive Management (TPM). La primera etapa de este proceso implicó llevar a cabo una minuciosa y detallada evaluación inicial, cuyos resultados revelaron de manera contundente y clara que la falta de un adecuado mantenimiento preventivo y la insuficiente formación y capacitación de los valiosos operarios eran las principales y determinantes causas detrás de la baja productividad registrada hasta ese momento. (58)

Se cumplió con el **objetivo específico 4** con capacitación del personal con programa Universidad de Ingeniería en su Escuela de Formación Profesional “Ingenium”, con un costo del programa S/ 1,770 soles de inversión por cada colaborador, siendo la inversión un total de S/ 8,850.00 soles. Este resultado tiene similitud con los investigadores que aplicaron el TPM considerando programas de capacitación del personal en mejoras de reducción de fallas o averías de equipos (59).

Se cumplió con el **objetivo específico 5** con el indicador de eficiencia entre el Precom Junio 2024 y el Postcom Diciembre 2024, con un crecimiento del 281.54%, para el mejor cumplimiento de la calibración y mantenimiento de equipos del área de instrumentalización. Este resultado tiene relación con la investigación sobre resultados obtenidos a lo largo de la implementación del TPM han sido sumamente positivos, logrando un increíble incremento del 30% en la Eficiencia General de los Equipos (OEE) en un lapso de dos años y medio. Este incremento significativo en la OEE ha generado una mejora sustancial en la capacidad productiva de la empresa, lo cual se traduce directamente en mayores ingresos. Gracias al enfoque en el mantenimiento autónomo, los equipos de la empresa han sido capaces de operar de manera más eficiente y confiable, minimizando los tiempos de inactividad y optimizando la producción. (61)

4.7. Limitaciones

La resistencia al cambio en el personal obstaculiza el progreso de la organización. Promover una cultura de apertura, comunicación y flexibilidad reduce la resistencia. Alentando la participación y brindando capacitación adecuada, se facilita la transición hacia nuevas formas de trabajo. La resistencia al cambio es una oportunidad para aprender y crecer juntos.

Se garantizará la disponibilidad de recursos técnicos y humanos para implementar eficientemente el programa de Mantenimiento Productivo Total (TPM). Esto incluye la

adquisición de herramientas, equipos y tecnologías avanzadas, la contratación y capacitación de personal calificado en todas las áreas pertinentes. Un equipo multidisciplinario de expertos en TPM, ingenieros especializados y técnicos experimentados estarán dedicados exclusivamente a llevar a cabo la implementación exitosa del TPM en cada área de la organización, optimizando los procesos de producción y mejorando la eficiencia y calidad. Se establecerán alianzas estratégicas con proveedores confiables y se implementarán programas de desarrollo y retención de talento interno. Todo esto garantizará la disponibilidad oportuna y suficiente de los recursos necesarios para el TPM.

Durante un tiempo limitado, hay mejoras significativas en varios indicadores importantes. Los cambios positivos deben ser evidentes en este tiempo establecido. Aprovechar esta oportunidad para evaluar y medir el progreso logrado. Manteniendo un enfoque claro en objetivos establecidos y trabajando diligentemente, se pueden experimentar mejoras sustanciales en los indicadores clave. Aprovechar esta ventana de tiempo para maximizar los esfuerzos y obtener resultados que reflejen un progreso notable. Utilizar recursos y estrategias adecuados para asegurar un uso efectivo y eficiente del tiempo limitado. Con gestión adecuada y un enfoque centrado en mejoras visibles, se pueden crear impactos significativos en los indicadores seleccionados durante este periodo determinado. (41)

CONCLUSIONES

1. De acuerdo con el objetivo general los resultados de implementación de aplicación de equipos de instrumentalización en se ha determinado que aplicando el TPM en el área de instrumentos, se ha logrado determinar una mejora en la aplicación de equipos, caso de tableros de mando, equipos de aire acondicionado, entre otros se incrementó en un 58.46% con lo cual se pudo certificar mejor los equipos según contratos de comisionamiento.
2. Según el objetivo específico 1 se cumplió con elaborar un plan de mantenimiento preventivo con finalidad de disminuir las averías frecuentes en los dispositivos de instrumentación, especialmente en los filtros de prensa, los de línea de agua de sello y los sensores de flujo y de nivel.
3. Según el objetivo específico 2 se elaboró un plan periódico de ajuste de instrumentos, que se detallan en el plan de mantenimiento preventivo de todos los instrumentos de calibración.
4. Según el objetivo específico 3 se cumplió con el cronograma de actividades del TPM y los costos de implementación, que son especialmente el cronograma de implementación de capacitación, el cronograma de repuestos y compra de equipos, dando un total aproximado de S/ 88,850 soles.
5. Se cumplió con el objetivo específico 4 con capacitación del personal con programa Universidad de Ingeniería en su Escuela de Formación Profesional “Ingenium”, con un costo del programa S/ 1,770 soles de inversión por cada colaborador, siendo la inversión un total de S/ 8,850.00 soles.
6. Se cumplió con el objetivo específico 5 con el indicador de eficiencia entre el Precom Junio 2024 y el Postcom Diciembre 2024, con un crecimiento del 281.54%, para el mejor cumplimiento de la calibración y mantenimiento de equipos del área de instrumentalización.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a la Gerencia de Mantenimiento y jefe del área de instrumentación, llevar siempre un cronograma de mantenimiento preventivo de los equipos de instrumentalización para los equipos de la empresa minera.
2. Se recomienda mantener el programa de mantenimiento preventivo de los equipos para disminuir averías.
3. Se recomienda mantener un plan periódico de ajuste de instrumentos para mejorar la fiabilidad de datos.
4. Se recomienda siempre mantener el control de costos de repuestos y gastos operativos de los instrumentos.
5. Se recomienda mantener un programa de capacitación anual a los responsables del área de instrumentalización.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. GOICOCHEA LUCANO, J. M.; RAFFO AQUÍJE, F. P. *Implementación de los pilares autónomo y preventivo del Mantenimiento Productivo Total (TPM) para incrementar la disponibilidad del equipo de extrusión de una* Lima: UPC, 2024 (2). Disponible en: <https://upc.edu.pe> (Accedido: 10 de noviembre de 2024).
2. MEZA CARBAJAL, J. A. *Implementación del mantenimiento productivo total para mejorar la calidad del servicio en el taller automotriz de la empresa Tayans Corporation SAC, Los Olivos....* Lima: UPN, 2021 (2). Disponible en: <https://upn.edu.pe> (Accedido: 10 de noviembre de 2024).
3. ORELLANA HUAMÁN, R. P. *Implementación de un plan de mejoras basadas en el TPM (mantenimiento productivo total) en el área de producción en la empresa Minera Huínac SAC. Ticapampa....* Lima: UPN, 2020 (2). Disponible en: <https://upn.edu.pe> (Accedido: 10 de noviembre de 2024).
4. AGUILAR BUSTAMANTE, R. N. *Implementación del pilar de mejoras enfocadas basadas en el mantenimiento productivo total en el molino de bolas del área de molienda de una planta....* Lima: Universidad Continental, 2020 (2). Disponible en: <https://continental.edu.pe> (Accedido: 10 de noviembre de 2024).
5. HUAMÁN BAZÁN, Z. S.; CHIPANA AGUILAR, P. E. *Propuesta de implementación del Mantenimiento Productivo Total (TPM) para incrementar la efectividad global del equipo OEE de la cabina de pintura en la....* Lima: UPC, 2024 (2). Disponible en: <https://repositorioacademico.upc.edu.pe> (Accedido: 11 de noviembre de 2024).
6. LLANTOY SÁNCHEZ, M. A. *Implementación de metodología RCM para reducir los costos de mantenimiento en las celdas Rougher en una empresa minera.* Lima: UPN, 2024 (2). Disponible en: <https://upn.edu.pe> (Accedido: 11 de noviembre de 2024).
7. NIÑO VEGA, W. E. *Diseño de un Plan de Mantenimiento Preventivo para los Equipos de Lavacol SAS.* Bogotá: UNAD, 2024 (2). Disponible en: <https://repository.unad.edu.co> (Accedido: 11 de noviembre de 2024).
8. BRIONES ALFARO, G. J. *Propuesta de implementación del mantenimiento preventivo para disminuir fallas frecuentes en las máquinas torres grúas de una empresa de servicios, Lima, 2022.* Lima: UPN, 2022 (2). Disponible en: <https://upn.edu.pe> (Accedido: 11 de noviembre de 2024).

9. PAZ JUÁREZ, J. U.; VELÁSQUEZ MERINO, J. L. *Elaboración de Plan de Mantenimiento preventivo eléctrico en AMT CHS031 8va sur Nuevo Chimbote para mejorar la calidad del servicio*. Trujillo: UCV, 2024 (2). Disponible en: <https://ucv.edu.pe> (Accedido: 12 de noviembre de 2024).
10. ATERO POMA, D. R.; AZA BUSTIOS, G. E. PROYECTO CAVITATION. *Mejora de la recuperación de plata en la planta de flotación de la refinería Cajamarquilla*. Lima: ESAN, 2024 (2). Disponible en: <https://esan.edu.pe> (Accedido: 12 de noviembre de 2024).
11. OÑA MONZÓN, A. *Precomisionado y comisionado eléctrico Proyecto Illimani-LP12 Planta Viacha SOBOCE SA*. La Paz: UMSA, 2021 (2). Disponible en: <https://umsa.bo> (Accedido: 12 de noviembre de 2024).
12. PALACIOS PEDRAZA, J. A.; RONCERY COVELLI, J. P. *Diseño de una propuesta de mejoramiento para el sistema de gestión y control de los inventarios en Flexilatina de Colombia SAS*. Bogotá: UCC, 2020 (2). Disponible en: <https://ucc.edu.co> (Accedido: 12 de noviembre de 2024).
13. RAMOS, M. G. M.; PACHÓN, S. R. *Diseño e implementación del plan de mantenimiento preventivo de los equipos de la empresa Granitos y Mármoles Acabados SAS*. Ciencia y poder aéreo, 2021 (2). Disponible en: <https://unirioja.es> (Accedido: 13 de noviembre de 2024).
14. LÓPEZ VERA, S. H.; NAUPAY VILLARROEL, Y. N. *Aplicación de mantenimiento productivo total (TPM) para incrementar la eficiencia en la gestión de maquinarias y equipos en la empresa Construmaq Perú SA, Lima....* Lima: UPN, 2024 (2). Disponible en: <https://upn.edu.pe> (Accedido: 13 de noviembre de 2024).
15. IRIGOIN IRURETA, W. R. *Implementar la metodología TPM en el plan de mantenimiento del sistema eléctrico para optimizar el proceso de elaboración de azúcar de caña en el ingenio de la....* Trujillo: UCV, 2021 (2). Disponible en: <https://ucv.edu.pe> (Accedido: 13 de noviembre de 2024).
16. ANAYA VEGA, G. G. *Diseño de la propuesta de implementación de un sistema de mantenimiento productivo total TPM para la Empresa Colombiana de Cementos SAS en la región de....* Bogotá: Universidad EAN, 2020 (2). Disponible en: <https://universidadean.edu.co> (Accedido: 13 de noviembre de 2024).
17. SUCA CJUNO, W.; OCAMPO HUAMAN, H. *Evaluación de la calibración del patrón P80 en el PSM 400mpx de overflow en nidos de hidrociclones en planta concentradora*

Las Bambas Apurímac. Cusco: UNSAAC, 2022 (2). Disponible en: <https://unsaac.edu.pe> (Accedido: 14 de noviembre de 2024).

18. PORRAS ARRIETA, P. C. *Implementación de un plan de mantenimiento basado en TPM para mejorar la productividad de la empresa metalmecánica M&C Ingenieros Servicios*. Huancayo: UNCP, 2024 (2). Disponible en: <https://uncp.edu.pe> (Accedido: 14 de noviembre de 2024).
19. GUERRA ROJAS, J. *Implementación del sistema de gestión de calidad en la empresa Difesmaq SAC para el servicio de mantenimiento en los equipos mineros*. Huancayo: UNCP, 2024 (2). Disponible en: <https://uncp.edu.pe> (Accedido: 14 de noviembre de 2024).
20. REYES POVIS, E. N. *Diseño de un plan de Mantenimiento Productivo Total en una empresa de transporte de mineral para aumentar la disponibilidad de flota*. Lima: UTP, 2020 (2). Disponible en: <https://utp.edu.pe> (Accedido: 14 de noviembre de 2024).
21. BARDALES ESPINOZA, M. I. *Diseño de investigación para un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad aplicado a instrumentación y control de la unidad de generación de ciclo binario en....* Guatemala: USAC, 2023 (2). Disponible en: <https://usac.edu.gt> (Accedido: 15 noviembre 2024).
22. MAÑUICO SIMBRON, C. A.; AVILÉS RODRIGUEZ, D. J. *Implementación del RCM para incrementar la disponibilidad del sistema eléctrico e instrumentación de una empresa de hidrocarburos*. (2) Disponible en: <https://repositorioacademico.upc.edu.pe> (Accedido: 15 de noviembre de 2024).
23. GARCÍA OLIVA, R. A.; SANTOS BARRENECHEA, J. J. *Modelo de evaluación de métricas de control para procesos de negocio utilizando Process Mining*. 2020 (2). Disponible en: <https://upc.edu.pe> (Accedido: 15 de noviembre de 2024).
24. OSHIRO KINA, S. A.; ROJAS CORONADO, G. E. *Incremento de la productividad en la fabricación de jeans usando técnicas 5S y TPM para una pyme de la industria textil del Perú*. (2) Disponible en: <https://repositorioacademico.upc.edu.pe> (Accedido: 15 de noviembre de 2024).

25. LAMA HERRERA, O. E.; ALAYO VILCARROMERO, J. J. *Modelo de implementación de mantenimiento lean para incrementar la Eficiencia Global de los Equipos mineros de acarreo a través del Mantenimiento Productivo*. Disponible en: <https://repositorioacademico.upc.edu.pe> (Accedido: 16 de noviembre de 2024).
26. BAZÁN, C. A. *Sistema de gestión de mantenimiento basado en el modelo de 8 fases para una empresa de servicios de instrumentación y control en la ciudad de Santa Cruz*. Journal Boliviano de Ciencias, 2023 (2). Disponible en: <https://univalle.edu> (Accedido: 16 de noviembre de 2024).
27. RAMÍREZ, E.; CORNIELLE, J.; MAJIAS, J.; ANÍBAL, L. *Guía operativa para prácticas de laboratorio en instrumentación industrial en el IEESL*. 2022 (2). Disponible en: <https://ipl.edu.do> (Accedido: 16 de noviembre de 2024).
28. ASENJO VARGAS, R. F.; CERNA TERRONES, D. M. I. *Aplicación del TPM para aumentar la productividad en el molino agroindustrial San Francisco SAC-Ciudad de Dios, 2023*. 2023 (2). Disponible en: <https://ucv.edu.pe> (Accedido: 16 de noviembre de 2024).
29. MEDINA, M.; ROJAS, R.; BUSTAMANTE, W. *Metodología de la investigación: Técnicas e instrumentos de investigación*. 2023 (2). Disponible en: <https://umar.mx> (Accedido: 17 de noviembre de 2024).
30. VALDIVIA LUNA, C. M. *Impacto de la estrategia de marketing digital en el posicionamiento de la marca Capieli en el mercado peruano en el contexto post pandemia Covid-19*. 2021 (2). Disponible en: <https://ulima.edu.pe> (Accedido: 17 de noviembre de 2024).
31. ESQUIVEL-GUERRERO, M. P.; SÁNCHEZ-CRUZ, M. L. *La importancia del mantenimiento como una estrategia de competitividad en las empresas del sector minero*. Directorio. 2021 (2). Disponible en: <https://itesca.edu.mx> (Accedido: 17 de noviembre de 2024).
32. AGAPITO GONZALES, J. P. *Implementación de los Lineamientos de una PMO para la Ejecución de Proyectos Mineros*. 2024 (2). Disponible en: <https://uigv.edu.pe> (Accedido: 17 de noviembre de 2024).

