

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

“PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA
INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD DE LAS MÁQUINAS
EN PLANTAS DE XANTATOS EN LA EMPRESA REACTIVOS
NACIONALES SA, LIMA 2023”

Trabajo de suficiencia profesional para optar el título
profesional de:

Ingeniero industrial

Autor:

Jaime Saldaña Ramos

Asesor

Mg. Enrique Martin Avendaño Delgado

<https://orcid.org/0000-0003-4403-0044>

Lima - Perú

2023

INFORME DE SIMILITUD

“PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD DE LAS MÁQUINAS EN PLANTAS DE XANTATOS EN LA EMPRESA REACTIVOS NACIONALES SA, LIMA 2023”

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	1%
2	www.renasa.com.pe Fuente de Internet	1%
3	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Tecnologica del Peru Trabajo del estudiante	1%
5	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%

DEDICATORIA

A Dios por darme la salud y fuerzas para lograr mis metas.

Mi esposa Jessica Jorjes que siempre estuvo apoyándome.

Mis hijos Jheyko y Axel a quienes quiero mucho.

Mi mamá Eva Ramos gracias por todo el apoyo incondicional y sus consejos.

AGRADECIMIENTO

A: Mis padres Rogelio Saldaña, Eva Ramos y mi querida esposa Jessica Jorjes quienes siempre estuvieron incentivándome a lograr mis metas.

A mi asesor el, por su acompañamiento, apoyo y recomendaciones de mejora para la realización del presente trabajo.

Jaime Saldaña Ramos.

Tabla de contenidos

INFORME DE SIMILITUD.....	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	8
RESUMEN EJECUTIVO	9
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	18
CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA	28
CAPÍTULO IV. RESULTADOS.....	56
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
REFERENCIAS.....	72
ANEXOS.....	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cuadro de horas disponibles de equipos	11
Tabla 2 Inventario de equipos	32
Tabla 3 Diagrama de Pareto de criticidad de los equipos	33
Tabla 4. Análisis descriptivo de disponibilidad 4 reactores químicos	34
Tabla 5. Análisis descriptivo de Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) 4 reactores químicos .	35
Tabla 6. Análisis descriptivo de Tiempo Medio de Reparación 4 reactores químicos	37
Tabla 7. Análisis descriptivo de Horas de parada totales 4 reactores químicos	39
Tabla 8. Análisis descriptivo de Número de fallas totales 4 reactores químicos	40
Tabla 9. Costos horas-hombre asociados a reactores con paradas	42
Tabla 10. Costos asociados a la depreciación de reactores por hora parada en relación con su depreciación	43
Tabla 11. Costos horas hombre antes de la implementación	44
Tabla 12. Costos horas hombre luego de la implementación	44
Tabla 13. Resumen de ahorro en mano de obra con el plan	45
Tabla 14. Referencia costos y ahorro diario post implementación de plan	46
Tabla 15. Gastos por mantenimientos preventivos y correctivos	46
Tabla 16. Inversión inicial plan de mantenimiento	47
Tabla 17. Flujo de efectivo detalle año 1 de la implementación.....	49
Tabla 18. Flujo de efectivo detalle año 2 de la implementación.....	49
Tabla 19. Flujo de efectivo detalle año 3 de la implementación.....	50
Tabla 20. Flujo de efectivo detalle año 4 de la implementación.....	50
Tabla 21. Flujo de efectivo detalle año 5 de la implementación.....	51
Tabla 22. Flujo de efectivo resumen	52
Tabla 23. Proyección anual proyecto	52

Tabla 24. Estimación costo capital propio	53
Tabla 25. Evaluación económica financiera	53
Tabla 26 Disponibilidad de los equipos Post-Test.....	56
Tabla 27 Indicadores de equipos críticos posterior al plan de mantenimiento	57
Tabla 28 Resumen de indicadores	58
Tabla 29 Indicador disponibilidad promedio	59
Tabla 30 Cálculo de la disponibilidad del equipo.....	60
Tabla 31 Equipos críticos.....	61
Tabla 32 Indicadores de gestión.....	61
Tabla 33. Análisis modal de efectos y fallas del equipo XB98	62
Tabla 34. Análisis modal de efectos y fallas del equipo XB99	62
Tabla 35. Análisis modal de efectos y fallas del equipo XC100	63
Tabla 36. Análisis modal de efectos y fallas del equipo XD101	63
Tabla 37 Índice de prioridad de riesgo (IPR).....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Planta de producción Reactivos nacionales.....	13
Figura 2. Ubicación geográfica Reactivos nacionales	14
Figura 3. Organigrama Reactivos nacionales	17
Figura 4. Diagrama de procesos de una línea de xantatos	17
Figura 5. Máquina Reactor	32
Figura 6. Diagrama de Pareto de criticidad de los equipos	33
Figura 7. Análisis descriptivo de disponibilidad 4 reactores químicos	35
Figura 8. Análisis descriptivo de Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) 4 reactores químicos	36
Figura 9. Análisis descriptivo de Tiempo Medio de Reparación 4 reactores químicos	37
Figura 10. Análisis descriptivo de Horas de parada totales 4 reactores químicos.....	39
Figura 11. Análisis descriptivo de Número de fallas totales 4 reactores químicos	41
Figura 12. Disponibilidad de los equipos Post-Test	57
Figura 13. Mejora del % de disponibilidad.....	59
Figura 14. Análisis del índice de prioridad de riesgo	64
Figura 15. Plan de mantenimiento preventivo de reactor y acondicionador	66
Figura 16. Formato de lista de repuestos para mantenimiento preventivos.....	67
Figura 17. Programa de mantenimiento.....	68

RESUMEN EJECUTIVO

Para desarrollar la presente suficiencia profesional se ha tenido como base ejemplar la empresa Reactivos Nacionales S.A. responsable de la fabricación de reactivos para la minería con la línea de XANTATOS, siendo para ello empleado una serie de procesos que conllevan a mantener una adecuada satisfacción a las personas contratantes, no obstante debido a la baja disponibilidad que se ha presentado en las máquinas, específicamente en los reactores se ha pasado a la elaboración de un plan de mantenimiento preventivo que permitiese tener mejor nivel de disponibilidad. Los principales resultados arrojaron que muestran que antes del plan de mantenimiento, la disponibilidad era del 89.92%, y después de la implementación, aumentó significativamente al 97.99%. Esto representa un impacto positivo del 8.35%, lo que indica una mejora sustancial en la disponibilidad de los equipos. el TIR fue de 63.86% lo que refleja una rentabilidad atractiva en el tiempo previsto y el VAN fue de 34,597 indicando que los valores futuros de los flujos superan a la inversión inicial, la cual se recuperara en 1 año y 8,3 meses según el PRI. Se concluyó que la implementación de un plan de mantenimiento mejoró la disponibilidad de los equipos de la empresa Reactivos Nacionales SA.

Palabras clave: plan de mantenimiento, disponibilidad de equipos.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Contextualización de la experiencia

El estudio se llevó a cabo en la empresa Reactivos Nacionales SA, con una larga trayectoria de 47 años en el mercado peruano de la fabricación de reactivos para la minería, dentro de los productos que se produce tenemos los ditiofosfatos, espumantes y como producto principal la producción de XANTATOS. la empresa tiene una oficina en Magdalena del mar y una planta de producción en el Callao. La experiencia profesional en reactivos nacionales S. A. inicia en junio del 2015 a partir de una convocatoria y luego una entrevista para ocupar el puesto de electricista industrial en el área de mantenimiento en la planta de producción ubicada en la av. Néstor gambeta 6448 provincia constitucional del callao. La selección de la vacante se enfocaba en los requisitos que menciono:

- Técnico electricista industrial
- Experiencia mínima de 3 años de experiencia
- Sólidos conocimientos de electricidad y mecánica
- Capacidad de responsabilidad, compromiso y trabajo en equipo

Después de culminar el proceso de selección y haber pasado con satisfacción mi periodo de pruebas, continuo en el puesto desempeñándome como electricista de mantenimiento hasta enero del 2020.

En el 2020 a raíz de la obtención de experiencia en la empresa y después de haber egresado la carrera de ingeniería industrial, fui promovido al cargo de asistente de jefatura de mantenimiento cuyas funciones se describen en:

- Realizar el inventario general de equipos de plantas de xantatos y multipropósito.
- Supervisar el cumplimiento de actividades de mantenimientos correctivos, preventivos, inspección y lubricación de equipos.