33. RETAMOZO TORRES, G. A. *Implementación de la metodología BIM para mejorar la gestión y eficiencia de los proyectos en el Área de Diseño de la Central de Ingeniería de Planta Toquepala....* 2022 (2). Disponible en: <https://uigv.edu.pe> (Accedido: 18 de noviembre de 2024).
34. ESPINOZA QUISPE, A. T.; GRADOS FLORES, I. A. *Diseño del plan de mantenimiento preventivo basado en mantenimiento autónomo para mejorar la disponibilidad del área de formato continuo en la empresa Latin....* 2024 (2). Disponible en: <https://utp.edu.pe> (Accedido: 18 de noviembre de 2024).
35. PACCO QUISPE, Y. A. *La implementación del mantenimiento autónomo para la reducción de incidentes generados por el uso de herramientas de poder en el servicio de mantenimiento....* 2024 (2). Disponible en: <https://utp.edu.pe> (Accedido: 18 de noviembre de 2024).
36. PÉREZ SAAVEDRA, S. K. *La disponibilidad de equipos en una empresa del sector metalúrgico de bolas forjadas mediante el uso de los pilares de mantenimiento autónomo y planificado del....* Disponible en: <https://repositorioacademico.upc.edu.pe> <https://upc.edu.pe> (Accedido: 18 de noviembre de 2024).
37. RODAS MARTÍNEZ, R. S.; ALFARO CRUZADO, J. S. *Propuesta de mejora de la eficiencia en el proceso de impresión de viniles de una empresa gráfica aplicando 5S, SMED y mantenimiento autónomo.* 2024 (2). Disponible en: <https://upc.edu.pe> (Accedido: 19 de noviembre de 2024).
38. RAMOS LEDESMA, R. *Modelo de gestión para la puesta en marcha de plantas concentradoras de cobre.* 2021 (2). Disponible en: <https://uchile.cl> (Accedido: 19 de noviembre de 2024).
39. ECHEVERRY SÁNCHEZ, C. D. *Redefinición del sistema operativo de Aris Mining Marmato en términos de productividad, rentabilidad y eficiencia.* 2024 (2). Disponible en: <https://eafit.edu.co> (Accedido: 19 de noviembre de 2024).
40. ASCONA, J. I. B.; MENCIA, A. L. *Análisis y fundamentación de los diseños de investigación: Explorando los enfoques cuantitativos, cualitativos y mixtos basados en Creswell & Creswell (2018).* Revista UNIDA Científica, 2023 (2). Disponible en: <https://unida.edu.py> (Accedido: 19 de noviembre de 2024).
41. HEJEILE RUEDA, D. L.; CORREA VALENCIA, M. *Incidencia de los procesos de gestión humana en la resistencia al cambio derivado de un proceso de transformación*

- tecnológica en el personal operativo en un* 2023 (2). Disponible en: <https://eafit.edu.co> (Accedido: 20 de noviembre de 2024).
42. PAPUICO GASPAR, W. A. *Plan de mantenimiento para mejorar el índice de disponibilidad de las instalaciones electromecánicas en los sistemas auxiliares del taller de camiones en la* 2020 (2). Disponible en: <https://continental.edu.pe> (Accedido: 20 de noviembre de 2024).
 43. VILLAR ROMERO, A.; PORTELLA FLORES, E. J. *Incremento de productividad en el proceso de tejeduría a través de la implementación del estudio del trabajo en la empresa textil Cumpi Perú SAC.* 2021 (2). Disponible en: <https://upc.edu.pe> (Accedido: 20 de noviembre de 2024).
 44. GARZÓN SANABRIA, J. S.; RINCÓN TORRES, J. D. *Estudio diagnóstico de la relación del egresado de tecnología e ingeniería mecánica con las áreas de mantenimiento industrial empresarial.* Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co> <https://udistrital.edu.co> (Accedido: 20 de noviembre de 2024).
 45. CAMPS MIRALLES, N. *Mejora de modelos de predicción de sepsis en pacientes en Unidades de Cuidados Intensivos mediante técnicas de Machine Learning.* 2023 (2). Disponible en: <https://ua.es> (Accedido: 21 de noviembre de 2024).
 46. MEDINA TORRES, M. P.; PACHECO COLCAS, F. A. *Modelo de producción basado en Systematic Layout Planning y Total Productive Maintenance para incrementar la productividad en empresas manufactureras de* 2023 (2). Disponible en: <https://ulima.edu.pe> (Accedido: 21 de noviembre de 2024).
 47. TORRELL MARTÍNEZ, F. *Factores de éxito para la implantación y sostenibilidad del Total Productive Maintenance (TPM).* 2022 (2). Disponible en: <https://upc.edu> (Accedido: 21 de noviembre de 2024).
 48. LÓPEZ OLMOS, I. E.; RODRÍGUEZ HUAMAN, R. A. *Análisis y mejora en el proceso de producción de Andrea tex SAC utilizando la herramienta mantenimiento productivo total del Lean Manufacturing.* 2022 (2). Disponible en: <https://ulima.edu.pe> (Accedido: 21 de noviembre de 2024).
 49. RIVERA QUINTANA, H. F. *... de planes de inspecciones predictivas, mecánicas, eléctricas e instrumentación de las actividades del área de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los* 2021 (2). Disponible en: <https://uss.edu.pe> (Accedido: 21 de noviembre de 2024).

50. GRAMUNTELL BAYARRI, V. *Análisis y comparativa de herramientas de gestión de proyectos*. 2023 (2). Disponible en: <https://upv.es> (Accedido: 21 de noviembre de 2024).
51. GARCÍA TALLEDO, S. M.; REVOLLEDO NOLE, K. S. *Implementación de mantenimiento productivo total para reducir el tiempo de inactividad no planificado en una empresa metalmecánica*. 2022 (2). Disponible en: <https://ucv.edu.pe> (Accedido: 21 de noviembre de 2024).
52. QUIROZ MONTENEGRO, M. R.; QUISPE MESTA, D. A. *Implementación de la metodología TPM para la mejora de la eficiencia global de los equipos en una empresa del sector molinero en Chiclayo 2023*. 2024 (2). Disponible en: <https://uss.edu.pe> (Accedido: 21 de noviembre de 2024).
53. VARELA PÉREZ, J.; LÓPEZ ORTEGA, A.; ROMERO GARCÍA, R. *Medición de la productividad mediante el Overall Equipment Effectiveness (OEE) para operaciones no cíclicas*. 2023 4(6). Disponible: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9586644.pdf> (Accedido: 21 de noviembre de 2024).
54. ALAVEDRA FLORES, C.; GASTELU PINEDO, Y.; MÉNDEZ ORELLANA, G.; MINAYA LUNA, C.; PINEDA OCAS, B.; PRIETO GILIO, K.; RIOS MEJÍA, K. *Gestión de mantenimiento preventivo y su relación con la disponibilidad de la flota de camiones 730e Komatsu-2013*. 2016. (34). Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=337450992001> (Accedido: 21 de noviembre de 2024).
55. QUIÑONES JEREMÍAS, A.; VITE TORRES, MIGUEL. *Implementación del Mantenimiento Productivo Total en la empresa Scharff Logística Integrada para aumentar la operatividad de la flota, Provincia Constitucional del Callao – 2022*. Lima. UTP, 2023. Disponible en: https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/7754/A.Qui%c3%blones_A.Vite_Titulo_Profesional_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y. (Accedido: 21 de noviembre de 2024).
56. PUMAHUANCA GONZALES, F. *Plan de mantenimiento preventivo para los laboratorios de una institución educativa de nivel superior basado en la filosofía TPM, Arequipa 2021*. Arequipa. Universidad Continental, 2021. Disponible en: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11510/1/IV_FIN_108_TE_Pumahuanca_Gonzales_2021.pdf (Accedido: 21 de noviembre de 2024).

57. MONTOYA GUTIÉRREZ, J.; SEGURA MENDOZA, N. *Implementación de mantenimiento productivo total para mejorar la disponibilidad de máquinas en una empresa Metal Mecánica*, 2023. Trujillo, Universidad César Vallejo, 2023. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/119249/Montoya_GJF-Segura_MNS-SD.pdf?sequence=2&isAllowed=y. (Accedido: 21 de noviembre de 2024).
58. CASTILLO CABALLERO, C.; DULCE ALEJOS, J. *Implementación del mantenimiento productivo total (TPM) para incrementar la productividad en la empresa Miguel Ángel S.A.C.* 2022. Chimbote, Universidad César Vallejo, 2023. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/122098/Castillo_CCB-Dulce_AJD-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y (Accedido: 21 de noviembre de 2024).
59. ROSAS VILELA, J. *Propuesta de mantenimiento productivo total (TPM) para mejorar la productividad de la empresa Lubriseng E.I.R.L Talara 2020*. Piura, 2020. Universidad César Vallejo., 2020. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/61829/Rosas_VJM-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y (Accedido: 21 de noviembre de 2021).
60. JUREWICZ, D.; DABROWSKA, M.; BURDUK, A.; MEDYNSKI, D.; MACHADO, J.; MOTYKA, P.; KOLBUSZ, K. *Implementation of Total Productive Maintenance (TPM) to Improve Overall Equipment Effectiveness (OEE) - Case Study*. Revista Springer 2023. 543-561. Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-44282-7_42 (Accedido: 21 de noviembre de 2021).
61. AMORIN, G.; HATAKEYAMA, K.; ROJAS, X. *Implantation of Total Productive Maintenance: A Case Study in the Manufacturing Industry*. Revista Springer Nature Link 2019. 259-267. Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-93488-4_29 (Accedido: 21 de noviembre de 2024).

62. SINGH AHUJA, I.; KUMAR, P. *A case study of total productive maintenance implementation at precision tube mills*. Journal of Quality in Maintenance Engineering 2020. 15 (3): 241-258. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/242349558_A_case_study_of_total_productive_maintenance_implementation_at_precision_tube_mills (Accedido: 21 de noviembre 2024).
63. SINGH, S.; AGRAWAL, A.; SHARMA, D.; SAINI, V.; KUMAR, A. Y PRAVEENKUMAR, S. *Implementación del enfoque de mantenimiento productivo total: mejora de la eficiencia general de los equipos en una industria metalúrgica*. Revista MDPI. 2022, 7(4): 1-14. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2411-5134/7/4/119> (Accedido: 21 de noviembre 2024)
64. HUAMÁN BAZÁN, Z.; CHIPANA AGUILAR, P. *Propuesta de implementación del Mantenimiento Productivo Total (TPM) para incrementar la efectividad global del equipo OEE de la cabina de pintura en la Empresa Construcciones Metálicas Unión S.A.C.* Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2021. Disponible en: <https://upc.aws.openrepository.com/handle/10757/658742?locale-attribute=es> (Accedido: 05 d enero de 2025).
65. CANAHUA APAZA, N. *Implementación de la metodología TPM-Lean Manufacturing para mejorar la eficiencia general de los equipos (OEE) en la producción de repuestos en una empresa metalmecánica*. Revista Industrial Data 2021, 24(1) 49-76. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/idata/v24n1/1810-9993-idata-24-01-49.pdf> (Accedido: 05 de enero de 2025)
66. ASCENCIO AMADO, J.; LARA PORRAS, L. *Implementación de metodología de Mantenimiento Productivo Total TPM para mejorar la productividad en una empresa de alimento congelados*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2023. Disponible en: https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/671023/Ascencio_AJ.pdf?sequence=1&isAllowed=y (Accedido: 05 de enero de 2025)
67. GARAY CUADRA, D.; OSORIO MEDINA, K. *Production model based on Lean-TPM to increase the efficiency of the finishing process in textile companies*. Universidad de Lima, 2024. Disponible en: https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/21278/T018_76320869_T.pdf?sequence=1 (Accedido: 05 de Enero de 2025).

68. ESTUPIÑAN FIGUEROA, G.; BUSTIOS VENEGAS, S. *Implementación de la metodología del TPM para mejorar la disponibilidad del OEE en la gestión del mantenimiento en los equipos diversos de una empresa de astilleros*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2023. Disponible en: https://upc.aws.openrepository.com/bitstream/handle/10757/671699/Estupi%c3%blan_FG.pdf?sequence=1&isAllowed=y (Accedido: 05 de Enero de 2025).
69. NAKAJIMA, S. *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*. 1988. Disponible en: <https://jipm.or.jp> (Accedido: 22 de noviembre de 2024).
70. BORRIS, S. *Total Productive Maintenance: Strategies and Implementation*. 2006. Disponible en: <https://productivitypress.com> (Accedido: 22 de noviembre de 2024).
71. REY, F. *Mantenimiento total de la producción: Proceso de implementación y desarrollo*. 2009. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=t05vRBKtkQcC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false> (Accedido: 22 de noviembre de 2024).
72. CABRERA, R. *Mantenimiento Productivo Total (M.P.T.)*. 2010. Disponible en: https://www.academia.edu/5193658/TPM_Mantenimiento_Productivo_Total (Accedido: 22 de noviembre 2024).
73. MOUBRAY, J. *Reliability-Centered Maintenance*. 1997. Disponible en: <https://reliabilityweb.com>. (Accedido: 22 de noviembre de 2024).
74. SMITH, A. M.; HINCHCLIFFE, G. G. *Reliability-Centered Maintenance: A Guide to Effective Maintenance Programs*. 2003. Disponible en: <https://crcpress.com>. (Accedido: 22 de noviembre de 2024).
75. RODRÍGUEZ, J. *Gestión de mantenimiento asistido por computadora*. 2003. Disponible: https://www.academia.edu/8349614/Libro_de_Gestion_de_Mantenimiento (Accedido: 22 de noviembre de 2024).
76. PÉREZ, F. *Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial 2021*. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/33276/9789588477923.pdf> (Accedido: 22 de noviembre de 2024).
77. DEMING, W. E. *Out of the Crisis*. 1986. Disponible en: <https://mitpress.mit.edu>. (Accedido: 22 de noviembre de 2024).

78. GOLDRATT, E. M. *The Goal: A Process of Ongoing Improvement*. 1984. Disponible en: <https://goldrattgroup.com>. (Accedido: 22 de noviembre de 2024).

79. CARRERA, C. MANOBANDA, W.; CASTRO, D.; VALLEJO, H. *Mejoramiento continuo de procesos de calidad*. 2019. Disponible en: <http://142.93.18.15:8080/jspui/bitstream/123456789/487/3/listo%20MEJORAMIENTO%20CONTINUO.pdf> (Accedido: 22 de noviembre de 2024).

80. CARRASCO, J. *Gestión de Procesos*. 2009. Disponible en: <https://sa979c3f9926f31b9.jimcontent.com/download/version/1593834442/module/11300903895/name/LIBRO%20Gesti%C3%B3n%20de%20Procesos%20-%20Juan%20Bravo%20Carrasco.pdf>. (Accedido: 22 de noviembre de 2024).