- Elaboración de informes ejecutivos de mantenimiento de forma semanal y mensual, presentados a jefes de mantenimientos y gerencia de operaciones.
- Realizar y llevar el control de requerimientos de repuestos y servicios.
- Programación de mantenimientos preventivos de acuerdo al plan de mantenimiento.
- Mantener el registro de actividades diarias, horas hombre y horas pargas de máquinas por mantenimientos.

Una vez ocupado el puesto de asistente de mantenimiento se abre las puertas a solucionar los desafíos relacionados con la disponibilidad de las máquinas en las plantas de producción de XANTATOS debido a la carencia de un plan de mantenimiento preventivo adecuado. Para lo cual se muestra las horas de trabajo programado, horas por paradas inesperadas y horas disponibles.

Tabla 1
Cuadro de horas disponibles de equipos

No.	Tipo de defecto	Horas de trabajo programado (Hrs)	Tiempo de paradas (Hrs)	Nº de fallas	Horas disponibles
1	REACTOR - XA98	2268	290.5	19	1977.5
2	ACONDICIONADOR - XB99	2268	283	22	1985
3	REACTOR - XC100	2268	274	25	1994
4	ACONDICIONADOR - XD101	2268	248	20	2020
5	REACTOR - AXD108	2268	215	19	2053
6	ACONDICIONADOR - AXC107	2268	210	20	2058
7	REACTOR - AXB106	2268	200	14	2068
8	ACONDICIONADOR - AXA105	2268	190	13	2078
TOTAL		18144	1910.5	152	16233.5

Nota. La Tabla 1 resume las horas programadas de trabajo, el tiempo de paradas, el número de fallas y las horas disponibles de los equipos tras las intervenciones de mantenimiento

Dentro de mi experiencia profesional me he enfocado en la creación de planes de mantenimientos preventivos para las máquinas en las plantas, incluyendo planes de inspección y de rutas de lubricación de equipos, todos los cuales han sido aprobados por el departamento

de gerencia de operaciones. Además de supervisar y hacer cumplir los mantenimientos preventivos y correctivos, dentro de mis actividades se realizan informes semanales y mensuales de mantenimientos que detallan el estado de los mantenimientos realizados y la disponibilidad de los equipos.

En consecuencia, me he centrado del estudio e identificación de deficiencias en el proceso de mantenimiento, la presentación de soluciones y la elaboración de un plan preventivo con el fin de incrementar la disponibilidad y la eficiencia de las máquinas utilizadas en la producción de XANTATOS.

Descripción de la empresa

En 1976, Reactivos Nacionales S.A., RENASA, inició en el Perú la fabricación de reactivos para la minería con la línea de XANTATOS, convirtiéndose en la primera planta de Sudamérica. Este proyecto fue concebido en 1961 por varias compañías mineras peruanas que, ante la total dependencia de productos importados, se buscaba contar con productos de similar calidad, a precios razonables y sobre todo en forma oportuna, disminuyendo de esta manera los costos de inventarios. Como consecuencia de la demanda creciente de la minería, de contar con otros reactivos complementarios, RENASA amplió su línea de producción con los DITIOFOSFATOS, esta planta inicio sus operaciones en 1981.

Desde el año 1995, RENASA, con el propósito de ampliar la cartera de productos, inicio la producción de ESPUMANTES, para satisfacer mejor los requerimientos del mercado. Para contribuir con nuestros clientes a ser más competitivos y elevar los niveles de calidad y productividad, RENASA cuenta con un adecuado y eficiente Servicio de Asesoramiento Técnico, que está en permanente contacto con nuestros usuarios, absolviendo consultas y/o sugiriendo soluciones a sus problemas metalúrgicos.

Esta actividad es complementada con el apoyo de un Laboratorio de Investigación Químico-Metalúrgico, el que también se encarga del diseño de reactivos específicos para las diferentes plantas concentradoras, además de realizar todo tipo de análisis y pruebas metalúrgicas, el mismo que se encuentra a disposición de todos sus clientes.

Se encuentra ubicada en la Av. Néstor Gambetta 6448, Callao, Lima Perú.

Figura 1.

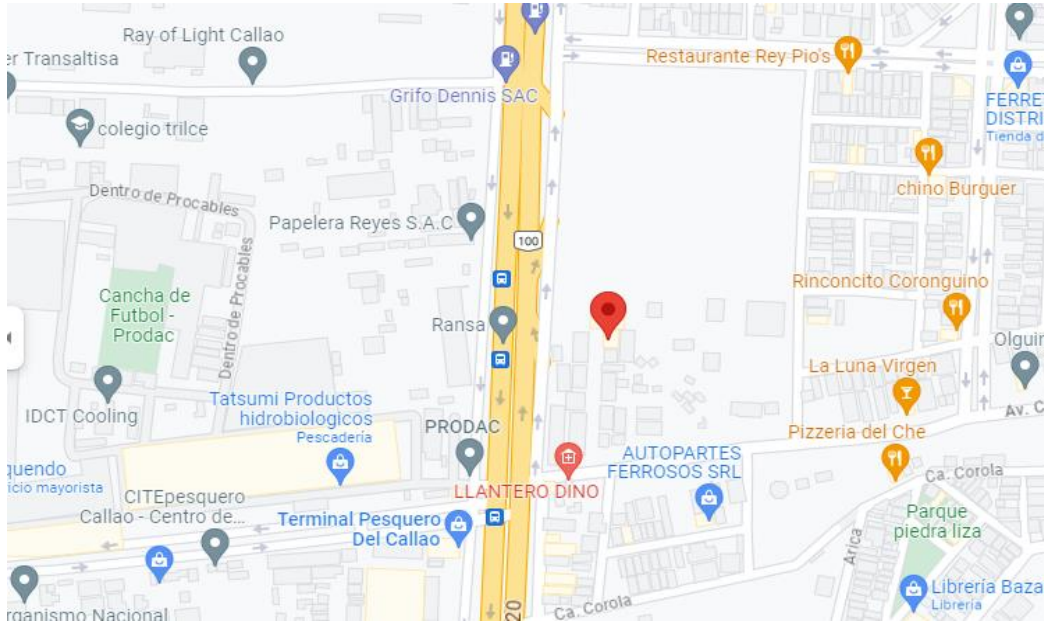
Planta de producción Reactivos nacionales



Nota. La imagen muestra las instalaciones de la planta de producción de Reactivos Nacionales S.A. RENASA

Figura 2.

Ubicación geográfica Reactivos nacionales



Nota: La figura muestra la ubicación geográfica de Reactivos Nacionales SA

Misión: Atender los requerimientos de nuestros clientes a través del abastecimiento de productos químicos de óptima calidad y de entrega oportuna; desarrollar nuevos reactivos innovadores complementados con un servicio de asesoría técnica integral. Nuestra gestión está orientada hacia la responsabilidad en calidad, Seguridad y protección del medio ambiente, el desarrollo profesional y personal de los trabajadores y la adecuada retribución a nuestros accionistas.

Visión: ser reconocidos como una organización líder, moderna con capacidad innovadora y cuya oferta de productos y servicios se encuentren orientados al mercado nacional e internacional, satisfaga las necesidades presentes y futuras de nuestros clientes.

Valores: responsabilidad, respeto, liderazgo, trabajo en equipo e integridad.

Política de calidad: Reactivos Nacionales S.A. asume el compromiso de desarrollar, implementar y mantener un Sistema de Gestión de Calidad, basado la Norma Internacional ISO 9001-2015, que se fundamenta en los siguientes principios:

- Nuestros productos y servicios deben satisfacer oportunamente las necesidades presentes y futuras de nuestros clientes.
- Ofrecer una sólida asistencia técnica y servicio personalizado de preventa y postventa.
- Mejorar continuamente nuestros productos, procesos y servicios, a través del desarrollo tecnológico e innovación.
- Promover el desarrollo continuo de nuestro personal, mediante programas de capacitación y charlas motivacionales.
- Cumplir con la normativa y legislación aplicable, así como compromisos voluntarios suscritos por la empresa.

Políticas de seguridad: Reactivos Nacionales S.A. empresa dedicada a la fabricación y comercialización de reactivos químicos para la industria minera, asume el compromiso de desarrollar, implementar y mantener un sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo, basado en la Ley 29783 y ISO 45001-2018. Para lo cual, asume los siguientes compromisos:

- Proveer condiciones de trabajo seguras y saludables a las personas. Para este fin se fomentará una cultura de prevención de riesgos locativos, mecánicos, físicos, químicos, biológicos, ergonómicos y psicosociales en concordancia con la normativa vigente.
- Considerar la Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo como una prioridad en la Empresa. Ninguna situación de emergencia, producción o resultados puede justificar la desatención de la seguridad o salud de las personas.
- Cumplir con la legislación aplicable y otros programas voluntarios a los cuales la empresa se adhiera.
- Tomar como base del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo la Mejora

Continua, participación activa, consulta, capacitación y motivación.