81. BENTLEY, J. P. *Principles of Measurement Systems*. 2005. Disponible en: <https://pearson.com>. (Accedido: 22 de noviembre de 2024).

82. DOEBELIN, E. O. *Measurement Systems: Application and Design*. 1990. Disponible en: <https://mcgrawhill.com>. (Accedido: 22 de noviembre de 2024).

83. CREUS, A. *Instrumentación Industrial*. 2011. Disponible en: https://www.academia.edu/14196268/Instrumentacion_industrial_Creus_8th. (Accedido: 22 de noviembre de 2024).

84. GUTIÉRREZ, M; ITURRALDE, S. *Fundamentos Básicos de Instrumentación y Control*. 2017. Disponible en: <https://www.fnmt.es/documents/10179/10666378/Fundamentos%20Bb%25C3%25A1sico%20Bde%20Instrumentaci%25C3%25B3n%20By%20Bcontrol.pdf> . (Accedido: 22 de noviembre de 2024)

85. KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P. *The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action*. 1996. Disponible en: <https://hbr.org>. (Accedido: 22 de noviembre de 2024).

86. WIREMAN, T. *Developing Performance Indicators for Managing Maintenance*. 2004. Disponible en: <https://industrialpress.com>. (Accedido: 22 de noviembre de 2024).

87. BARROTO, Y.; LLANES, A.; DUMÉNIGO, MIGUEL. 2013. *Evaluación y Control del Mantenimiento Evaluación y Control del Mantenimiento*. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/376955720_Evaluacion_y_Control_del_Mantenimiento_Evaluacion_y_Control_del_Mantenimiento. (Accedido: 22 de noviembre de 2024).
88. GONZÁLEZ, F. *Auditoría del mantenimiento e indicadores de gestión*. 2021. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=o0cH7Nwkm3YC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>. (Accedido; en 22 de noviembre de 2024).
89. BURGASÍ, D.; COBO, D.; PÉREZ, K., PILACUAN, R.; ROCHA, M. 2021. *Diagrama Ishikawa Final PDF*. Disponible en: <https://tambara.org/wp-content/uploads/2021/04/>. (Accedido: 5 de marzo de 2025).

ANEXOS

Anexo 1. Matriz Morfológica

Aspecto	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Método de mantenimiento	Preventivo	Predictivo	Correctivo
Tecnología aplicada	Sistemas SCADA	Sensores inteligentes	Monitoreo en tiempo real
Objetivo principal	Mejorar confiabilidad	Reducir tiempos de inactividad	Optimizar procesos internos
Tipo de capacitación	Capacitación básica	Capacitación avanzada	Capacitación continua

Anexo 2. Matriz de Consistencia

Componentes	Problema	Objetivos	Hipótesis	Variable / Dimensiones / Indicadores	Metodología
General	La falta de un enfoque estructurado en el mantenimiento afecta la confiabilidad de los equipos y procesos internos en el área de Instrumentación.	Implementar el TPM para optimizar los procesos internos y mejorar la confiabilidad de los equipos.	La implementación del TPM incrementa la eficiencia operativa y reduce los tiempos de inactividad.	Variable Independiente: TPM Dimensiones: Mejoras enfocadas. Indicador: Kaizen (reducción de fallas) Mantenimiento autónomo Indicador: Auditorías de limpieza (%) Mantenimiento preventivo. Indicador: Porcentaje de mejoras (%) Mantenimiento de Calidad. Indicador: Reducción horas de parada de instrumentos	Tipo: Aplicada Enfoque: Cuantitativa Diseño preexperimental comparando indicadores antes y después de la implementación del TPM.

				Prevención del Mantenimiento. Indicador: Adaptaciones y mejoras en el mantenimiento (%) Actividades administrativas de apoyo. Indicador: Tiempo promedio de informes Formación y Adiestramiento. Indicador: Número de horas de capacitación / personal capacitado Gestión de seguridad y entorno. Indicador: Número de incidentes / cumplimiento de normas	
--	--	--	--	--	--

				Indicadores del TPM: Eficiencia: (Tareas mantenimiento obtenidas / Tareas mantenimiento realizadas) Eficacia: (Tareas mantenimiento realizados / (Total de tareas programadas))	
Específico 1	Fallas frecuentes por falta de mantenimiento preventivo.	Elaborar un plan de mantenimiento preventivo para disminuir averías.	El mantenimiento preventivo reducirá fallas y aumentará la disponibilidad de los equipos.	Variable Dependiente: Mejora de procesos internos. Dimensiones: Ciclo PHVA Indicador: Disponibilidad	Población: Todos los dispositivos del área de instrumentación. Muestra: Instrumentos para el mantenimiento de equipos.
Específico 2	Deficiencias en la calibración de instrumentos afectan la precisión de los datos.	Establecer un programa de calibración periódica para mejorar la precisión de los datos.	Un plan de calibración mejorará la precisión de los instrumentos y reducirá errores operativos.		Análisis documental de calibraciones previas y comparativas post - implementación. Análisis de registros operativos, encuestas al personal técnico.

Específico 3	Falta de capacitación técnica en tecnologías avanzadas de monitoreo.	Capacitar al personal técnico en el uso de herramientas avanzadas de monitoreo en tiempo real.	La capacitación técnica mejorará la eficiencia operativa y el manejo de tecnologías avanzadas.		Entrevistas y análisis de desempeño del personal post - capacitación.
Específico 4	Ausencia de indicadores clave para evaluar el desempeño de los procedimientos.	Establecer y aplicar métricas de rendimiento (KPIs).	La implementación de KPIs permitirá evaluar la eficacia de los procesos y fomentar la mejora continua.		Cuantificación de métricas como OEE, MTBF, y MTTR.

Anexo 3. Plano de Diseño

Componente	Descripción
Objetivo General	Implementar el Mantenimiento Productivo Total (TPM) en el área de Instrumentación y Control Industrial para mejorar los procesos internos, garantizar un comisionamiento efectivo y aumentar la confiabilidad de los equipos.
Objetivos Específicos	- Elaborar un programa de mantenimiento preventivo para disminuir averías. - Establecer un plan periódico de calibración para mejorar la precisión. - Entrenar al personal en tecnologías de monitoreo en tiempo real. - Implementar indicadores clave de rendimiento (KPIs) para evaluar la eficacia de los procesos. - Reducir los tiempos de inactividad y los costos operativos.
Hipótesis	- La implementación del TPM incrementará la eficiencia operativa y reducirá los tiempos de inactividad. - La capacitación técnica y el uso de tecnologías avanzadas mejorarán la confiabilidad de los equipos.
Variables	Variables Independientes: - Implementación del TPM (Mantenimiento enfocadas, Mantenimiento autónomo, Mantenimiento de calidad, Mantenimiento planificado, Mantenimiento preventivo, Actividades de departamentos de apoyo, Formación y adiestramiento, Gestión de seguridad y entorno). Variable Dependiente - Mejora en los procesos internos del área de Instrumentación y Control Industrial.
Metodología	- Enfoque: Mixto (cuantitativo y cualitativo). - Diseño: Preexperimental, comparando indicadores clave antes y después de la implementación del TPM.

	- Técnicas de recolección: Encuestas, análisis documental, medición de indicadores (OEE, MTBF, MTTR).
Fases de Implementación	1. Diagnóstico: Identificar problemas y medir indicadores iniciales. 2. Planificación: Diseñar un programa de mantenimiento preventivo y definir metas. 3. Ejecución: Implementar el plan de mantenimiento, capacitar al personal, y emplear tecnologías de monitoreo. 4. Evaluación: Comparar resultados antes y después, analizar indicadores clave y ajustar estrategias.

Anexo 4. Matriz de operacionalización

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Mantenimiento Productivo Total (TPM)	El TPM es una estrategia dedicada a optimizar el rendimiento de maquinaria y equipos a través de la colaboración de todos los departamentos de la empresa. Originado en Japón, su objetivo es comprometer a todos los trabajadores, desde los empleados de producción hasta los directivos, promoviendo un sentimiento de	El Mantenimiento Productivo Total (TPM) se relaciona con las operaciones de los mantenimiento autónomo y preventivo.	1.Mejoras enfocadas. 2.Mantenimiento autónomo. 3.Mantenimiento preventivo. 4.Mantenimiento de Calidad. 5.Prevenición del Mantenimiento. 6.Actividades administrativas de apoyo. 7.Formación y Adiestramiento. 8.Gestión de seguridad y entorno.	1.Kaizen (reducción de fallas) 2.Auditorías de limpieza (%) 3.Porcentajes (%) de mejoras 4.Reducción horas de parada de instrumentos 5.Adaptaciones y mejoras en el mantenimiento (%) 6.Tiempo promedio de informes 7.Número de horas de capacitación / personal capacitado 8.Número de incidentes / cumplimiento de normas Indicadores del TPM:

	responsabilidad compartida. (69)(70)			Eficiencia: (Tareas mantenimiento obtenidas / Tareas mantenimiento realizadas) Eficacia: (Tareas mantenimiento realizados / (Total de tareas programadas))
Mejora de procesos internos	El perfeccionamiento de los procedimientos internos consiste en reconocer, examinar y mejorar las tareas llevadas a cabo dentro de una empresa con el fin de lograr una eficiencia operativa más elevada. (77)	La mejora de proceso internos se desarrolla aplicando el ciclo PHVA en el desarrollo de los procesos de mantenimiento de instrumentos.	Ciclo PHVA	$(THPro - THPa) / THPro$ THPro = total horas programadas THPa = total horas de parada

Anexo 5. Mantenimiento a instrumentos de Bombas sumideros y sumergibles

PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO	
INSPECCIÓN DE EQUIPOS Y/O INSTRUMENTOS (PACK VENDOR) EN CAMPO	Código : MC01058GSA – PETS-MTTO-I-01 Versión : 0 Página : 3 de 15
Objetivo Establecer los pasos, procesos y/o tareas necesarias para realizar Inspección de Equipos y/o instrumentos en campo de manera segura y eficaz, con el fin de prevenir accidentes personales, daños a los equipos, daño al medio ambiente y/o al proceso. Asimismo, asegurar que por medio del presente documento todo el personal involucrado de PCC y colaboradores de empresas contratistas, tengan el soporte necesario para la identificación de peligros, riesgos, controles, ejecución segura y saludable de la actividad.	
Alcance Este procedimiento es aplicable a el personal de PROJECTS COMMISSIONING CONSULTANTS (PCC) que se encontrará involucrado dentro el Comisionamiento y también es aplicable a todos los Equipos Eléctricos del Proyecto MC01058GSA – WO 001 "Servicio Dotación de Personal TaskForce para Etapa Comm TEP II" que se encuentren instalados en las áreas y que cumplan con los planos, especificaciones y hojas técnicas de los componentes eléctricos e instrumentación.	
Responsabilidades Ingeniero de Seguridad • Verificar que se cumplan todos los estándares de seguridad y cuidado del medio ambiente para la ejecución de los trabajos. • Verificar que el personal cuente con equipos de protección personal adecuada y en buenas condiciones. • Verificar que el personal ejecutor se encuentre habilitado con los cursos específicos de seguridad relacionados a la tarea a realizar. • Visar la documentación de seguridad (IPERC CONTINUO, PETAR) al personal encargado de realizar el trabajo, en campo. Supervisor Instrumentación • Difundir y verificar que los trabajadores conozcan y cumplan el presente PETS, así mismo usen adecuadamente el equipo de protección personal apropiado para cada tarea. • Facilitar y verificar la existencia del documento impreso los taller de chancado, molienda, flotación y filtros. Asegurar que se mantenga siempre la última revisión. • Facilitar y verificar que el personal cuente con los cursos vigentes para el desarrollo de la tarea específica. • Coordinar, planificar y asignar responsabilidades al personal de acuerdo a la actividad a realizar. • Proporcionar asesoría técnica a los responsables asignados a la tarea específica. • Coordinar con el supervisor del área a intervenir sobre el trabajo que se va a realizar. • Verificar si los equipos de medición a usar para la actividad se encuentran debidamente certificados (calibración) sin haber excedido el límite de la fecha de vencimiento, por las empresas certificadoras correspondientes. • Visar el IPERC CONTINUO realizado por el personal técnico en campo. • Actuar inmediatamente frente a cualquier peligro que sea informado en el lugar de trabajo. • Verificar si el desarrollo de la tarea se está ejecutando tal como se instruye en el presente procedimiento. • Paralizar las operaciones o labores en situaciones de alto riesgo hasta que se haya eliminado o minimizado dichas situaciones riesgosas.	

PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO

INSPECCIÓN DE EQUIPOS Y/O INSTRUMENTOS (PACK VENDOR) EN CAMPO

Código : MC01058GSA – PETS-
MTTO-I-01
Versión : 0
Página : 5 de 15

Restricciones, Lineamientos y/o Consideraciones:

- El personal debe tener la autorización del supervisor de área para iniciar con la intervención.
- No se realizará ninguna actividad en caso de alerta roja por tormenta eléctrica.
- Está prohibido ingresar al área de trabajo bajo efecto de alcohol y/o drogas.
- En caso de realizarse la actividad fuera del horario de trabajo se deberá contar con la autorización de la supervisión y realizar los permisos correspondientes (Horario extendido).
- No operar o realizar trabajo alguno cuando se encuentre fatigado.
- No operar equipos si no se encuentra autorizado.
- No realizar el trabajo si no cuenta con el IPERC CONTINUO de la tarea.
- No realizar el trabajo si no cuenta con el PETAR requerido para la tarea.
- No se realizará el procedimiento con el equipo en funcionamiento.
- No realizar trabajo alguno en caso de no contar con supervisión para tareas críticas.
- El personal instrumentista debe de contar con los cursos específicos correspondientes: NFPA 70E, Riesgos Eléctricos-Ingreso a salas eléctricas, Bloqueo y Etiquetado.
- Uso obligatorio de los trajes ignífugos
- Los permisos deben de contar con el visado de la supervisión.
- No se realizará el trabajo si las condiciones de los equipos y ambientales no prestan la seguridad para el personal.
- Verificar que los instrumentos, herramientas y/o equipos a utilizar deben contar con el certificado y la fecha de calibración vigente, así como la cinta de inspección del mes.
- El trabajo a realizarse debe ejecutarse entre 02 técnicos instrumentistas como mínimo, siempre en coordinación con las áreas de Operaciones, Control de Procesos y Sala de Control.
- Cumplir el estándar EST-SSO-039 (Barricadas y Señales). Delimitación del área de trabajo con barricadas y cinta amarilla con su respectiva tarjeta donde indique el nombre de los responsables de la actividad.
- Asegurar mantener orden y limpieza en los puntos o áreas de atención, desechos, repuestos y materiales deben estar en orden, mantener área limpia sin congestión de recursos-materiales.
- Cumplir el estándar EST-SSO-004 (Bloqueo y Etiquetado). Corroborar que el TAG del equipo sea el correcto y corresponda de acuerdo al PETAR, asimismo verificar la prueba de no funcionamiento del equipo con sala de control y operaciones.
- Todo trabajo de campo, en tableros eléctricos (JB, CP, DP), Instrumentos de campo en lo posible deben ser atendidos con energía eléctrica cero (0 VAC). Para las pruebas de contraste, configuración y funcionales realizar el PETAR y cumplir el estándar EST-ELC-001 (Trabajos con Energía) para ello hacer el uso de guantes clase 00, 500 Vol. para BT.

Equipos de Protección Personal

- Casco de seguridad dieléctrico.
- Lentes de seguridad claros y/o oscuros.
- Lentes Google.
- Orejeras o Tapones auditivos
- Mascarillas para polvo.
- Respirador medio cara con filtros para polvo y contra vapores orgánicos.
- Guantes de badana y/o anticorte.
- Guantes dieléctricos Clase 00 (500 VAC)
- Guantes de nitrilo
- Chaleco reflectivo.
- Traje descartable Categoría 3.
- Zapatos dieléctricos con punta de baquelita.
- Ropa térmica.

PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO

INSPECCIÓN DE EQUIPOS Y/O INSTRUMENTOS (PACK VENDOR) EN CAMPO

Código : MC01058GSA – PETS-
MTTO-I-01
Versión : 0
Página : 6 de 15

- Ropa ignífuga térmica de 17 cal/cm2 de ATPV.
- Barbiquejo.Ropa térmica.
- Barbiquejo.

Equipos / Herramientas / Materiales

- Equipos
- Calibrador industrial de procesos Fluke.
- Comunicador Handheld Emerson (TREX).
- Multímetro digital.
- Revelador de tensión portátil (hasta 500 VAC).
- Radio de comunicación.

****Verificar que los instrumentos, herramientas y/o equipos a utilizar deben contar con el certificado y la fecha de calibración vigente, así como la cinta de inspección del mes.**

Herramientas

- Kit de herramientas básicas para instrumentista aisladas (500 VAC).
- Juego de llaves mixtas métrica / imperial.
- Llave stillson 12".
- Llave regulable 12".
- Escalera de tijera de 4 pasos.
- Aplicador de silicona.
- Juego llaves dado con ratchet.

Materiales y Químicos

- Desplazador de óxido WD40.
- Limpia contacto electrónico NOVEC.
- Silicona.
- Cinta aislante negro vinílica.
- Cinta de ductos plata.
- Formador de empaquetadura.
- Trapo industrial.
- Paños absorbentes.
- Protector de plástico.
- Precintos de amarre.
- Desengrasante electrónico.

Anexo 6. Mantenimiento de instrumentos del filtro prensa

PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO	
MANTENIMIENTO DE INSTRUMENTOS DEL FILTRO PRENSA	Código : MC01058GSA – PETS- MTTO-I-03. Versión : 0 Página : 3 de 21
Objetivo Establecer los pasos, procesos y/o tareas necesarias para realizar Inspección de Equipos y/o instrumentos en campo de manera segura y eficaz, con el fin de prevenir accidentes personales, daños a los equipos, daño al medio ambiente y/o al proceso. Asimismo, asegurar que por medio del presente documento todo el personal involucrado de PCC y colaboradores de empresas contratistas, tengan el soporte necesario para la identificación de peligros, riesgos, controles, ejecución segura y saludable de la actividad.	
Alcance Este procedimiento es aplicable a el personal de PROJECTS COMMISSIONING CONSULTANTS (PCC) que se encontrará involucrado dentro el Comisionamiento y también es aplicable a todos los Equipos Eléctricos del Proyecto MC01058GSA – WO 001 "Servicio Dotación de Personal TaskForce para Etapa Comm TEP II" que se encuentren instalados en las áreas y que cumplan con los planos, especificaciones y hojas técnicas de los componentes eléctricos,	
Responsabilidades Ingeniero de Seguridad • Verificar que se cumplan todos los estándares de seguridad y cuidado del medio ambiente para la ejecución de los trabajos. • Verificar que el personal cuente con equipos de protección personal adecuada y en buenas condiciones. • Verificar que el personal ejecutor se encuentre habilitado con los cursos específicos de seguridad relacionados a la tarea a realizar. • Visar la documentación de seguridad (IPERC CONTINUO, PETAR) al personal encargado de realizar el trabajo, en campo. Supervisor Instrumentación • Difundir y verificar que los trabajadores conozcan y cumplan el presente PETS, así mismo usen adecuadamente el equipo de protección personal apropiado para cada tarea. • Facilitar y verificar la existencia del documento impreso los detalles de chancado, molienda, flotación y filtros. Asegurar que se mantenga siempre la última revisión. • Facilitar y verificar que el personal cuente con los cursos vigentes para el desarrollo de la tarea específica. • Coordinar, planificar y asignar responsabilidades al personal de acuerdo a la actividad a realizar. • Proporcionar asesoría técnica a los responsables asignados a la tarea específica. • Coordinar con el supervisor del área a intervenir sobre el trabajo que se va a realizar. • Verificar si los equipos de medición a usar para la actividad se encuentran debidamente certificados (calibración) sin haber excedido el límite de la fecha de vencimiento, por las empresas certificadoras correspondientes. • Visar el IPERC CONTINUO realizado por el personal técnico en campo. • Actuar inmediatamente frente a cualquier peligro que sea informado en el lugar de trabajo. • Verificar si el desarrollo de la tarea se está ejecutando tal como se instruye en el presente procedimiento. • Paralizar las operaciones o labores en situaciones de alto riesgo hasta que se haya eliminado o minimizado dichas situaciones riesgosas.	

PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO

MANTENIMIENTO DE INSTRUMENTOS DEL FILTRO PRENSA

Código : MC01058GSA – PETS-
MTTO-I-03.
Versión : 0
Página : 4 de 21

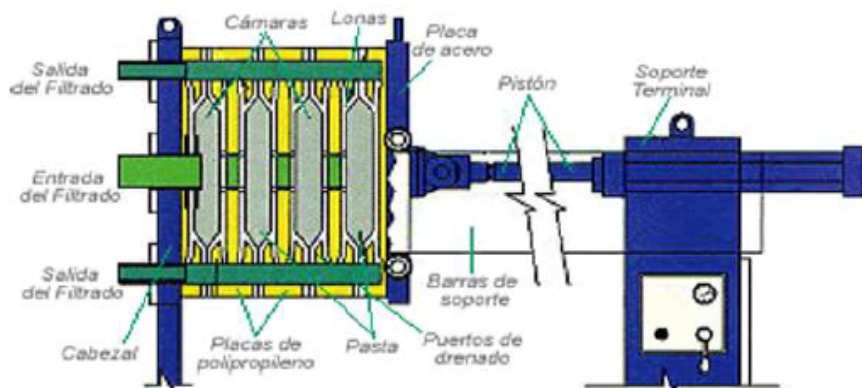
- Realizar el feedback con los ejecutores una vez culminada la tarea.
- Establecer un plan de mejora continua en coordinación con los responsables de SSO del área para incrementar la solidez del PETS.

Técnico Instrumentista

- Conocer y cumplir correctamente el PETS.
- Realizar la identificación de peligros y evaluación de riesgos continua (IPERC CONTINUO) y evaluar si la actividad requiere el uso de un permiso escrito de trabajo de alto riesgo (PETAR).
- Solicitar al supervisor el PETS e IPERC actualizado de la actividad a realizar.
- Verificar el adecuado funcionamiento de los equipos de medición a usar. Así mismo constatar que la fecha de vencimiento de calibración no haya caducado.
- Verificar que las herramientas que se utilizarán estén en buen estado y cuenten con la cinta respectiva del mes.
- Seleccionar y usar el equipo de protección personal adecuado para la actividad a realizar.
- Coordinar con el operador y sala de control la actividad a realizar.

Definiciones

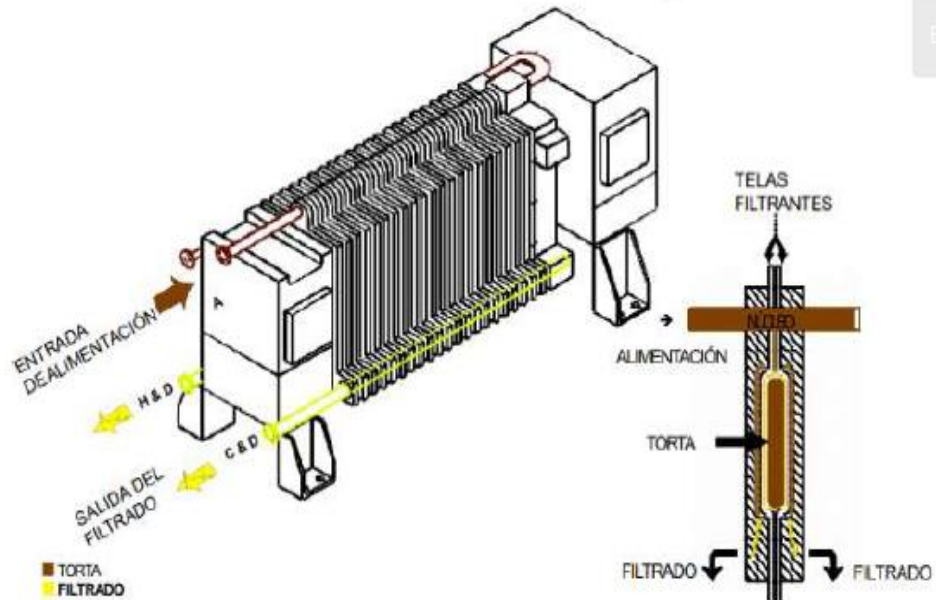
- Filtro prensa: Es un separador de líquidos y sólidos a través de filtración por presión. Consiste en una serie de bastidores de acero que sostienen una tela o malla. Las placas filtrantes desmontables están hechas de polipropileno, y las mallas pueden ser de tipos selladas, no selladas o membranas de alta resistencia. Los sólidos se bombean entre cada par de bastidores y una vez llenos, mediante un tornillo se van oprimiendo unos contra otros expulsando el agua a través de la tela. El filtro prensa pueden comprimir y deshidratar sólidos hasta obtener del 25% al 60% por peso de los lodos compactados. Primero, el lodo líquido es bombeado a las cámaras que se encuentran rodeadas por lonas filtrantes. Al bombear la presión se incrementa y el lodo es forzado a atravesar las lonas, provocando que los sólidos se acumulen y formen una pasta seca. Posteriormente, el pistón hidráulico empuja la placa de acero contra las placas de polietileno haciendo la prensa. El cabezal y el soporte terminal son sostenidos por rieles de las barras de soporte. El filtrado pasa a través de las lonas y es dirigido hacia los canales de las placas y puertos de drenado del cabezal para descarga. Para remover las pastas compactadas, se hace retroceder el pistón neumático, relajando la presión y separando cada una de las placas, para permitir que la pasta compactada caiga desde la cámara.



PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO

MANTENIMIENTO DE INSTRUMENTOS DEL FILTRO PRENSA

Código : MC01058GSA – PETS-
MTTO-I-03.
Versión : 0
Página : 5 de 21



Anexo 7. Mantenimiento a instrumentos del sistema de aire de instrumentación

PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO	
MANTENIMIENTO A INSTRUMENTOS DEL SISTEMA DE AIRE DE INSTRUMENTACION	Código : MC01058GSA – PETS-MTTO-I-04. Versión : 0 Página : 3 de 22
Objetivo Establecer los pasos, procesos y/o tareas necesarias para realizar Inspección de Equipos y/o instrumentos en campo de manera segura y eficaz, con el fin de prevenir accidentes personales, daños a los equipos, daño al medio ambiente y/o al proceso. Asimismo, asegurar que por medio del presente documento todo el personal involucrado de PCC y colaboradores de empresas contratistas, tengan el soporte necesario para la identificación de peligros, riesgos, controles, ejecución segura y saludable de la actividad. Alcance Este procedimiento es aplicable a el personal de PROJECTS COMMISSIONING CONSULTANTS (PCC) que se encontrará involucrado dentro el Comisionamiento y también es aplicable a todos los Equipos Eléctricos del Proyecto MC01058GSA – WO 001 "Servicio Dotación de Personal Task Forcé para Etapa Comm TEP II" que se encuentren instalados en las áreas y que cumplan con los planos, especificaciones y hojas técnicas de los equipos y sistema de aire de instrumentación. Responsabilidades Ingeniero de Seguridad • Verificar que se cumplan todos los estándares de seguridad y cuidado del medio ambiente para la ejecución de los trabajos. • Verificar que el personal cuente con equipos de protección personal adecuada y en buenas condiciones. • Verificar que el personal ejecutor se encuentre habilitado con los cursos específicos de seguridad relacionados a la tarea a realizar. • Visar la documentación de seguridad (IPERC CONTINUO, PETAR) al personal encargado de realizar el trabajo, en campo. Supervisor Instrumentación • Difundir y verificar que los trabajadores conozcan y cumplan el presente PETS, así mismo usen adecuadamente el equipo de protección personal apropiado para cada tarea. • Facilitar y verificar la existencia del documento impreso los detalle de chancado, molienda, flotación y filtros. Asegurar que se mantenga siempre la última revisión. • Facilitar y verificar que el personal cuente con los cursos vigentes para el desarrollo de la tarea específica. • Coordinar, planificar y asignar responsabilidades al personal de acuerdo a la actividad a realizar. • Proporcionar asesoría técnica a los responsables asignados a la tarea específica. • Coordinar con el supervisor del área a intervenir sobre el trabajo que se va a realizar. • Verificar si los equipos de medición a usar para la actividad se encuentran debidamente certificados (calibración) sin haber excedido el límite de la fecha de vencimiento, por las empresas certificadoras correspondientes. • Visar el IPERC CONTINUO realizado por el personal técnico en campo.	

PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO

MANTENIMIENTO A INSTRUMENTOS DEL SISTEMA DE AIRE DE INSTRUMENTACION

Código : MC01058GSA – PETS-MTTO-I-04.
Versión : 0
Página : 4 de 22

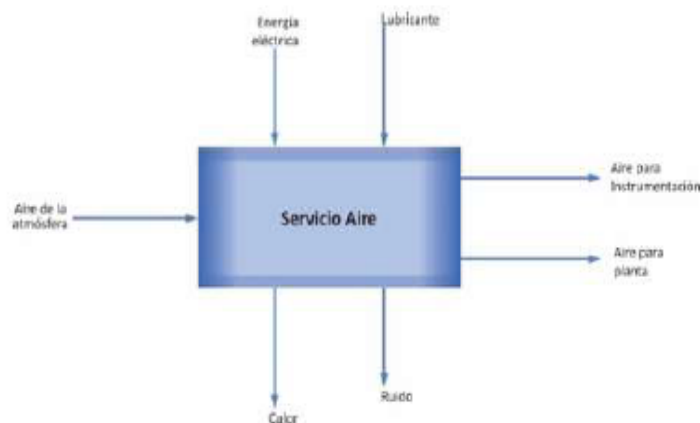
- Actuar inmediatamente frente a cualquier peligro que sea informado en el lugar de trabajo.
- Verificar si el desarrollo de la tarea se está ejecutando tal como se instruye en el presente procedimiento.
- Paralizar las operaciones o labores en situaciones de alto riesgo hasta que se haya eliminado o minimizado dichas situaciones riesgosas.
- Realizar el feedback con los ejecutores una vez culminada la tarea.
- Establecer un plan de mejora continua en coordinación con los responsables de SSO del área para incrementar la solidez del PETS.

Técnico Instrumentista

- Conocer y cumplir correctamente el PETS.
- Realizar la identificación de peligros y evaluación de riesgos continua (IPERC CONTINUO) y evaluar si la actividad requiere el uso de un permiso escrito de trabajo de alto riesgo (PETAR).
- Solicitar al supervisor el PETS e IPERC actualizado de la actividad a realizar.
- Verificar el adecuado funcionamiento de los equipos de medición a usar. Así mismo constatar que la fecha de vencimiento de calibración no haya caducado.
- Verificar que las herramientas que se utilizarán estén en buen estado y cuenten con la cinta respectiva del mes.
- Seleccionar y usar el equipo de protección personal adecuado para la actividad a realizar.
- Coordinar con el operador y sala de control la actividad a realizar.