- El Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo es compatible con los otros sistemas de gestión de la empresa.
- Promover esta política a las partes interesadas de nuestra empresa.

Políticas de medio ambiente: asume el compromiso de desarrollar, implementar y mantener un Sistema de Gestión de Medio Ambiente, basado en la Norma Internacional ISO 14001-2015, que se fundamenta en los siguientes principios:

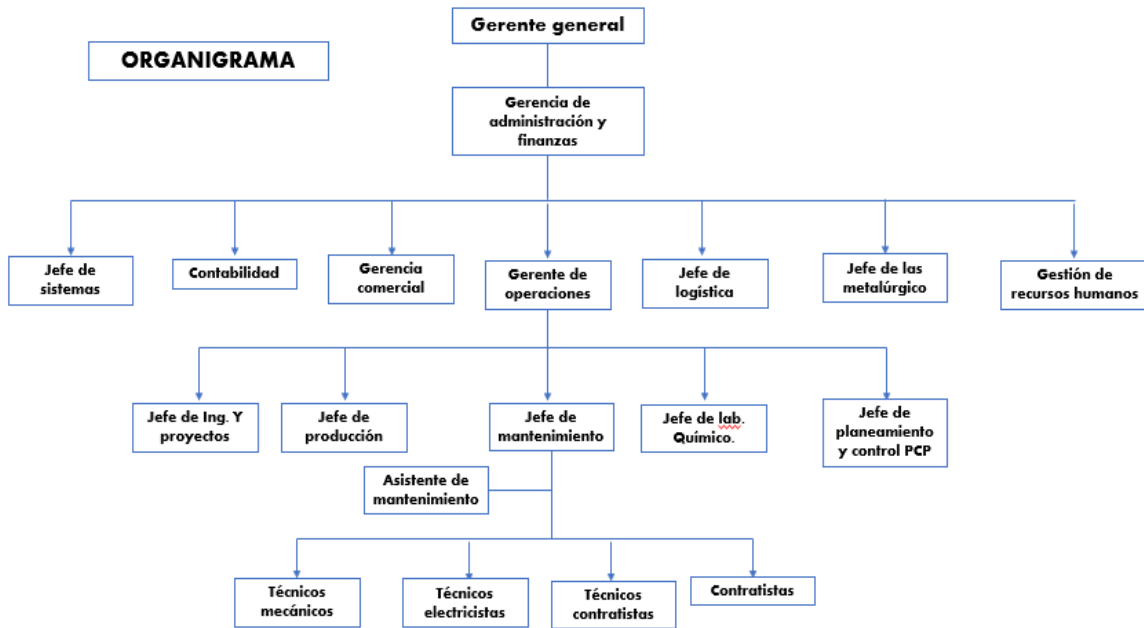
- Participar en el programa de responsable Care (Conducta Responsable) a través del Comité de Industrias químicas de la Sociedad Nacional de Industrias.
- Cumplir con las leyes y reglamentos aplicables relacionados con el medio ambiente.
- Conocer y mejorar continuamente la situación ambiental generada por nuestras actividades, productos o servicios.

Clientes: La empresa cuenta con una amplia cartera de clientes como son:

Antamina, Cerro verde, Antapaccay, Cerro lindo, Las bambas, Buena ventura, Volcan, Minsur, Raura, Operador de concentrados peruanos, Kolpa, Atacocha, Cajamarquilla, Shouxin Perú, Cerro de pasco, Horizonte, Tecnología del agua, San Valentín, San Antonio.

Figura 3.

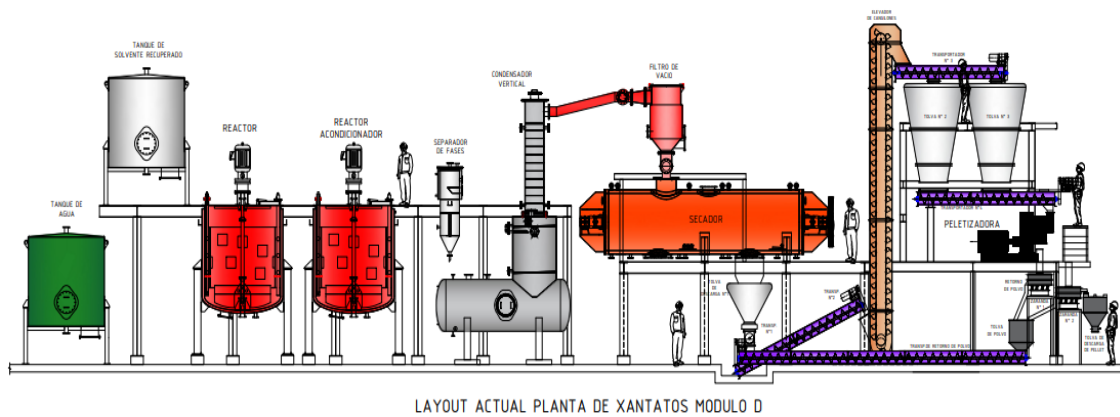
Organigrama Reactivos nacionales



Nota: El organigrama presenta la estructura organizativa de Reactivos Nacionales SA

Figura 4.

Diagrama de procesos de una línea de xantatos



Nota: Este diagrama de la planta de xantatos, módulo D, ilustra la configuración actual y el flujo de procesos en la línea de producción de xantatos.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

Antecedentes internacionales

Pillado et al. (2022) realizó una investigación con el objetivo de crear un enfoque metodológico para la gestión descentralizada del mantenimiento preventivo, enfocado en la identificación de fallas. El enfoque de la investigación se basa en métodos cuantitativos. Las herramientas utilizadas comprendieron la observación y el registro detallado de datos. La muestra incluyó un total de 343 máquinas pertenecientes al sector médico. Los resultados revelaron que, tras la aplicación de la metodología de mantenimiento preventivo, el promedio de tiempo de funcionamiento previo a la mejora era de 1.176 horas, mientras que después de la implementación aumentó a un promedio de 1.699 horas, lo que representa una mejora del 44.47%. Como conclusión, se establece que la gestión enfocada en el mantenimiento preventivo optimiza el funcionamiento de las máquinas, garantizando la puntualidad en cada etapa del proceso con un nivel de efectividad óptimo en la operatividad de la maquinaria.

Mago y Rocha (2021) realizó una investigación con el propósito de concebir y ejecutar un programa de mantenimiento preventivo en pequeñas industrias que inicialmente surgieron como proyectos familiares o de índole artesanal. El enfoque de estudio adoptado fue cualitativo. Las metodologías e instrumentos empleados abarcaron la observación y el registro meticuloso de datos. La muestra abordó los equipos en condición crítica. Los resultados evidenciaron que, a través del análisis financiero de indicadores como ROI, VPN y TIR, se sustentó la viabilidad de implantar el plan de mantenimiento, dado que estos indicadores arrojaron resultados altamente favorables. Como conclusión, se establece que la aplicación de procedimientos teóricos y analíticos permitió verificar la tendencia hacia una mayor eficiencia en los servicios proporcionados por la empresa, demostrando con datos numéricos la ganancia económica generada por un plan de mantenimiento en este específico sector.

Arroyo y Obando (2022), realizó un estudio con el objetivo de examinar la relevancia de introducir el mantenimiento preventivo en las instalaciones de producción para la optimización de los procesos. La investigación se llevó a cabo en un enfoque documental y de análisis descriptivo. Las metodologías y herramientas utilizadas comprendieron la observación y la recopilación sistemática de información. Los resultados evidenciaron que la aplicación del mantenimiento preventivo conlleva a una mejora en la productividad de hasta un 25%, una reducción del 30% en los gastos de mantenimiento y un aumento de hasta el 50% en la vida útil de la maquinaria y el equipo. Esto conduce a la conclusión de que la implementación del mantenimiento preventivo tiene el efecto de reducir los costos de mantenimiento, minimizar los retrabajos, la producción de productos defectuosos y las pérdidas económicas asociadas.

Antecedentes nacionales

Hernández y Serrano (2022) desarrolló una tesis con el propósito de mejorar la disponibilidad de la maquinaria en el Molino Galán E.I.R.L a través de la implementación de medidas de mantenimiento preventivo. El enfoque del estudio es cuantitativo, de naturaleza aplicada y con un diseño pre experimental. Las herramientas utilizadas comprendieron entrevistas, observaciones y fichas de registro. La población de estudio se compuso de los registros de disponibilidad de la maquinaria entre los meses de enero a abril. Los resultados revelaron que se logró un nivel de significancia de 0.009 y un valor de $p < 0.050$, lo cual se tradujo en un aumento del 10.1% en la disponibilidad de la maquinaria. En resumen, se concluye que la ejecución de un plan de mantenimiento preventivo conlleva a una mejora en la disponibilidad de la maquinaria.

Aliaga (2022) realizó una investigación con el propósito de incrementar la disponibilidad de la maquinaria en la empresa Molino Galan E.I.R.L a través de la aplicación de medidas de mantenimiento preventivo. El enfoque del estudio es de carácter cuantitativo, aplicado y con un diseño pre experimental. Las herramientas utilizadas incluyeron entrevistas,

observaciones y registros documentales. El grupo analizado consistió en los registros de disponibilidad de la maquinaria durante los meses de enero a abril. Los resultados indicaron que se alcanzó un nivel de significancia de 0.009 y un valor de $p < 0.050$, lo que resultó en un aumento del 10.1% en la disponibilidad de la maquinaria. En resumen, se puede concluir que la implementación de un plan de mantenimiento preventivo conlleva a una mejora en la disponibilidad de la maquinaria.

Roque (2020) desarrolló una investigación con el propósito de formular una propuesta para implementar un programa de mantenimiento preventivo en una compañía del sector metalmeccánico. El enfoque de la investigación es cuantitativo, de naturaleza aplicada y con un diseño no experimental. Las metodologías y herramientas empleadas consistieron en entrevistas, encuestas y registros documentales. La muestra analizada abarca seis máquinas pertenecientes a la empresa metalmeccánica. Los resultados evidenciaron que, mediante la ejecución de un programa de mantenimiento preventivo, se logró un aumento del 8% en la disponibilidad. Como conclusión, se establece que para mejorar la disponibilidad es esencial trabajar en la optimización del indicador conocido como tiempo medio entre fallas (TMEF).

Antecedentes locales

Chávez y Robles (2021) realizaron una investigación, que tuvo como propósito la implementación de un plan de mantenimiento preventivo con el fin de mejorar la disponibilidad de los equipos hidráulicos en la flota de una empresa pesquera. La metodología adoptada fue de enfoque inductivo, utilizando un diseño de investigación pre-experimental de corte transversal con un enfoque cuantitativo. La población y muestra consistieron en los 10 equipos hidráulicos de una embarcación pesquera. Los resultados obtenidos y verificados revelaron variaciones en la disponibilidad y confiabilidad de los equipos hidráulicos durante el periodo junio-agosto del 2021. En conclusión, se determinó que la implementación del mantenimiento

preventivo logró un incremento significativo en la disponibilidad de los equipos hidráulicos en la flota de la empresa pesquera.

Huillca & Jeri (2020) realizaron un estudio, que tuvo como fin la determinación del impacto del plan de mantenimiento preventivo en la disponibilidad de equipos de aire acondicionado en una empresa metalúrgica en Lima durante el año 2020. Se empleó un método deductivo, con un enfoque aplicado y diseño preexperimental, con un periodo de 12 semanas de pretest y post, con una muestra de 9 equipos críticos. Las técnicas utilizadas fueron la observación y el análisis documental, utilizando la ficha de recolección de datos como instrumento. Los resultados identificaron que la empresa carecía de un plan de mantenimiento, reflejando una disponibilidad inicial del 91.13%; después de implementar mejoras, la disponibilidad aumentó a 97.43%. La mejora fue estadísticamente significativa (p -valor < 0.05), según la prueba T de Student. La conclusión fue que el plan de mantenimiento preventivo contribuye significativamente a mejorar la disponibilidad de los equipos de aire acondicionado.

Quispe (2022) realizó un estudio, que tuvo como objetivo principal desarrollar un plan de mantenimiento preventivo para aumentar la disponibilidad de los equipos en dicho taller. Se trató de un estudio tecnológico o aplicado con enfoque cuantitativo y diseño experimental pre experimental. La población incluyó todos los equipos del taller, y al ser manejable, la muestra fue censal. El estudio abarcó dos periodos: pre aplicación del plan (agosto - diciembre 2021) y post aplicación (enero - mayo 2022). Las técnicas utilizadas fueron revisión de documentación, observación y encuestas, con instrumentos como fichas de recolección de datos y registros de fallas, así como encuestas al personal técnico. La validación se hizo mediante criterio de expertos. La conclusión fue que la disponibilidad de los equipos incrementó en un 11%, respaldando tanto la hipótesis general como las específicas.

Bases teóricas

Plan de mantenimiento

El plan de mantenimiento es el registro que proporciona un detalle exhaustivo de todas las actividades relacionadas con el mantenimiento preventivo de cada equipo o maquinaria en la planta. Este documento comprende las acciones a realizar, las frecuencias correspondientes y los repuestos que se deben emplear. En otras palabras, su función es definir con precisión las tareas de limpieza, verificación, ajuste, lubricación y sustitución de piezas, indicando la periodicidad con la que deben llevarse a cabo (Carrillo, 2018).

Etapas del plan de mantenimiento

De acuerdo a Carrillo (2018), para desarrollar un plan de mantenimiento, es necesario seguir las siguientes fases:

- Clasificar y reconocer cada uno de los equipos, lo que implica generar un registro detallado de la maquinaria de la planta.
- Recopilar información y elaborar un dossier o archivo específico para cada máquina, que contenga datos relevantes para su mantenimiento, como un historial de averías.
- Elaborar un programa de mantenimiento preventivo que organice las operaciones según familias, tipos de equipos y periodos similares, simplificando así las labores de los operarios de mantenimiento (tales como gamas y rutinas de mantenimiento).
- Establecer la estructura del personal de mantenimiento, tanto el propio como el externo, y determinar el nivel de mantenimiento que debe llevar a cabo cada uno de ellos.

Mantenimiento preventivo

A un nivel fundamental, la responsabilidad suele recaer en el operario encargado de manejar la máquina herramienta en cuestión. Este tipo de mantenimiento surge de la necesidad de disminuir las correcciones necesarias. Su finalidad es reducir las reparaciones a través de la realización de inspecciones periódicas y la renovación de los componentes afectados. Se ha

comprobado que la aplicación de un mantenimiento preventivo adecuado en máquinas herramienta conlleva una disminución en las horas de inactividad y en las horas de reparación no planificadas, un aumento en la calidad del producto, una reducción en el porcentaje de desperdicio y una disminución de los costos. El mantenimiento preventivo tiene diversas ventajas, entre las cuales se destaca su impacto en la calidad de los productos obtenidos: el cuidado regular de la máquina herramienta asegura un estado de conservación óptimo, siendo esencial para obtener piezas o productos de alta calidad (Luque, 2022).

Implementación del Plan de Mantenimiento Preventivo

Para implementar un Plan de Mantenimiento Preventivo (PMP) específico, es esencial comenzar con una inspección detallada de la instalación y revisar toda la documentación técnica disponible. Esto permite identificar áreas críticas y potenciales riesgos. La fase siguiente implica establecer rutinas de mantenimiento personalizadas, incluyendo inspecciones, limpieza y reemplazo de componentes según sea necesario. Un registro detallado de todas las actividades de mantenimiento se mantiene para un seguimiento efectivo. Es crucial que el personal de mantenimiento esté bien capacitado y actualizado en las mejores prácticas. Finalmente, el PMP debe ser revisado y ajustado regularmente para adaptarse a las nuevas condiciones y garantizar la eficiencia operativa y la seguridad a largo plazo (Ruiz, 2022).

Alta disponibilidad

La alta disponibilidad es una cualidad fundamental que se refiere a la capacidad de asegurar la disponibilidad ininterrumpida de los datos, incluso en circunstancias críticas como fallos de software o hardware, interrupciones en el suministro eléctrico u otras eventualidades adversas que puedan surgir. Esta característica se traduce en la capacidad de mantener el acceso y funcionamiento de los datos de manera constante y confiable, incluso frente a situaciones imprevistas o desafíos tecnológicos. En esencia, implica la garantía de continuidad y

accesibilidad en todo momento, independientemente de las dificultades que puedan surgir en el entorno operativo (Campos et al., 2022).