Definiciones

- **Sistema de Aire:** El aire que utiliza la planta está dividido en aire de planta y en aire de instrumentación:
 - ✓ El aire de planta es suministrado por compresoras y almacenado en el pulmón de aire de planta, que distribuye a las celdas del área de flotación.
 - ✓ El aire para instrumentación es el aire descargado del pulmón que es secado para ser usado en la operación de válvulas, accionadores neumáticos y sistema de supresión de polvo. Conjunto de dispositivos que accionan, regulan y controlan el suministro de aire a un proceso para un determinado fin.



PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO

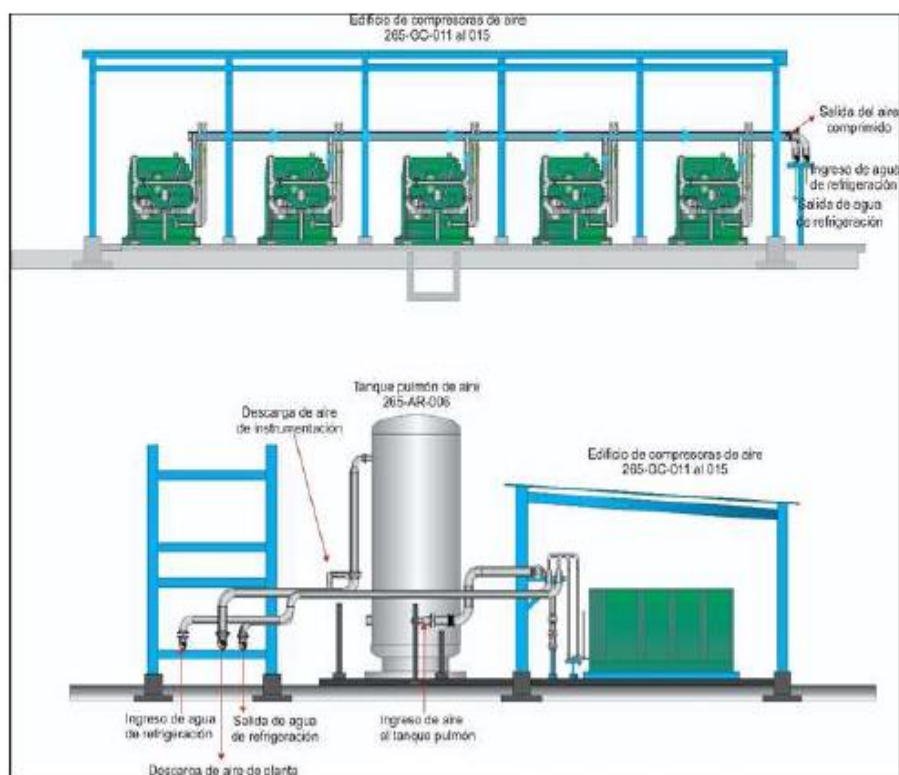
MANTENIMIENTO A INSTRUMENTOS DEL SISTEMA DE AIRE DE INSTRUMENTACION

Código : MC01058GSA – PETS-MTTO-I-04.

Versión : 0

Página : 5 de 22

- **Servicio de Aire:** El sistema de aire comprimido de la planta es producido por cuatro compresoras y uno en stand by (265-GC-011 al 015) con una capacidad de 153 Nm³/h. El aire aspirado de la atmósfera contiene impurezas, para evitar la entrada de polvo a las compresoras pasa previamente por filtros de aspiración, el aire entra a una presión y temperatura ambiente con humedad relativa, al comprimirse a una presión más alta que la atmosférica, produce un calentamiento del aire para lo cual se tiene instalado un post enfriador, el condensado pasa por filtros coalescedores (265-FL-001 al 005) que retienen la humedad, aerosoles y aceite antes de enviarlo a razón de 51 Nm³/min al tanque pulmón de aire (265-AR-006) (capacidad de 38 m³) que sirve para la estabilización de la
- alimentación del aire, y compensa las caídas de presión en la red durante el consumo de aire en planta.



Nota: Considerar un compresor adicional (265-GC-016)

- **Líneas de aire de instrumentación:** El aire comprimido contenido en el acumulado de aire de

Anexo 8. Mantenimiento a instrumentos de línea de agua de sello

PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO	
MANTENIMIENTO A INSTRUMENTOS DE LINEA DE AGUA DE SELLO	Código : MC01058GSA – PETS-MTTO-I-05. Versión : 0 Página : 3 de 18
Objetivo Establecer los pasos, procesos y/o tareas necesarias para realizar Inspección de Equipos y/o instrumentos en campo de manera segura y eficaz, con el fin de prevenir accidentes personales, daños a los equipos, daño al medio ambiente y/o al proceso. Asimismo, asegurar que por medio del presente documento todo el personal involucrado de PCC y colaboradores de empresas contratistas, tengan el soporte necesario para la identificación de peligros, riesgos, controles, ejecución segura y saludable de la actividad.	
Alcance Este procedimiento es aplicable a el personal de PROJECTS COMMISSIONING CONSULTANTS (PCC) que se encontrará involucrado dentro el Comisionamiento y también es aplicable a todos los Equipos Eléctricos del Proyecto MC01058GSA – WO 001 "Servicio Dotación de Personal Task Forcé para Etapa Comm TEP II" que se encuentren instalados en las áreas y que cumplan con los planos, especificaciones y hojas técnicas de los equipos y sistema de las líneas de agua de sello.	
Responsabilidades Ingeniero de Seguridad • Verificar que se cumplan todos los estándares de seguridad y cuidado del medio ambiente para la ejecución de los trabajos. • Verificar que el personal cuente con equipos de protección personal adecuada y en buenas condiciones. • Verificar que el personal ejecutor se encuentre habilitado con los cursos específicos de seguridad relacionados a la tarea a realizar. • Visar la documentación de seguridad (IPERC CONTINUO, PETAR) al personal encargado de realizar el trabajo, en campo. Supervisor Instrumentación • Difundir y verificar que los trabajadores conozcan y cumplan el presente PETS, así mismo usen adecuadamente el equipo de protección personal apropiado para cada tarea. • Facilitar y verificar la existencia del documento impreso los detalle de chancado, molienda, flotación y filtros. Asegurar que se mantenga siempre la última revisión. • Facilitar y verificar que el personal cuente con los cursos vigentes para el desarrollo de la tarea específica. • Coordinar, planificar y asignar responsabilidades al personal de acuerdo a la actividad a realizar. • Proporcionar asesoría técnica a los responsables asignados a la tarea específica. • Coordinar con el supervisor del área a intervenir sobre el trabajo que se va a realizar. • Verificar si los equipos de medición a usar para la actividad se encuentran debidamente certificados (calibración) sin haber excedido el límite de la fecha de vencimiento, por las empresas certificadoras correspondientes. • Visar el IPERC CONTINUO realizado por el personal técnico en campo. • Actuar inmediatamente frente a cualquier peligro que sea informado en el lugar de trabajo. • Verificar si el desarrollo de la tarea se está ejecutando tal como se instruye en el presente procedimiento. • Paralizar las operaciones o labores en situaciones de alto riesgo hasta que se haya eliminado o minimizado dichas situaciones riesgosas. • Realizar el feedback con los ejecutores una vez culminada la tarea.	

PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO

MANTENIMIENTO A INSTRUMENTOS DE LINEA DE AGUA DE SELLO

Código : MC01058GSA – PETS-
MTTO-I-05.
Versión : 0
Página : 4 de 18

- Establecer un plan de mejora continua en coordinación con los responsables de SSO del área para incrementar la solidez del PETS.

Técnico Instrumentista

- Conocer y cumplir correctamente el PETS.
- Realizar la identificación de peligros y evaluación de riesgos continua (IPERC CONTINUO) y evaluar si la actividad requiere el uso de un permiso escrito de trabajo de alto riesgo (PETAR).
- Solicitar al supervisor el PETS e IPERC actualizado de la actividad a realizar.
- Verificar el adecuado funcionamiento de los equipos de medición a usar. Así mismo constatar que la fecha de vencimiento de calibración no haya caducado.
- Verificar que las herramientas que se utilizarán estén en buen estado y cuenten con la cinta respectiva del mes.
- Seleccionar y usar el equipo de protección personal adecuado para la actividad a realizar.
- Coordinar con el operador y sala de control la actividad a realizar.
- Uso correcto de las herramientas para el cual fue diseñado y a utilizar en la tarea.
- Aplicar los conocimientos de seguridad adquiridos en los cursos específicos para la realización de la actividad.

Definiciones

- Las bombas de gran caudal y potencia usadas para pulpa y agua requieren de una línea dedicada de agua para la prensa estopa y así poder realizar refrigeración de las partes móviles y las fijas, asimismo estos sellos evitan la fuga del líquido propulsado al exterior.
- De lo último se deriva la importancia de mantener un flujo continuo de agua fresca cuando la bomba esté funcionando y cortar dicho suministro cuando la bomba se encuentre detenida, también el sistema de instrumentación debe ser capaz de enviar las señales correspondientes al sistema de control para indicar el estado de dicha línea de agua.
- El sistema de control consta de:
 - ✓ Una válvula solenoide de 1" normalmente cerrada que se apertura cuando el sistema de control tiene condiciones.
 - ✓ Un interruptor de flujo (flujostato), que confirma la cantidad mínima de flujo de agua para que el sistema trabaje de acuerdo a los requerimientos del fabricante de la bomba.
 - ✓ Una válvula reguladora para modificar la cantidad de agua que llega al sello de la bomba.
- Cuando el agua contiene contaminantes sólidos y en suspensión pueden obstruirse las partes internas de la válvula solenoide y depende de la evaluación si es que requiere cambio o mantenimiento. El vástago interno de la válvula también puede deteriorarse o trabarse.
- Asimismo, el interruptor de flujo puede obstruirse (partes húmedas) o el mecanismo que transmite el movimiento hacia el micro-interruptor puede dañarse, igualmente dependerá de la evaluación realizada si es que se debe reparar o cambiar.
- Tomar en consideración las salpicaduras de agua que se encuentra en el ambiente producto de conexiones irregulares, del manguereo de Operaciones y lo que cae por gravedad de niveles superiores, ya que toda esta humedad va a producir desperfectos en el funcionamiento de los equipos. Se debe proteger el mismo equipo con silicona y adicionalmente colocar fundas de plástico.

PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO	
MANTENIMIENTO A INSTRUMENTOS DE LINEA DE AGUA DE SELLO	Código : MC01058GSA – PETS-MTTO-I-05. Versión : 0 Página : 5 de 18
NOTA: ✓ Solo algunas bombas poseen bypass mecánico sobre el interruptor de flujo por lo que se podrá intervenir dicho instrumento de requerir cambio. En caso no tenga este bypass no se podrá realizar el cambio dado que la bomba se quedaría sin agua de sello y ello no es permitido. ✓ Por esta razón siempre se debe solicitar el bypass lógico a Control de Procesos y así dar continuidad al suministro de agua de sello.	
Abreviaturas • MCP: Minera Chinalco Perú • CECOM: Central de emergencia y comunicaciones • EPP: Equipo de Protección Personal. • PETAR: Permiso escrito de trabajo de alto riesgo. • IPERC: Identificación de Peligros, Evaluación de Riesgos y Control. • DCS: Sistema de control distribuido • JB: Junction Box – Tablero aislamiento • PLC: Controlador lógico programable • CDP: Control de procesos. • ATPV: Valor de protección térmica de arco.	
Restricciones, Lineamientos y/o Consideraciones • El personal debe tener la autorización del supervisor de área para iniciar con la intervención. • No se realizará ninguna actividad en caso de alerta roja por tormenta eléctrica. • Está prohibido ingresar al área de trabajo bajo efecto de alcohol y/o drogas. • En caso de realizarse la actividad fuera del horario de trabajo se deberá contar con la autorización de la supervisión y realizar los permisos correspondientes (Horario extendido). • No operar o realizar trabajo alguno cuando se encuentre fatigado. • No operar equipos si no se encuentra autorizado. • No realizar el trabajo si no cuenta con el IPERC CONTINUO de la tarea. • No realizar el trabajo si no cuenta con el PETAR requerido para la tarea. • No se realizará el procedimiento con el equipo en funcionamiento. • No realizar trabajo alguno en caso de no contar con supervisión para tareas críticas. • El personal instrumentista debe de contar con los cursos específicos correspondientes: NFPA70E, Riesgos Eléctricos-Ingreso a salas eléctricas, Bloqueo y Etiquetado. • Uso obligatorio de los trajes ignífugos • Los permisos deben de contar con el visado de la supervisión. • No se realizará el trabajo si las condiciones de los equipos y ambientales no prestan la seguridad para el personal. • Verificar que los instrumentos, herramientas y/o equipos a utilizar deben contar con el certificado y la fecha de calibración vigente, así como la cinta de inspección del mes. • El trabajo a realizarse debe ejecutarse entre 02 técnicos instrumentistas como mínimo, siempre en coordinación con las áreas de Operaciones, Control de Procesos y Sala de Control.	

Anexo 9. Mantenimiento, inspección y calibración de sensores de temperatura

PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO	
MANTENIMIENTO, INSPECCIÓN Y CALIBRACIÓN DE SENSORES DE TEMPERATURA	Código : MC01058GSA – PETS- MTTO-I-06 Versión : 0 Página : 3 de 24
Objetivo Establecer los pasos, procesos y/o tareas necesarias para realizar Inspección de Equipos y/o instrumentos en campo de manera segura y eficaz, con el fin de prevenir accidentes personales, daños a los equipos, daño al medio ambiente y/o al proceso. Asimismo, asegurar que por medio del presente documento todo el personal involucrado de PCC y colaboradores de empresas contratistas, tengan el soporte necesario para la identificación de peligros, riesgos, controles, ejecución segura y saludable de la actividad.	
Alcance Este procedimiento es aplicable a el personal de PROJECTS COMMISSIONING CONSULTANTS (PCC) que se encontrará involucrado dentro el Comisionamiento y también es aplicable a todos los Equipos Eléctricos del Proyecto MC01058GSA – WO 001 "Servicio Dotación de Personal TaskForce para Etapa Comm TEP II" los instrumentos se encuentren instalados en las diferentes áreas y que cumplan con los planos y especificaciones técnicas de los sensores de presión, el personal podrá realizar las calibraciones de los sensores de presión.	
Responsabilidades Ingeniero de Seguridad • Verificar que se cumplan todos los estándares de seguridad y cuidado del medio ambiente para la ejecución de los trabajos. • Verificar que el personal cuente con equipos de protección personal adecuada y en buenas condiciones. • Verificar que el personal ejecutor se encuentre habilitado con los cursos específicos de seguridad relacionados a la tarea a realizar. • Visar la documentación de seguridad (IPERC CONTINUO, PETAR) al personal encargado de realizar el trabajo, en campo. Supervisor Instrumentación • Difundir y verificar que los trabajadores conozcan y cumplan el presente PETS, así mismo usen adecuadamente el equipo de protección personal apropiado para cada tarea. • Facilitar y verificar la existencia del documento impreso los talleres de chancado, molienda, flotación y filtros. Asegurar que se mantenga siempre la última revisión. • Facilitar y verificar que el personal cuente con los cursos vigentes para el desarrollo de la tarea específica. • Coordinar, planificar y asignar responsabilidades al personal de acuerdo a la actividad a realizar. • Proporcionar asesoría técnica a los responsables asignados a la tarea específica. • Coordinar con el supervisor del área a intervenir sobre el trabajo que se va a realizar. • Verificar si los equipos de medición a usar para la actividad se encuentran debidamente certificados (calibración) sin haber excedido el límite de la fecha de vencimiento, por las empresas certificadoras correspondientes. • Visar el IPERC CONTINUO realizado por el personal técnico en campo. • Actuar inmediatamente frente a cualquier peligro que sea informado en el lugar de trabajo. • Verificar si el desarrollo de la tarea se está ejecutando tal como se instruye en el presente procedimiento. • Paralizar las operaciones o labores en situaciones de alto riesgo hasta que se haya eliminado o minimizado dichas situaciones riesgosas.	

PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO	
MANTENIMIENTO, INSPECCIÓN Y CALIBRACIÓN DE SENSORES DE TEMPERATURA	Código : MC01058GSA – PETS- MTTO-I-06 Versión : 0 Página : 4 de 24
- Realizar el feedback con los ejecutores una vez culminada la tarea. - Establecer un plan de mejora continua en coordinación con los responsables de SSO del área para incrementar la solidez del PETS.	
Técnico Instrumentista - Tener conocimiento adecuado del PETS y cumplirlo. - Realizar la identificación de peligros y evaluación de riesgos, llenar formato IPERC CONTINUO y evaluar si la actividad requiere el uso de un permiso escrito de trabajo de alto riesgo PETAR. - Solicitar al supervisor el PETS e IPERC DE LINEA BASE actualizado de la actividad a realizar. - Verificar el adecuado funcionamiento de los equipos de medición a usar. Asimismo, constatar que la fecha de vencimiento de calibración no haya caducado. - Verificar que las herramientas que se utilizarán estén en buen estado y cuenten con la cinta respectiva del mes. - Seleccionar y usar el equipo de protección personal adecuado para la actividad a realizar. - Coordinar con el operador y sala de control la actividad a realizar. - Uso correcto de las herramientas para el cual fueron diseñadas y que se utilizaran en la tarea. - Aplicar los conocimientos de seguridad adquiridos en los cursos específicos para la realización del de la actividad.) - Solicitar al supervisor el PETS e IPERC DE LINEA BASE actualizado de la actividad a realizar. - Verificar el adecuado funcionamiento de los equipos de medición a usar. Asimismo constatar que la fecha de vencimiento de calibración no haya caducado. - Verificar que las herramientas que se utilizarán estén en buen estado y cuenten con la cinta respectiva del mes. - Seleccionar y usar el equipo de protección personal adecuado para la actividad a realizar. - Coordinar con el operador y sala de control la actividad a realizar. - Uso correcto de las herramientas para el cual fueron diseñadas y que se utilizaran en la tarea. - Aplicar los conocimientos de seguridad adquiridos en los cursos específicos para la realización del de la actividad.	

PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO

MANTENIMIENTO, INSPECCIÓN Y CALIBRACIÓN DE SENSORES DE TEMPERATURA

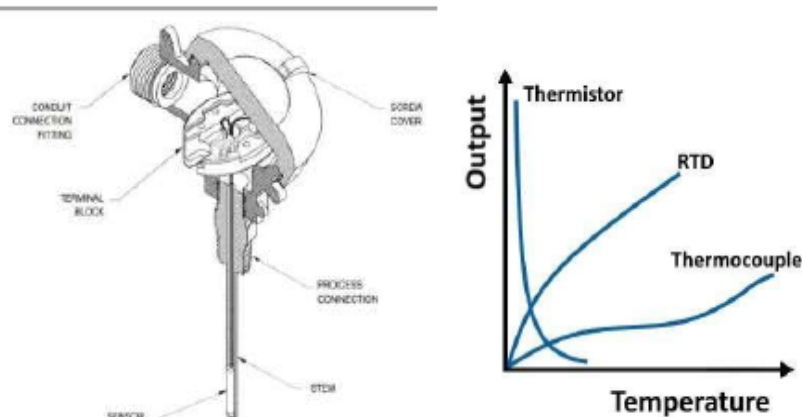
Código : MC01058GSA – PETS-
MTTO-I-06

Versión : 0

Página : 5 de 24

Definiciones

- **Sensor de temperatura:** Un sensor de temperatura es un dispositivo, típicamente, un termopar o RTD, que proporciona medición de temperatura a través de un sistema eléctrico de señal. Un termopar (T / C) está hecho de dos metales diferentes que generan voltaje eléctrico en proporción directa a los cambios de temperatura. Un RTD (Detector de temperatura de resistencia) es una resistencia variable que cambiará su electricidad resistencia en proporción directa a los cambios en temperatura de forma precisa, repetible y casi manera lineal.



- **Pozo de metrología de campo:** Es un equipo para calibrar un transmisor de temperatura de 4 a 20 mA como un simple termostato, es la herramienta adecuada para realizar dichas tareas. Con rango de -25 °C a 660 °C, los hornos de calibración, ofrece la posibilidad de calibrar una amplia gama de tipos de sensores. Existen versiones que proporcionan dos canales de lectura para termopares (T/C) y termopares de platino (PRT), termopares y transmisores de 4 a 20 mA, incluyendo alimentación de lazo de 24 V para el transmisor.



Anexo 10. Mantenimiento e inspección y calibración de sensores de presión

PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO	
MANTENIMIENTO, INSPECCIÓN Y CALIBRACIÓN DE SENSORES DE PRESIÓN	Código : MC01058GSA – PETS-MTTO-I-07 Versión : 0 Página : 3 de 25
Objetivo Establecer los pasos, procesos y/o tareas necesarias para realizar Inspección de Equipos y/o instrumentos en campo de manera segura y eficaz, con el fin de prevenir accidentes personales, daños a los equipos, daño al medio ambiente y/o al proceso. Asimismo, asegurar que por medio del presente documento todo el personal involucrado de PCC y colaboradores de empresas contratistas, tengan el soporte necesario para la identificación de peligros, riesgos, controles, ejecución segura y saludable de la actividad.	
Alcance Este procedimiento es aplicable a el personal de PROJECTS COMMISSIONING CONSULTANTS (PCC) que se encontrará involucrado dentro el Comisionamiento y también es aplicable a todos los Equipos Eléctricos del Proyecto MC01058GSA – WO 001 "Servicio Dotación de Personal TaskForce para Etapa Comm TEP II" los instrumentos se encuentren instalados en las diferentes áreas y que cumplan con los planos y especificaciones técnicas de los sensores de presión, el personal podrá realizar las calibraciones de los sensores de presión.	
Responsabilidades Ingeniero de Seguridad • Verificar que se cumplan todos los estándares de seguridad y cuidado del medio ambiente para la ejecución de los trabajos. • Verificar que el personal cuente con equipos de protección personal adecuada y en buenas condiciones. • Verificar que el personal ejecutor se encuentre habilitado con los cursos específicos de seguridad relacionados a la tarea a realizar. • Visar la documentación de seguridad (IPERC CONTINUO, PETAR) al personal encargado de realizar el trabajo, en campo. Supervisor Instrumentación • Difundir y verificar que los trabajadores conozcan y cumplan el presente PETS, así mismo usen adecuadamente el equipo de protección personal apropiado para cada tarea. • Facilitar y verificar la existencia del documento impreso los taller de chancado, molienda, flotación y filtros. Asegurar que se mantenga siempre la última revisión. • Facilitar y verificar que el personal cuente con los cursos vigentes para el desarrollo de la tarea específica. • Coordinar, planificar y asignar responsabilidades al personal de acuerdo a la actividad a realizar. • Proporcionar asesoría técnica a los responsables asignados a la tarea específica. • Coordinar con el supervisor del área a intervenir sobre el trabajo que se va a realizar. • Verificar si los equipos de medición a usar para la actividad se encuentran debidamente certificados (calibración) sin haber excedido el límite de la fecha de vencimiento, por las empresas certificadoras correspondientes. • Visar el IPERC CONTINUO realizado por el personal técnico en campo. • Actuar inmediatamente frente a cualquier peligro que sea informado en el lugar de trabajo. • Verificar si el desarrollo de la tarea se está ejecutando tal como se instruye en el presente procedimiento. • Paralizar las operaciones o labores en situaciones de alto riesgo hasta que se haya eliminado o minimizado dichas situaciones riesgosas.	

PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO	
MANTENIMIENTO, INSPECCIÓN Y CALIBRACIÓN DE SENSORES DE PRESIÓN	Código : MC01058GSA – PETS-MTTO-I-07 Versión : 0 Página : 4 de 25
- Realizar el feedback con los ejecutores una vez culminada la tarea. - Establecer un plan de mejora continua en coordinación con los responsables de SSO del área para incrementar la solidez del PETS. Técnico Instrumentista - Tener conocimiento adecuado del PETS y cumplirlo. - Realizar la identificación de peligros y evaluación de riesgos, llenar formato IPERC CONTINUO y evaluar si la actividad requiere el uso de un permiso escrito de trabajo de alto riesgo PETAR. - Solicitar al supervisor el PETS e IPERC DE LINEA BASE actualizado de la actividad a realizar. - Verificar el adecuado funcionamiento de los equipos de medición a usar. Asimismo, constatar que la fecha de vencimiento de calibración no haya caducado. - Verificar que las herramientas que se utilizarán estén en buen estado y cuenten con la cinta respectiva del mes. - Seleccionar y usar el equipo de protección personal adecuado para la actividad a realizar. - Coordinar con el operador y sala de control la actividad a realizar. - Uso correcto de las herramientas para el cual fueron diseñadas y que se utilizaran en la tarea. - Aplicar los conocimientos de seguridad adquiridos en los cursos específicos para la realización del de la actividad. Definiciones Sensor de presión: Un sensor de presión es un dispositivo que detecta una fuerza ejercida sobre una superficie (presión) y la convierte en una señal electrónica cuya fuerza es relativa a la fuerza de la fuerza. Los sensores de presión. ✓ Los sensores de presión absoluta miden la presión relativa al cero absoluto, que solo existe en el vacío. Estos dispositivos contienen un puerto de referencia. Las aplicaciones para sensores de presión absoluta incluyen la medición de la presión atmosférica. ✓ Sensores de presión manométrica, que miden la presión relativa a la presión atmosférica. Como regla general, un elemento del dispositivo está abierto a las condiciones ambientales. Las aplicaciones del sensor de presión manométrica incluyen medición de la presión arterial y monitores de presión de los neumáticos. ✓ Los sensores de presión diferencial incluyen más de un elemento sensor para permitir la captura y comparación de múltiples factores de fuerza. Estos dispositivos se utilizan con mayor frecuencia para maquinaria en entornos industriales. El término sensor de presión a veces se usa, de manera imprecisa, para referirse a transductores de presión y transmisores de presión. ✓ Manómetros sellados, este sensor es similar a un sensor de presión manométrica, excepto que mide la presión con respecto a una presión fija distinta de la presión atmosférica ambiente (la presión atmosférica varía según la ubicación y las condiciones meteorológicas). Tipos de Sensores de presión: ✓ Galgas extensométricas piezorresistivas o extensómetros piezorresistivos, Utilizan el efecto piezorresistivo de una o varias galgas extensométricas pegadas con adhesivo o formadas en la estructura para detectar la deformación que se produce como resultado de la aplicación de presión.	

PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO

MANTENIMIENTO, INSPECCIÓN Y CALIBRACIÓN DE SENSORES DE PRESIÓN

Código : MC01058GSA – PETS-
MTTO-I-07
Versión : 0
Página : 5 de 25

Mide la variación en la resistencia a medida que la presión deforma el material. Las tecnologías más comunes son las de silicio (monocristalino), película delgada de silicio policristalino, lámina metálica de soporte adherida, película gruesa, silicio sobre zafiro y capa fina obtenida por pulverización catódica. En general, las galgas extensométricas se conectan para formar un circuito tipo puente de Wheatstone con el que se maximiza la salida del sensor y se reduce la sensibilidad a los errores. Esta es la tecnología de detección más comúnmente empleada para aplicaciones generales de medida de presión.

- ✓ **Capacitivos**, Consiste en utilizar una membrana y una cavidad de presión para crear un condensador variable, mediante el cual se detecta la deformación causada por la presión aplicada. La capacitancia se reduce a medida que la presión deforma la membrana. Las tecnologías comunes usan membranas metálicas, cerámicas y de silicio.
- ✓ **Electromagnéticos**, Miden el desplazamiento de una membrana utilizando distintos principios de medida: cambios en la inductancia (reluctancia), LVDT, efecto Hall o corrientes parásitas.
- ✓ **Piezoeléctricos**, Utilizan el efecto piezoeléctrico de determinados materiales, como el cuarzo, para medir la deformación de un elemento sensible originada por la presión. Esta tecnología se emplea comúnmente para la medición de presiones altamente dinámicas.
- ✓ **Galgas extensométricas**, Los sensores de presión con tecnología de galgas extensométricas tienen un elemento de detección de la presión consistente en una o varias galgas extensométricas metálicas, que se pegan con un adhesivo, o galgas de película fina, que se aplican mediante pulverización catódica. Este elemento de medición puede ser una membrana o, en el caso de los cuerpos de medición con galgas de lámina metálica, también se puede utilizar un elemento de tipo tubular. Este diseño de tipo tubular monolítico tiene la ventaja de que una alta rigidez y la capacidad de medir presiones muy elevadas (hasta 15.000 bar). La conexión eléctrica normalmente se establece a través de un puente de Wheatstone, que proporciona una buena amplificación de la señal y resultados de medición precisos y constantes. o
- ✓ **Ópticos**, Utilizan cambios físicos en una fibra óptica para medir la deformación causada por la aplicación de presión. Un ejemplo extendido de este tipo de sensores son las fibras con rejilla de Bragg. Esta tecnología se utiliza en aplicaciones exigentes, en donde el punto de medición está muy alejado, la temperatura es extremadamente alta o resulta interesante emplear una tecnología inmune de forma inherente a las interferencias electromagnéticas. Otra técnica analógica utiliza una película elástica construida en varias capas, que produce cambios en las longitudes de onda reflejadas proporcionales a la presión aplicada (deformación).
- ✓ **Potenciométricos**, Utilizan el desplazamiento de un contacto móvil a lo largo de un mecanismo resistivo para detectar la deformación causada por la aplicación de presión.