Limitaciones

- Para poder realizar este trabajo se ha tenido la autorización de uso de información sobre registros de paradas de horas de máquinas, pero no se tuvo información de costos por ser un tema confidencial, no ha sido brindada por decisiones de gerencias de la empresa.
- La limitación identificada en relación a la planificación en este estudio de investigación se centra en la dificultad de coordinar el calendario de mantenimiento con las operaciones regulares de la empresa debido a la falta de comunicación y la desorganización entre las diferentes áreas, esta limitación tiene un impacto significativo en la implementación efectiva del mantenimiento preventivo y puede dar lugar a malentendidos y problemas operativos.
- Otra limitación identificada en este estudio de investigación se refiere a la programación de tiempos de inactividad necesarios para llevar a cabo el mantenimiento preventivo. Esta programación de paradas planificadas puede resultar en la interrupción de la producción o las operaciones regulares de la empresa, lo que a su vez podría causar una disminución temporal en la productividad y los ingresos. Esta limitación es un desafío común en la implementación del mantenimiento preventivo y puede tener efectos significativos en la eficiencia operativa y financiera de la empresa.

Definición de términos

- **Agitador de reactor:** parte de reactor, eje con impulsor dentro de recipiente reactor, su función es mantener la agitación constante para lograr una reacción química.

- **Bomba de recirculación:** equipo que su función es tener el producto líquido en constante recirculación con la finalidad de no apelmazamiento.
- **Circuitos eléctricos:** Son rutas o caminos cerrados a través de los cuales fluye la corriente eléctrica. Los circuitos pueden ser simples, como una batería conectada a una bombilla, o complejos, como los que se encuentran en los ordenadores.
- **Control eléctrico:** Se refiere a los sistemas que utilizan señales eléctricas para controlar el funcionamiento de una máquina o sistema. Esto puede incluir interruptores, relés, controladores lógicos programables (PLC), etc.
- **Eje guía de bronce:** repuesto montado en el eje del impulsor de agitador que sirve para amortiguar, y evitar calentamientos por rozamientos continuos.
- **Empaquetaduras:** Son sellos o juntas que se utilizan para prevenir fugas de fluidos entre superficies de acoplamiento en maquinaria.
- **Líneas de enfriamiento:** redes de tuberías de agua que su función es disminuir las temperaturas altas a raíz de las reacciones químicas.
- **Mano de obra:** La mano de obra se refiere al trabajo físico o mental realizado por las personas en el proceso de producción de bienes o servicios. Es un recurso esencial en cualquier economía y puede incluir una amplia gama de habilidades y ocupaciones.
- **Materiales consumibles:** Son los materiales que se utilizan en el proceso de producción y que se consumen durante el mismo. Esto puede

incluir cosas como materias primas, suministros de oficina, herramientas desechables, etc.

- **Motor eléctrico:** Es una máquina que convierte la energía eléctrica en energía mecánica mediante el uso de campos magnéticos generados por bobinas.
- **Motorreductor mecánico:** Es un dispositivo que combina un motor eléctrico con un reductor de velocidad. Se utiliza para reducir la velocidad del motor a la velocidad requerida y para aumentar el par.
- **Pulpa de xantatos:** es el producto de una reacción química de soda caustica, alcohol, solvente y bisulfuro de carbono, Producto después de una reacción química.
- **Reacción de productos:** Este término se utiliza generalmente en química para describir el proceso en el que los reactivos se transforman en productos. En un contexto industrial, podría referirse a cómo los productos reaccionan o se comportan bajo ciertas condiciones o tratamientos.
- **Reactor acondicionador:** equipo recipiente diseñado para acondicionador, separar las sustancias densas de lo que no.
- **Reactor químico:** Unidad de proceso diseñada para llevar a cabo las reacciones químicas o procesos durante un determinado tiempo aquí los “reactivos” se convierten en productos.
- **Repuestos de equipos:** Son partes o componentes que se pueden reemplazar en una máquina o equipo. Estos se mantienen en stock para poder reparar el equipo si se rompe o falla.

- **Tableros eléctricos:** Son paneles que contienen interruptores, fusibles u otros dispositivos de control eléctrico. Se utilizan para distribuir la electricidad a diferentes partes de un edificio o sistema.

CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

Descripción de la problemática

En el ámbito industrial, particularmente en compañías especializadas en la fabricación de productos químicos y reactivos, como es el caso de Reactivos Nacionales S.A., es de vital importancia asegurar que los equipos y maquinaria estén disponibles y en funcionamiento de manera constante para mantener la competitividad y alcanzar el éxito. Específicamente, en las instalaciones dedicadas a la producción de xantatos, sustancias utilizadas en procesos de flotación en la minería y otros sectores industriales, se hace necesaria una gestión eficaz de los equipos con el fin de garantizar una producción sin interrupciones y de alta calidad.

En este contexto, surge la imperiosa necesidad de desarrollar e implementar un plan de mantenimiento preventivo focalizado en las plantas de producción de xantatos de Reactivos Nacionales S.A. El propósito principal de este plan es incrementar la disponibilidad de los equipos al mínimo nivel de tiempo de inactividad no programado, mientras se mejora la eficiencia de los procesos de producción. Adicionalmente, se busca extender la vida útil de los equipos y salvaguardar la seguridad de los trabajadores en el entorno industrial.

A lo largo de esta serie de artículos, profundizaremos en los aspectos clave relacionados con el desarrollo, implementación y administración de este plan de mantenimiento preventivo específico para las plantas de xantatos. Examinaremos con detalle las características particulares de los equipos utilizados en la producción de xantatos, los riesgos vinculados a su funcionamiento y las prácticas óptimas para mantener un rendimiento seguro y eficiente.

Formulación del problema

Problema general

¿De qué manera la aplicación de un plan de mantenimiento preventivo incrementa la disponibilidad de las máquinas en plantas de xantatos en la empresa Reactivos Nacionales SA?

Problemas específicos

¿Cuáles son las fallas y máquinas críticas que impactan la situación actual de la disponibilidad en las máquinas en plantas de xantatos en la empresa Reactivos Nacionales SA?

¿Cómo se elabora un plan de mantenimiento preventivo a fin de lograr el incremento de la disponibilidad en las máquinas en plantas de xantatos en la empresa Reactivos Nacionales SA?

Objetivos

Objetivo general

Determinar el impacto de la implementación del mantenimiento preventivo, para incrementar la disponibilidad de las máquinas en plantas de xantatos en la empresa Reactivos Nacionales SA

Objetivos específicos

Determinar las fallas y máquinas críticas que impactan la situación actual de la disponibilidad de las máquinas en plantas de xantatos en la empresa Reactivos Nacionales SA

Elaborar un plan de mantenimiento preventivo a fin de lograr el incremento de disponibilidad de las maquinas en plantas de xantatos en la empresa Reactivos Nacionales SA.

Una vez concluido el análisis de la empresa, el siguiente paso consistirá en elaborar un inventario de los equipos y llevar a cabo una inspección detallada de cada uno de ellos. Asimismo, se procederá a identificar aquellos equipos que sean de vital importancia para las operaciones.

Descripción de los equipos

Reactor: Es el equipo en cuyo interior ocurre la reacción de formación del Xantato, el equipo está provisto de una agitación suficiente para mantener en suspensión los sólidos de NaOH y KOH, promover el contacto entre los componentes de la mezcla reaccionante y facilitar la remoción de calor de la mezcla reaccionante. Una agitación energética se genera por

la acción de un impulsor interno que es transmitido por un motorreductor de 25 Hp de potencia a la pulpa y el patrón de flujo que se forma dentro del reactor es generado por ventanales y deflectores internos que rompen las corrientes uniformes que se forman por el movimiento del impulsor. El reactor está provisto de medios de enfriamiento llamados chaquetas de agua y piernas de enfriamiento que permiten retirar el calor generado por las reacciones exotérmicas que ocurren en el reactor y es enviada hacia las torres de enfriamiento. La bomba de recirculación tiene la finalidad de mantener el flujo de la pulpa por las líneas de transvase y permite recircular los sólidos fácilmente sedimentables (NaOH o KOH) desde el fondo del reactor hacia la parte más alta del reactor. Las fallas más recurrentes en el reactor son el desgaste prematuro de bronce de eje guía del agitador

Reactor acondicionador: Es el equipo cuya función es permitir que la pulpa de xantatos termine su ciclo de reacción, y después de unas horas de trabajo el producto se deja de manera inmóvil para separar la pulpa del solvente y luego ser recuperado. Para los siguientes procesos. Las fallas más recurrentes en el reactor son el desgaste prematuro de bronce de eje guía del agitador

El reactor como el acondicionador tienen las mismas medidas y los mismos componentes de funcionamiento y en ambos casos se cuenta con sub equipos para así poder realizar sus funciones, y son los siguientes:

Reductor de velocidad: es el sistema de transmisión caracterizado porque su velocidad de salida es de 40 rpm y su velocidad de entrada es de 900 rpm, velocidad que recibe del eje del motor eléctrico. Las fallas más comunes en este equipo son rotura de acoples y desgaste de chumaceras tipo pared.

Bomba de recirculación: la función de esta bomba es de recircular la pulpa de xantatos y no permitir la solidificación de los químicos dentro del recipiente esto mientras dure la

reacción. Las fallas más frecuentes en este equipo son los sellos mecánicos y deformación del impulsor por caídas de partes metálicas en el proceso.

Tablero eléctrico de control: Es la herramienta o gabinete donde se encuentra todos los componentes de control eléctrico y controla los sistemas de energía a través de dispositivos de conexión que tienen la función de maniobrar, medir y resguardar la seguridad en el funcionamiento del equipo. En este gabinete se encuentran los dispositivos como: contactores, relés térmicos, interruptores termomagnéticos, fusibles de protección, variadores de frecuencia y otros dispositivos de control y protección. En esta etapa de control las fallas recurrentes son paradas en el variador por temperatura, sobre corriente de motor eléctrico, sobrecargas en el reactor o acondicionador y disparo de alarma por mala operación del equipo.

Variador de frecuencia: es el dispositivo electrónico de precisión, específicamente para controlar la velocidad del motor de inducción trifásico de 25 HP de potencia, el variador cumple dos funciones de trabajo en 40 y 60 HZ dependiendo del producto u hora de reacción. En este equipo las fallas más recurrentes son los reset por alarma o fallos externos de sobre cargas o malas operaciones.

Chaquetas de enfriamiento: Por estos circuitos hace su recorrido el agua fría (entre la pared exterior del tanque y la pared interior de la camisa), cuya función es refrigerar absorber el calor y transmitir el frío y de esa manera mantener el producto en reacción a una temperatura deseada. Las fallas más frecuentes en esta parte del proceso es las picaduras por corrosión o mala calidad de agua de enfriamiento.

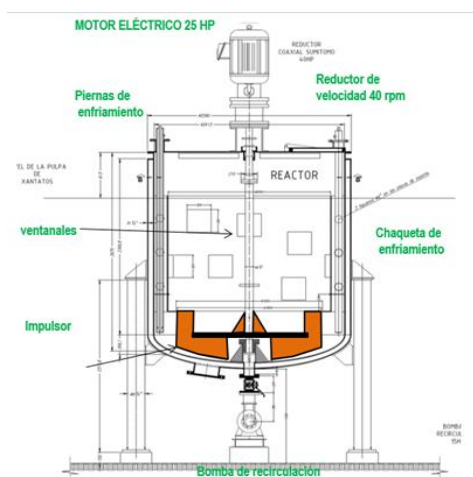
Controladores de temperatura: Es el equipo electrónico utilizado para poder regular el estado térmico del producto en el interior del reactor el controlador de temperatura nos facilita la tarea de mantener la temperatura a rangos establecidos en el proceso de reacción, para ello se cuenta con set point (valor de temperatura requerido) mediante el cual hace abrir y cerrar la válvula de ingreso de agua fría a las chaquetas de enfriamiento del reactor u

acondicionador. Las fallas más frecuentes en estos controladores son, fallo en tarjeta de control o relés internos de control del controlador de temperatura.

Sensor de temperatura pt100: es un termómetro de inmersión por resistencia del tipo RTD (Dispositivo Termo Resistivo). El Cual trabaja conjuntamente con el controlador de temperatura, y se encuentra fijado en la estructura del recipiente del reactor o acondicionador e inmerso en la pulpa. Las fallas más recurrentes en este dispositivo son rotura de termo pozos, rotura de bulbo de sensor de temperatura, y fallo de RTD

Figura 5.

Máquina Reactor



Nota: La figura representa un esquema detallado de un reactor utilizado en la producción de xantatos

Tabla 2

Inventario de equipos

EQUIPOS	CÓD.	PLANTA EQUIPO	MÓDULO
REACTOR QUÍMICO - XA	XA98	PLANTA XANTATOS	MÓDULO A
REACTOR QUÍMICO - XB	XB99	PLANTA XANTATOS	MODULO B
REACTOR QUÍMICO - XC	XC100	PLANTA XANTATOS	MODULO C
REACTOR QUÍMICO - XD	XD101	PLANTA XANTATOS	MODULO D
REACTOR QUÍMICO ACONDICIONADOR XA	AXA105	PLANTA XANTATOS	MÓDULO A
REACTOR QUÍMICO ACONDICIONADOR XB	AXB106	PLANTA XANTATOS	MODULO B
REACTOR QUÍMICO ACONDICIONADOR XC	AXC107	PLANTA XANTATOS	MODULO C
REACTOR QUÍMICO ACONDICIONADOR XD	AXD108	PLANTA XANTATOS	MODULO D

Nota: La tabla muestra un inventario detallado de los equipos utilizados en la producción de xantatos en Reactivos Nacionales SA

Análisis de criticidad de los equipos

En la presente de análisis de criticidad de equipos, se evalúan ocho equipos (XA98, XB99, XC100, XD101, AXD108, AXC107, AXB106 y AXA105) en función de su tiempo de paradas en horas, el porcentaje de tiempo de paradas en relación con el tiempo total de funcionamiento (% Parada), el porcentaje acumulado de tiempo de paradas hasta el momento (% Acumulado), y se establece un umbral de base del 75% para determinar la criticidad. En este análisis, los equipos se priorizan en función de su contribución al tiempo de paradas, lo que permite identificar los equipos más críticos.

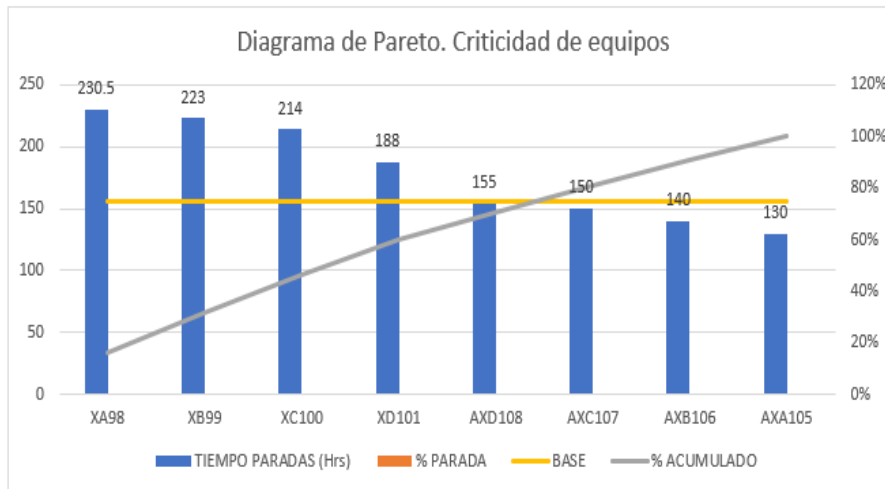
Tabla 3
Diagrama de Pareto de criticidad de los equipos

EQUIPO	TIEMPO PARADAS (Hrs)	% PARADA	% ACUMULADO	BASE
XA98	230.5	16%	16%	75%
XB99	223	16%	32%	75%
XC100	214	15%	47%	75%
XD101	188	13%	60%	75%
AXD108	155	11%	71%	75%
AXC107	150	10%	81%	75%
AXB106	140	10%	91%	75%
AXA105	130	9%	100%	75%

Nota: Esta tabla representa un Diagrama de Pareto que analiza la criticidad de los equipos en la planta de xantatos de Reactivos Nacionales SA, basándose en el tiempo de paradas.

Figura 6.

Diagrama de Pareto de criticidad de los equipos



Nota: El gráfico representa el Diagrama de Pareto de la criticidad de los equipos de Reactivos Nacionales SA

Los equipos XA98, XB99, XC100 y XD101 son los más críticos en función de su contribución al tiempo de paradas acumulado y representan el 20% de los equipos que causan el 80% de los problemas en términos de tiempo de paradas. Estos equipos deben recibir una atención especial y ser prioritarios en términos de mantenimiento y gestión para mejorar la eficiencia operativa y minimizar las interrupciones en la producción.

Tabla 4.