Anexo 11. Mantenimiento e inspección a instrumentos de unidad hidráulica

PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO	
MANTENIMIENTO E INSPECCION A INSTRUMENTOS DE UNIDAD HIDRAULICA	Código : MC01058GSA – PETS-MTTO-4-08 Versión : 0 Página : 3 de 22
Objetivo Establecer los pasos, procesos y/o tareas necesarias para realizar Inspección de Equipos y/o instrumentos en campo de manera segura y eficaz, con el fin de prevenir accidentes personales, daños a los equipos, daño al medio ambiente y/o al proceso. Asimismo, asegurar que por medio del presente documento todo el personal involucrado de PCC y colaboradores de empresas contratistas, tengan el soporte necesario para la identificación de peligros, riesgos, controles, ejecución segura y saludable de la actividad.	
Alcance Este procedimiento es aplicable a el personal de PROJECTS COMMISSIONING CONSULTANTS (PCC) que se encontrará involucrado dentro el Comisionamiento y también es aplicable a todos los Equipos Eléctricos del Proyecto MC01058GSA – WO 001 "Servicio Dotación de Personal TaskForce para Etapa Comm TEP II" que se encuentren instalados en las áreas y que cumplan con los planos, especificaciones y hojas técnicas de los componentes eléctricos e instrumentación de la unidad hidráulica.	
Responsabilidades Ingeniero de Seguridad • Verificar que se cumplan todos los estándares de seguridad y cuidado del medio ambiente para la ejecución de los trabajos. • Verificar que el personal cuente con equipos de protección personal adecuada y en buenas condiciones. • Verificar que el personal ejecutor se encuentre habilitado con los cursos específicos de seguridad relacionados a la tarea a realizar. • Visar la documentación de seguridad (IPERC CONTINUO, PETAR) al personal encargado de realizar el trabajo, en campo. Supervisor Instrumentación • Difundir y verificar que los trabajadores conozcan y cumplan el presente PETS, así mismo usen adecuadamente el equipo de protección personal apropiado para cada tarea. • Facilitar y verificar la existencia del documento impreso los taller de chancado, molienda, flotación y filtros. Asegurar que se mantenga siempre la última revisión. • Facilitar y verificar que el personal cuente con los cursos vigentes para el desarrollo de la tarea específica. • Coordinar, planificar y asignar responsabilidades al personal de acuerdo a la actividad a realizar. • Proporcionar asesoría técnica a los responsables asignados a la tarea específica. • Coordinar con el supervisor del área a intervenir sobre el trabajo que se va a realizar. • Verificar si los equipos de medición a usar para la actividad se encuentran debidamente certificados (calibración) sin haber excedido el límite de la fecha de vencimiento, por las empresas certificadoras correspondientes. • Visar el IPERC CONTINUO realizado por el personal técnico en campo. • Actuar inmediatamente frente a cualquier peligro que sea informado en el lugar de trabajo. • Verificar si el desarrollo de la tarea se está ejecutando tal como se instruye en el presente procedimiento. • Paralizar las operaciones o labores en situaciones de alto riesgo hasta que se haya eliminado o minimizado dichas situaciones riesgosas.	

PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO

MANTENIMIENTO E INSPECCION A INSTRUMENTOS DE UNIDAD HIDRAULICA

Código : MC01058GSA – PETS-
MTTO-I-08
Versión : 0
Página : 4 de 22

- Realizar el feedback con los ejecutores una vez culminada la tarea.
- Establecer un plan de mejora continua en coordinación con los responsables de SSO del área para incrementar la solidez del PETS.

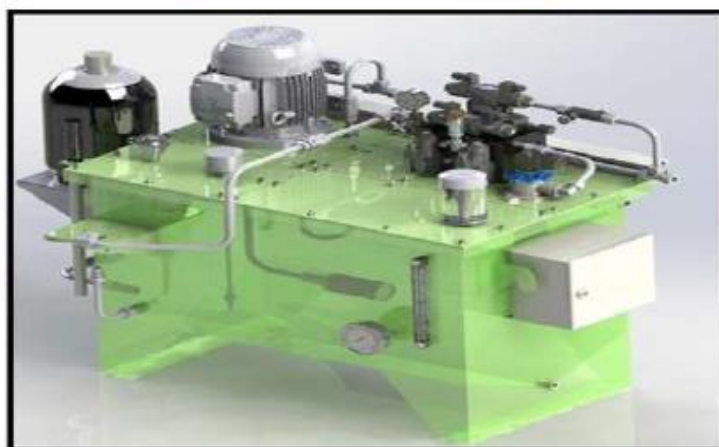
Técnico Instrumentista

- Tener conocimiento adecuado del PETS y cumplirlo.
- Realizar la identificación de peligros y evaluación de riesgos, llenar formato IPERC CONTINUO y evaluar si la actividad requiere el uso de un permiso escrito de trabajo de alto riesgo PETAR.
- Solicitar al supervisor el PETS e IPERC DE LINEA BASE actualizado de la actividad a realizar.
- Verificar el adecuado funcionamiento de los equipos de medición a usar. Asimismo, constatar que la fecha de vencimiento de calibración no haya caducado.
- Verificar que las herramientas que se utilizarán estén en buen estado y cuenten con la cinta respectiva del mes.
- Seleccionar y usar el equipo de protección personal adecuado para la actividad a realizar.
- Coordinar con el operador y sala de control la actividad a realizar.
- Uso correcto de las herramientas para el cual fueron diseñadas y que se utilizaran en la tarea.
- Aplicar los conocimientos de seguridad adquiridos en los cursos específicos para la realización del de la actividad.

Definiciones

- **Unidad hidráulica:** Las unidades de potencia o sistemas hidráulicos son completamente integrados en un dispositivo compacto con capacidad de galonajes reducidas y presiones altas, las cuales transfieren potencia desde un recipiente cerrado, mediante un desplazamiento variable a otro recipiente cerrado.

Unidad Sistema de Engrase



PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO

MANTENIMIENTO E INSPECCION A INSTRUMENTOS DE UNIDAD HIDRAULICA

Código : MC01058GSA – PETS-
MTTO-I-08
Versión : 0
Página : 5 de 22

- Partes Principales del Equipos: Las unidades de potencia hidráulica tienen como principal función abastecer de aceite al circuito hidráulico con una presión y caudal adecuado para su correcto funcionamiento y mantenerlo libre de suciedad y contaminante.
- Las unidades de potencia hidráulica están compuestas mínimo por los siguientes elementos (aunque se pueden agregar otros según el requerimiento):
 - ✓ Tanque de almacenamiento.
 - ✓ Motor Eléctrico o Bomba Hidráulica.
 - ✓ Válvula limitadora de presión.
 - ✓ Válvulas direccionales.
 - ✓ Filtros.
 - ✓ Instrumentos (presión, temperatura, nivel, etc.)

Motor eléctrico



Válvula direccional hidráulico



Válvula reguladora de presión



Manifold hidráulico



Anexo 12. Mantenimiento a instrumentos en celdas de flotación y columna

PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO	
MANTENIMIENTO A INSTRUMENTOS EN CELDAS DE FLOTACIÓN Y COLUMNA	Código : MC01058GSA – PETS-MTTO-I-12 Versión : 0 Página : 3 de 21
Objetivo Establecer los pasos, procesos y/o tareas necesarias para realizar Inspección de Equipos y/o instrumentos en campo de manera segura y eficaz, con el fin de prevenir accidentes personales, daños a los equipos, daño al medio ambiente y/o al proceso. Asimismo, asegurar que por medio del presente documento todo el personal involucrado de PCC y colaboradores de empresas contratistas, tengan el soporte necesario para la identificación de peligros, riesgos, controles, ejecución segura y saludable de la actividad.	
Alcance Este procedimiento es aplicable a el personal de PROJECTS COMMISSIONING CONSULTANTS (PCC) que se encontrará involucrado dentro el Comisionamiento y también es aplicable a todos los Equipos Eléctricos del Proyecto MC01058GSA – WO 001 "Servicio Dotación de Personal TaskForce para Etapa Comm TEP II" que se encuentren instalados en las áreas y que cumplan con los planos, especificaciones y hojas técnicas de los componentes eléctricos,	
Responsabilidades Ingeniero de Seguridad • Verificar que se cumplan todos los estándares de seguridad y cuidado del medio ambiente para la ejecución de los trabajos. • Verificar que el personal cuente con equipos de protección personal adecuada y en buenas condiciones. • Verificar que el personal ejecutor se encuentre habilitado con los cursos específicos de seguridad relacionados a la tarea a realizar. • Visar la documentación de seguridad (IPERC CONTINUO, PETAR) al personal encargado de realizar el trabajo, en campo. Supervisor Instrumentación • Difundir y verificar que los trabajadores conozcan y cumplan el presente PETS, así mismo usen adecuadamente el equipo de protección personal apropiado para cada tarea. • Facilitar y verificar la existencia del documento impreso los detalles de chancado, molienda, flotación y filtros. Asegurar que se mantenga siempre la última revisión. • Facilitar y verificar que el personal cuente con los cursos vigentes para el desarrollo de la tarea específica. • Coordinar, planificar y asignar responsabilidades al personal de acuerdo a la actividad a realizar. • Proporcionar asesoría técnica a los responsables asignados a la tarea específica. • Coordinar con el supervisor del área a intervenir sobre el trabajo que se va a realizar. • Verificar si los equipos de medición a usar para la actividad se encuentran debidamente certificados (calibración) sin haber excedido el límite de la fecha de vencimiento, por las empresas certificadoras correspondientes. • Visar el IPERC CONTINUO realizado por el personal técnico en campo. • Actuar inmediatamente frente a cualquier peligro que sea informado en el lugar de trabajo. • Verificar si el desarrollo de la tarea se está ejecutando tal como se instruye en el presente procedimiento. • Paralizar las operaciones o labores en situaciones de alto riesgo hasta que se haya eliminado o minimizado dichas situaciones riesgosas. • Realizar el feedback con los ejecutores una vez culminada la tarea. • Establecer un plan de mejora continua en coordinación con los responsables de SSO del área para incrementar la solidez del PETS.	

PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO

MANTENIMIENTO A INSTRUMENTOS EN CELDAS DE FLOTACIÓN Y COLUMNA

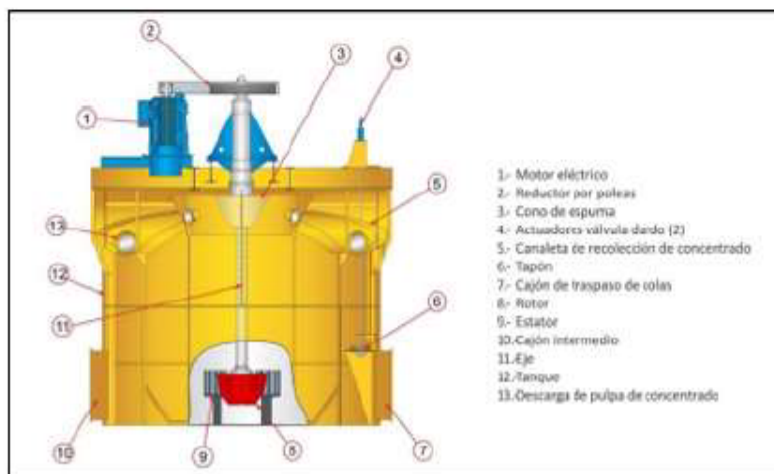
Código : MC01058GSA – PETS-
MTTO-I-12
Versión : 0
Página : 4 de 21

Técnico Instrumentista

- Tener conocimiento adecuado del PETS y cumplirlo.
- Realizar la identificación de peligros y evaluación de riesgos, llenar formato IPERC CONTINUO y evaluar si la actividad requiere el uso de un permiso escrito de trabajo de alto riesgo PETAR.
- Solicitar al supervisor el PETS e IPERC DE LINEA BASE actualizado de la actividad a realizar.
- Verificar el adecuado funcionamiento de los equipos de medición a usar. Asimismo, constatar que la fecha de vencimiento de calibración no haya caducado.
- Verificar que las herramientas que se utilizarán estén en buen estado y cuenten con la cinta respectiva del mes.
- Seleccionar y usar el equipo de protección personal adecuado para la actividad a realizar.
- Coordinar con su supervisor inmediato y el operador en sala de control, la actividad a realizar.
- Uso correcto de las herramientas para el cual fueron diseñadas y que se utilizaran en la tarea.
- Aplicar los conocimientos de seguridad adquiridos en los cursos específicos para la realización del de la actividad.

Definiciones

- **Celda de Flotación Rougher Bulk.-** Es un equipo electromecánico estacionario con un método de aire forzado, de 6,900mm de altura x 8,400mm de diámetro, produce una intensa mezcla y aireación que cumple la función de separar la pulpa en dos productos (concentrado y relave), cuenta con un cilindro de 300m³ de capacidad, un agitador que para ser accionado utiliza una reducción por fajas en V acoplado a un motor de 280kW que gira a razón de 595rpm, cuenta con un tubo de aspiración cónico en el que se encuentra un rotor compuesto de 8 paletas conectado a un eje, alrededor del cilindro cuenta con un launder periférico para la colección de espumas, válvulas dardo para el control de nivel de los cajones de colección y descarga.

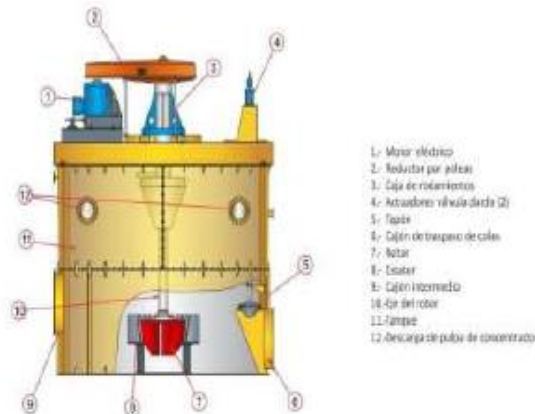


PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO

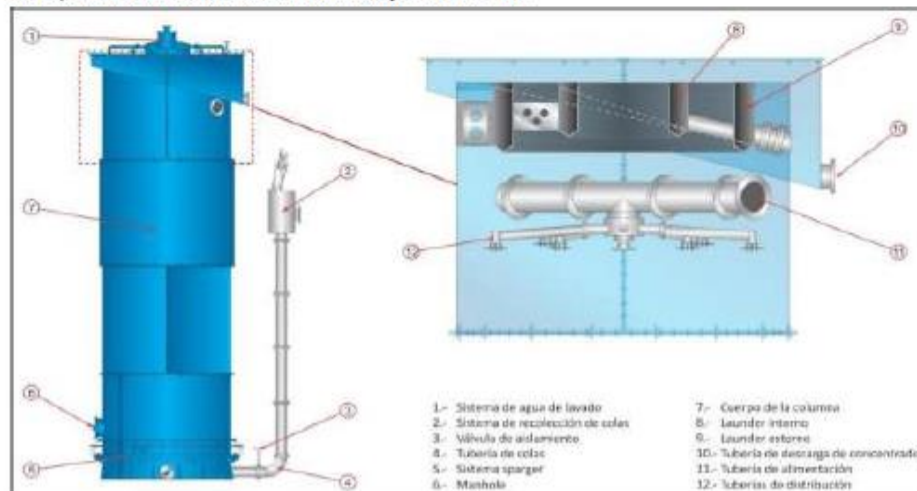
MANTENIMIENTO A INSTRUMENTOS EN CELDAS DE FLOTACIÓN Y COLUMNA

Código : MC01058GSA - PETS-
MTTO-I-12
Versión : 0
Página : 5 de 21

- **Celda de Flotación Cleaner.-** Es un equipo electromecánico estacionario con un método de aire forzado, de 4,560mm de altura x 5,800mm de diámetro, produce una intensa mezcla y vortice que cumple la función de limpiar el concentrado bulk, cuenta con un cilindro de 100m³ de capacidad, un agitador que para ser accionado utiliza una reducción por fajas en V acoplado a un motor de 150kW que gira a razón de 592.5rpm, cuenta con un tubo de aspiración cónico en el que se encuentra un rotor compuesto por un impulsor con 8 paletas inclinadas hacia atrás conectado a un eje, alrededor del cilindro cuenta con un launder periférico para la colección de espumas, 2 válvulas dardo para cada celda para el control de nivel de los cajones de colección y descarga.