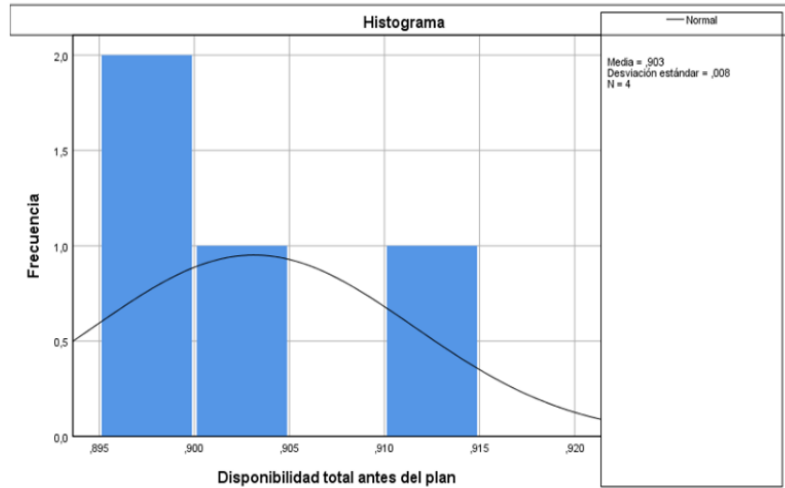
Análisis descriptivo de disponibilidad 4 reactores químicos

		Estadístico	Desv. Error
Disponibilidad total antes del plan	Media	0.90314	0.004194
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	0.88979 0.91648
	Media recortada al 5%	0.90290	
	Mediana	0.90104	
	Varianza	0.000	
	Desv. Desviación	0.008389	
	Mínimo	0.896	
	Máximo	0.915	
	Rango	0.019	
	Rango intercuartil	0.015	
	Asimetría	1.256	1.014
	Curtosis	1.556	2.619

Nota: La Tabla 4 presenta un análisis descriptivo de la disponibilidad total de los cuatro reactores químicos antes de la implementación del plan de mantenimiento.

Figura 7.

Análisis descriptivo de disponibilidad 4 reactores químicos



Nota: Este histograma muestra la distribución de la disponibilidad total de los cuatro reactores químicos antes de implementar el plan de mantenimiento.

Se observa que la disponibilidad media fue de 0.90314 con un intervalo de confianza del 95% entre 0.88979 y 0.91648. El análisis incluye medidas como la media recortada al 5% (0.90290), la mediana (0.90104), y estadísticas de dispersión como la varianza (0.000) y la desviación estándar (0.008389). El rango total fue de 0.019, con un rango intercuartil de 0.015. Además, se evidencia cierta asimetría positiva (1.256) y curtosis (1.556), indicando que la distribución de la disponibilidad presenta cierta inclinación hacia valores superiores y cierta concentración en torno a la media. Estos resultados proporcionan una base sólida para evaluar la eficacia del plan de mantenimiento preventivo propuesto y su impacto en la mejora de la disponibilidad de los reactores químicos en la empresa durante el año 2023.

Tabla 5.

Análisis descriptivo de Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) 4 reactores químicos

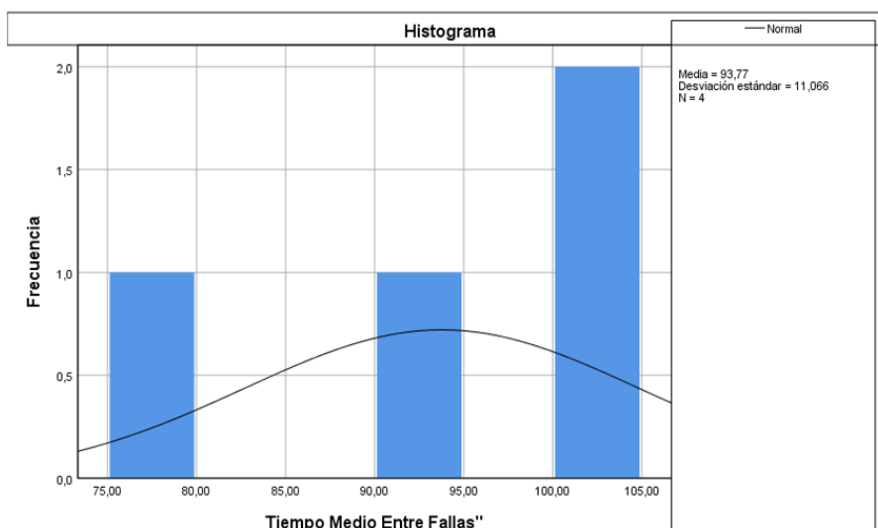
	Estadístico	Desv. Error
--	-------------	-------------

Tiempo Medio Entre Fallas	Media		93.7666	5.53307
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	76.1579	
		Límite superior	111.3753	
	Media recortada al 5%		93.9718	
	Mediana		95.6136	
	Varianza		122.459	
	Desv. Desviación		11.06614	
	Mínimo		79.76	
	Máximo		104.08	
	Rango		24.32	
	Rango intercuartil		20.93	
	Asimetría		-0.648	1.014
	Curtosis		-1.788	2.619

Nota: La Tabla 5 detalla el análisis descriptivo del Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) para cuatro reactores químicos

Figura 8.

Análisis descriptivo de Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) 4 reactores químicos



Nota: La figura muestra un histograma del Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) de cuatro reactores químicos

En el análisis descriptivo del Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) de los cuatro reactores químicos, se observa que la media del MTBF es de 93.7666 con un intervalo de confianza del 95% entre 76.1579 y 111.3753. La media recortada al 5% es de 93.9718, y la mediana es de 95.6136, indicando una distribución de los datos. La varianza es considerable, alcanzando 122.459, lo que sugiere cierta variabilidad en los tiempos entre fallas. El rango total es de 24.32, con un rango intercuartil de 20.93.

Además, se observa una ligera asimetría negativa (-0.648) y una curtosis negativa (-1.788), señalando una distribución menos apuntada y más dispersa en comparación con una distribución normal.

Estos resultados proporcionan una visión detallada del rendimiento del MTBF en los reactores químicos, lo que puede ser crucial para la planificación y mejora de estrategias de mantenimiento preventivo en la empresa durante el año 2023.

Tabla 6.

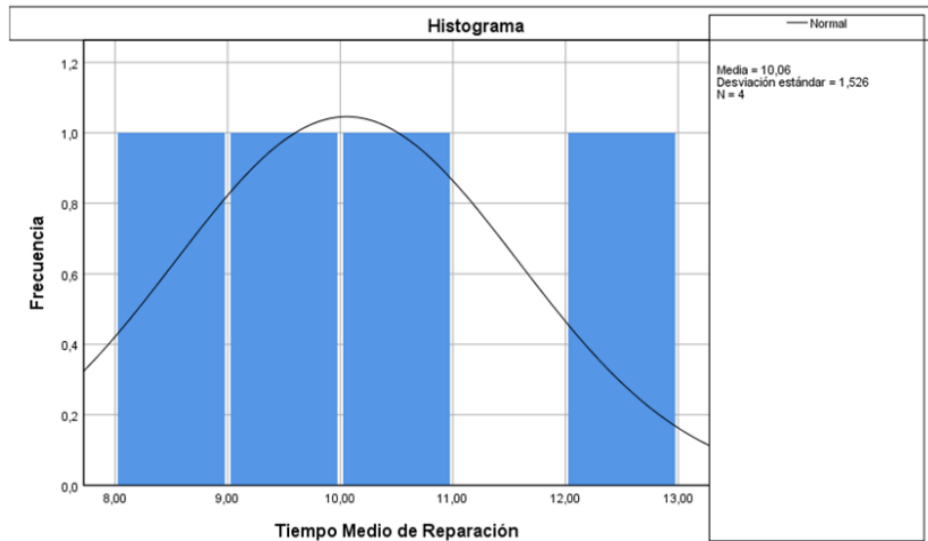
Análisis descriptivo de Tiempo Medio de Reparación 4 reactores químicos

		Estadístico	Desv. Error	
Tiempo Medio de Reparación	Media	10.0570	0.76283	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	7.6293	
		Límite superior	12.4846	
	Media recortada al 5%	10.0249		
	Mediana	9.7682		
	Varianza	2.328		
	Desv. Desviación	1.52565		
	Mínimo	8.56		
	Máximo	12.13		
	Rango	3.57		
	Rango intercuartil	2.86		
	Asimetría	0.993	1.014	
	Curtosis	1.101	2.619	

Nota: La Tabla 6 proporciona un análisis descriptivo del Tiempo Medio de Reparación (MTTR) para cuatro reactores químicos.

Figura 9.

Análisis descriptivo de Tiempo Medio de Reparación 4 reactores químicos



Nota: El histograma ilustra la distribución del Tiempo Medio de Reparación (MTTR) para cuatro reactores químicos

En el análisis descriptivo del Tiempo Medio de Reparación (MTTR) de los cuatro reactores químicos, se observa que la media del MTTR es de 10.0570, con un intervalo de confianza del 95% entre 7.6293 y 12.4846. La media recortada al 5% es de 10.0249, y la mediana es de 9.7682, indicando una distribución de los datos. La varianza es de 2.328, lo que sugiere cierta variabilidad en los tiempos de reparación. El rango total es de 3.57, con un rango intercuartil de 2.86. Además, se observa una asimetría positiva (0.993) y una curtosis positiva (1.101), indicando que la distribución de los tiempos de reparación tiende a tener colas más pesadas y es más puntiaguda en comparación con una distribución normal. Estos resultados proporcionan información valiosa sobre la eficiencia de los procesos de reparación de los reactores químicos, lo que puede ser fundamental para la planificación y optimización de estrategias de mantenimiento en la empresa durante el año 2023.