- **Celda Columna.-** Son 4 tanques cilíndricos de 14m de altura y 4.3m de diámetro, diseñados para hacer la limpieza de concentrado de cobre, constan de: 01 tubería de alimentación, 01 tubería de descarga de concentrado, 01 tubería de colas que conecta a la caja de relaves, 01 tubería de drenaje y 01 compuerta para el ingreso de las personas (manhole); en la parte superior se ubican los sistemas de agua de lavado y en la parte inferior están los sistemas de inyección de aire.



Anexo 13. Mantenimiento, inspección y calibración de sensores de flujo

PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO	
MANTENIMIENTO, INSPECCIÓN Y CALIBRACIÓN DE SENSORES DE FLUJO	Código : MC01058GSA – PETS-MTTO-I-14. Versión : 0 Página : 3 de 19
Objetivo Establecer los pasos, procesos y/o tareas necesarias para realizar Inspección de Equipos y/o instrumentos en campo de manera segura y eficaz, con el fin de prevenir accidentes personales, daños a los equipos, daño al medio ambiente y/o al proceso. Asimismo, asegurar que por medio del presente documento todo el personal involucrado de PCC y colaboradores de empresas contratistas, tengan el soporte necesario para la identificación de peligros, riesgos, controles, ejecución segura y saludable de la actividad.	
Alcance Este procedimiento es aplicable a el personal de PROJECTS COMMISSIONING CONSULTANTS (PCC) que se encontrará involucrado dentro el Comisionamiento y también es aplicable a todos los Equipos Eléctricos del Proyecto MC01058GSA – WO 001 "Servicio Dotación de Personal TaskForce para Etapa Comm TEP II" que se encuentren instalados en las áreas y que cumplan con los planos, especificaciones y hojas técnicas de los componentes eléctricos,	
Responsabilidades Ingeniero de Seguridad • Verificar que se cumplan todos los estándares de seguridad y cuidado del medio ambiente para la ejecución de los trabajos. • Verificar que el personal cuente con equipos de protección personal adecuada y en buenas condiciones. • Verificar que el personal ejecutor se encuentre habilitado con los cursos específicos de seguridad relacionados a la tarea a realizar. • Visar la documentación de seguridad (IPERC CONTINUO, PETAR) al personal encargado de realizar el trabajo, en campo. Supervisor Instrumentación • Difundir y verificar que los trabajadores conozcan y cumplan el presente PETS, así mismo usen adecuadamente el equipo de protección personal apropiado para cada tarea. • Facilitar y verificar la existencia del documento impreso los detalles de chancado, molienda, flotación y filtros. Asegurar que se mantenga siempre la última revisión. • Facilitar y verificar que el personal cuente con los cursos vigentes para el desarrollo de la tarea específica. • Coordinar, planificar y asignar responsabilidades al personal de acuerdo a la actividad a realizar. • Proporcionar asesoría técnica a los responsables asignados a la tarea específica. • Coordinar con el supervisor del área a intervenir sobre el trabajo que se va a realizar. • Verificar si los equipos de medición a usar para la actividad se encuentran debidamente certificados (calibración) sin haber excedido el límite de la fecha de vencimiento, por las empresas certificadoras correspondientes. • Visar el IPERC CONTINUO realizado por el personal técnico en campo. • Actuar inmediatamente frente a cualquier peligro que sea informado en el lugar de trabajo. • Verificar si el desarrollo de la tarea se está ejecutando tal como se instruye en el presente procedimiento. • Paralizar las operaciones o labores en situaciones de alto riesgo hasta que se haya eliminado o minimizado dichas situaciones riesgosas. • Realizar el feedback con los ejecutores una vez culminada la tarea. • Establecer un plan de mejora continua en coordinación con los responsables de SSO del área para incrementar la solidez del PETS.	

PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO

MANTENIMIENTO, INSPECCIÓN Y CALIBRACIÓN DE SENSORES DE FLUJO

Código : MC01058GSA –
PETS-MTTO-I-14.
Versión : 0
Página : 4 de 19

Técnico Instrumentista

- Tener conocimiento adecuado del PETS y cumplirlo.
- Realizar la identificación de peligros y evaluación de riesgos, llenar formato IPERC CONTINUO y evaluar si la actividad requiere el uso de un permiso escrito de trabajo de alto riesgo PETAR.
- Solicitar al supervisor el PETS e IPERC DE LINEA BASE actualizado de la actividad a realizar.
- Verificar el adecuado funcionamiento de los equipos de medición a usar. Asimismo, constatar que la fecha de vencimiento de calibración no haya caducado.
- Verificar que las herramientas que se utilizarán estén en buen estado y cuenten con la cinta respectiva del mes.
- Seleccionar y usar el equipo de protección personal adecuado para la actividad a realizar.
- Coordinar con el operador y sala de control la actividad a realizar.
- Uso correcto de las herramientas para el cual fueron diseñadas y que se utilizaran en la tarea.
- Aplicar los conocimientos de seguridad adquiridos en los cursos específicos para la realización del de la actividad.

Definiciones

- **Sensor de flujo:** Un medidor de flujo es un dispositivo utilizado para medir el volumen o la masa de un gas o líquido. Los medidores de flujo se conocen por muchos nombres, como medidor de flujo, indicador de flujo, medidor de líquido, sensor de caudal, etc., dependiendo de la industria en particular. Sin embargo, todos miden el flujo. Los canales abiertos, como ríos o arroyos, se pueden medir con medidores de flujo. O, con mayor frecuencia, la mayor utilidad de un medidor de flujo y la mayor variedad de medidores de flujo se centran en medir gases y líquidos en una tubería. Mejorar la precisión, la precisión y la resolución de la medición de fluidos son los mayores beneficios de los mejores medidores de flujo.

Tipos de Flujómetros



Anexo 14. Mantenimiento, inspección y contraste de sensores de nivel

PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO	
MANTENIMIENTO, INSPECCIÓN Y CONTRASTE DE SENSORES DE NIVEL	Código : MC01058GSA – PETS-MTTO-I-15. Versión : 0 Página : 5 de 22
Alcance Este procedimiento es aplicable a el personal de PROJECTS COMMISSIONING CONSULTANTS (PCC) que se encontrará involucrado dentro el Comisionamiento y también es aplicable a todos los Equipos Eléctricos del Proyecto MC01058GSA – WO 001 "Servicio Dotación de Personal TaskForce para Etapa Comm TEP II" que se encuentren instalados en las áreas y que cumplan con los planos, especificaciones y hojas técnicas de los componentes eléctricos,	
Responsabilidades Ingeniero de Seguridad • Verificar que se cumplan todos los estándares de seguridad y cuidado del medio ambiente para la ejecución de los trabajos. • Verificar que el personal cuente con equipos de protección personal adecuada y en buenas condiciones. • Verificar que el personal ejecutor se encuentre habilitado con los cursos específicos de seguridad relacionados a la tarea a realizar. • Visar la documentación de seguridad (IPERC CONTINUO, PETAR) al personal encargado de realizar el trabajo, en campo. Supervisor Instrumentación • Difundir y verificar que los trabajadores conozcan y cumplan el presente PETS, así mismo usen adecuadamente el equipo de protección personal apropiado para cada tarea. • Facilitar y verificar la existencia del documento impreso los detalles de chancado, molienda, flotación y filtros. Asegurar que se mantenga siempre la última revisión. • Facilitar y verificar que el personal cuente con los cursos vigentes para el desarrollo de la tarea específica. • Coordinar, planificar y asignar responsabilidades al personal de acuerdo a la actividad a realizar. • Proporcionar asesoría técnica a los responsables asignados a la tarea específica. • Coordinar con el supervisor del área a intervenir sobre el trabajo que se va a realizar. • Verificar si los equipos de medición a usar para la actividad se encuentran debidamente certificados (calibración) sin haber excedido el límite de la fecha de vencimiento, por las empresas certificadoras correspondientes. • Visar el IPERC CONTINUO realizado por el personal técnico en campo. • Actuar inmediatamente frente a cualquier peligro que sea informado en el lugar de trabajo. • Verificar si el desarrollo de la tarea se está ejecutando tal como se instruye en el presente procedimiento. • Paralizar las operaciones o labores en situaciones de alto riesgo hasta que se haya eliminado o minimizado dichas situaciones riesgosas. • Realizar el feedback con los ejecutores una vez culminada la tarea. • Establecer un plan de mejora continua en coordinación con los responsables de SSO del área para incrementar la solidez del PETS. Técnico Instrumentista • Tener conocimiento adecuado del PETS y cumplirlo. • Realizar la identificación de peligros y evaluación de riesgos, llenar formato IPERC CONTINUO y evaluar si la actividad requiere el uso de un permiso escrito de trabajo de alto riesgo PETAR. • Solicitar al supervisor el PETS e IPERC DE LINEA BASE actualizado de la actividad a realizar.	

PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO

MANTENIMIENTO, INSPECCIÓN Y CONTRASTE DE SENSORES DE NIVEL

Código : MC01058GSA –
PETS-MTTO-I-15.
Versión : 0
Página : 6 de 22

- Verificar el adecuado funcionamiento de los equipos de medición a usar. Asimismo, constatar que la fecha de vencimiento de calibración no haya caducado.
- Verificar que las herramientas que se utilizarán estén en buen estado y cuenten con la cinta respectiva del mes.
- Seleccionar y usar el equipo de protección personal adecuado para la actividad a realizar.
- Coordinar con el operador y sala de control la actividad a realizar.
- Uso correcto de las herramientas para el cual fueron diseñadas y que se utilizaran en la tarea.
- Aplicar los conocimientos de seguridad adquiridos en los cursos específicos para la realización del de la actividad.

Definiciones

- **Sensor de nivel:** Los sensores de nivel detectan el nivel de sólidos, agua y otros fluidos incluido lechadas, materiales granulares. Los sensores de nivel continuo miden el nivel dentro en un rango específico y determinan la cantidad exacta de sustancia en un lugar determinado, mientras que los sensores de nivel de punto solo indican si la sustancia está por encima o por debajo del punto de detección. estos últimos detectan niveles excesivamente altos o bajos.
- **Tipos de sensores de nivel**
 - ✓ **Sensores de nivel ultrasónico:**
 - ✓ Los sensores de nivel ultrasónicos se utilizan para detectar los niveles de sustancias líquidas pegajosas y materiales voluminosos también. Se trabajan produciendo ondas de audio en el rango de frecuencia de 20 a 200 kHz. Estas ondas luego se replican de nuevo a un transductor. La respuesta del sensor ultrasónico está influenciada por la turbulencia, la presión, la humedad y la temperatura. Además, es necesario aumentar el transductor adecuadamente para obtener una mejor respuesta.
 - ✓ **Sensores de nivel capacitivos:**
Estos sensores se utilizan para detectar los niveles de líquido como lodos y líquidos acuosos, operan utilizando una sonda para verificar los cambios de nivel. Estos cambios de nivel se transforman en señales analógicas. Las sondas generalmente están hechas de alambre conductor con aislamiento de PTFE. Pero las sondas de acero inoxidable son extremadamente sensibles y, por lo tanto, son apropiadas para medir sustancias granulares no conductoras o materiales con baja constante dieléctrica. Estos tipos de sensores son muy simples de usar y limpiar, ya que no tienen componentes móviles.
 - ✓ **Sensores de nivel óptico:**
Los sensores ópticos de nivel se utilizan para detectar líquidos, incluidos materiales suspendidos, la interfaz entre dos líquidos inmiscibles y la aparición de sedimentos. Se trabajan en función de los cambios de transmisión en la luz infrarroja emitida por un LED IR. La interferencia de la luz producida puede reducirse utilizando un diodo IR de alta energía y métodos de modulación de pulso.
 - ✓ **Sensores ópticos de microondas:**

PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO

MANTENIMIENTO, INSPECCIÓN Y CONTRASTE DE SENSORES DE NIVEL

Código : MC01058GSA –
PETS-MTTO-I-15.
Versión : 0
Página : 7 de 22

Estos tipos de sensores se utilizan para aplicaciones como temperatura variable, presión, ambientes sucios y húmedos, ya que las microondas pueden pasar fácilmente en estas situaciones sin involucrar moléculas de aire para la transmisión de energía. Los sensores ópticos de microondas pueden detectar agua conductora y sustancias metálicas. Las mediciones se aceptan utilizando el dominio del tiempo o la reflectometría de pulso.



Abreviaturas

- MCP: Minera Chinalco Perú
- CECOM: Central de emergencia y comunicaciones
- EPP: Equipo de Protección Personal.
- PETAR: Permiso escrito de trabajo de alto riesgo.
- IPERC: Identificación de Peligros, Evaluación de Riesgos y Control.
- DCS: Sistema de control distribuido
- JB: Junction Box – Tablero aislamiento
- PLC: Controlador lógico programable
- CDP: Control de procesos.
- ATPV: Valor de protección térmica de arco.

Anexo 15. Data de Instrumentos

Resumen de Protocolos

Contrato C116

Disciplina	Programado	Cerrado	Abierto	% Avance
Instrumentación	600	564	36	94%
Eléctrica	216	214	2	99%
Piping	53	53	0	100%
Mecánica	44	44	0	100%
Total	913	875	38	96%

Contrato C114

Disciplina	Programado	Cerrado	Abierto	% Avance
Instrumentación	3632	154	3478	4%
Eléctrica	295	55	240	19%
Piping	186	3	183	2%
Mecánica	418	10	408	2%
Total	4531	222	4309	5%

Resumen de Certificados

Contrato C116

Certificado	Programado	Aprobado	Abierto	% Avance
CCN	33	33	0	100%
LAR	34	33	1	97%
LCRP	34	33	1	97%
TM	33	33	0	100%

TCCC	33	0	33	0%
------	----	---	----	----

Contrato C114

Certificado	Programado	Aprobado	Abierto	% Avance
CCN	117	83	34	71%
LAR	117	9	108	8%
CRP	117	9	108	8%
TM	117	0	117	0%
TCCC	117	0	117	0%

Resumen de Caminatas Etapa Precomisionamiento

Contrato C116

Caminata	Programado	Realizado	Abierto	% Avance
Caminata componente liberado	38	1	37	3%
Caminata término mecánico	38	28	10	74%
Caminata Sist. Operable	14	0	14	0%

Contrato C114

Disciplina	Programado	Realizado	Abierto	% Avance
Caminata componente liberado	117	0	117	0%
Caminata término mecánico	117	0	117	0%
Caminata Sist. Operable	22	0	22	0%

Resumen de Caminatas Construcción

Contrato C116

Caminata	Programado	Realizado	Abierto	% Avance
Caminata 85%	38	33	5	87%
Caminata 100%	38	33	5	87%

Contrato C114

Disciplina	Programado	Realizado	Abierto	% Avance
Caminata 85%	117	64	53	55%
Caminata 100%	117	28	89	24%

Anexo 16. Resumen de protocolos por planta

		EMPRESA														
		Programado					Firmados por EMPRESA					En Revisión por EMPRESA				
Contrato	N° Subsistema	E	I	M	P	Total	E	I	M	P	Total	E	I	M	P	Total
CC116	2562-SI-001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CC116	F02-COM-02	0	7	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CC116	2562-SLY-001	0	64	0	3	67	0	62	0	3	65	0	0	0	0	0
CC116	2562-SLY-002	20	127	15	0	162	20	118	15	0	153	0	0	0	0	0
CC116	2562-LN34-003	0	3	2	3	8	0	2	2	3	7	0	0	0	0	0
CC116	2563-LN34-004	0	27	2	20	49	0	14	2	20	36	0	0	0	0	0
CC116	2563-LN22-002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CC116		21	230	27	31	309	21	198	27	31	277	0	0	0	0	0