Tabla 7.

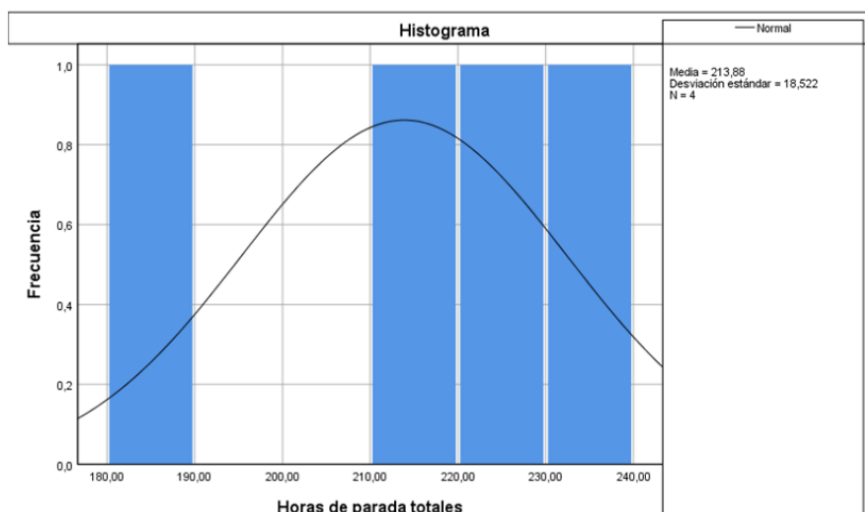
Análisis descriptivo de Horas de parada totales 4 reactores químicos

		Estadístico	Desv. Error	
Horas de parada totales	Media	213.8750	9.26097	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	184.4024	
		Límite superior	243.3476	
	Media recortada al 5%	214.3889		
	Mediana	218.5000		
	Varianza	343.063		
	Desv. Desviación	18.52195		
	Mínimo	188.00		
	Máximo	230.50		
	Rango	42.50		
	Rango intercuartil	34.13		
	Asimetría	-1.256	1.014	
	Curtosis	1.556	2.619	

Nota: La Tabla 7 ofrece un análisis descriptivo de las horas de parada totales de cuatro reactores químicos

Figura 10.

Análisis descriptivo de Horas de parada totales 4 reactores químicos



Nota: El histograma muestra la distribución de las horas de parada totales para los cuatro reactores químicos.

En el análisis descriptivo de las Horas de Parada Totales de los cuatro reactores químicos, se observa que la media es de 213.8750 horas, con un intervalo de confianza del 95% entre 184.4024 y 243.3476. La media recortada al 5% es de 214.3889, y la mediana es de 218.5000, lo que indica cierta dispersión en los datos. La varianza es de 343.063, reflejando una considerable variabilidad en las horas de parada. El rango total es de 42.50, con un rango

intercuartil de 34.13. Además, se observa una asimetría negativa (-1.256) y una curtosis positiva (1.556), sugiriendo una distribución sesgada hacia valores más bajos y colas más pesadas en comparación con una distribución normal. Estos resultados ofrecen una visión detallada de la variabilidad en las horas de parada de los reactores químicos, lo cual es crucial para evaluar la eficacia de las estrategias de mantenimiento y la disponibilidad de los equipos en la planta durante el año 2023.

Tabla 8.

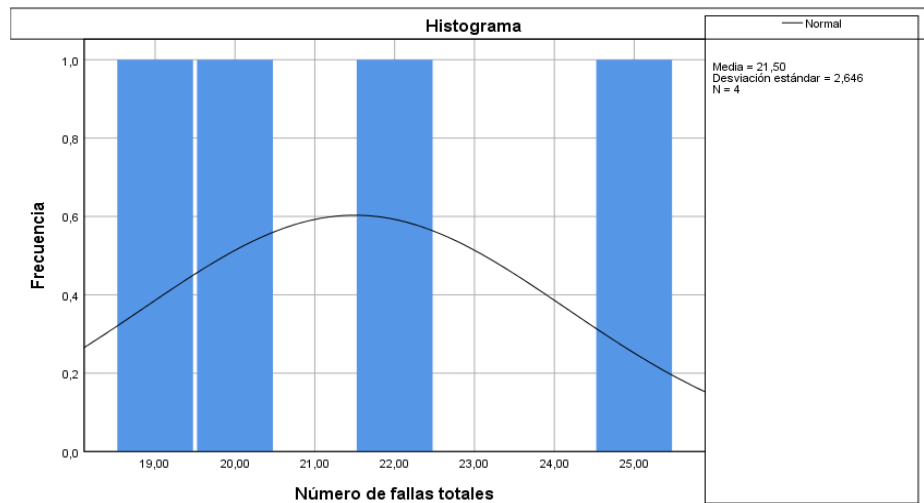
Análisis descriptivo de Número de fallas totales 4 reactores químicos

		Estadístico	Desv. Error	
Número de fallas totales	Media	21.5000	1.32288	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	17.2900	
		Límite superior	25.7100	
	Media recortada al 5%	21.4444		
	Mediana	21.0000		
	Varianza	7.000		
	Desv. Desviación	2.64575		
	Mínimo	19.00		
	Máximo	25.00		
	Rango	6.00		
	Rango intercuartil	5.00		
	Asimetría	0.864	1.014	
	Curtosis	-0.286	2.619	

Nota: La Tabla 8 expone un análisis descriptivo del número total de fallas en cuatro reactores químicos.

Figura 11.

Análisis descriptivo de Número de fallas totales 4 reactores químicos



Nota: Este histograma ilustra la distribución del número total de fallas en cuatro reactores químicos

En el análisis descriptivo del Número de Fallas Totales de los cuatro reactores químicos, se observa que la media es de 21.5000 fallas, con un intervalo de confianza del 95% entre 17.2900 y 25.7100. La media recortada al 5% es de 21.4444, y la mediana es de 21.0000, sugiriendo una distribución relativamente simétrica de los datos. La varianza es de 7.000, indicando cierta variabilidad en el número de fallas. El rango total es de 6.00, con un rango intercuartil de 5.00. Además, se observa una asimetría positiva (0.864) y una curtosis negativa (-0.286), indicando que la distribución de fallas tiene una ligera cola hacia valores superiores y es menos puntiaguda en comparación con una distribución normal. Estos resultados brindan información sobre la frecuencia y variabilidad de las fallas en los reactores químicos, lo cual es esencial para evaluar la eficiencia de las estrategias de mantenimiento preventivo y la confiabilidad de los equipos en la planta durante el año 2023.

Tabla 9.
Costos horas-hombre asociados a reactores con paradas

Nº de operadores	Sueldo mensual (soles)	CTS (soles)	Costo H.H. (soles)	Máquina	Tipo	Horas operación (6 meses)	Horas paradas	COSTO H.H. PARADAS (soles)
Operador - supervisor 2	3,200.00	1,866.67	14.63	ACONDICIONADOR A	AXA105	2268.00	130	1,901.85
Operador -base 1	2,700.00	1,575.00	12.34	ACONDICIONADOR C	AXC107	2268.00	150	1,851.56
Operador -base 2	2,700.00	1,575.00	12.34	ACONDICIONADOR B	AXB106	2268.00	140	1,728.13
Operador -base 3	2,700.00	1,575.00	12.34	ACONDICIONADOR D	AXD108	2268.00	155	1,913.28
Total, reactores acondicionadores							575	7,394.82
Operador - supervisor 1	4,200.00	2,450.00	19.20	REACTOR A	XA98	2268.00	230.5	4,425.92
Operador -base 1	2,700.00	1,575.00	12.34	REACTOR C	XC100	2268.00	214	2,641.82
Operador -base 2	2,700.00	1,575.00	12.34	REACTOR B	XB99	2268.00	223	2,752.66
Operador -base 3	2,700.00	1,575.00	12.34	REACTOR D	XD101	2268.00	188	2,320.63
Total, reactores químicos							855.5	12,140.76
Total, general costos H.H. por parada en 6 meses								19,535.58

Nota: La Tabla 9 ofrece un desglose detallado de los costos asociados a las horas-hombre resultantes de las paradas en los reactores y acondicionadores de la planta.

En el análisis de los costos asociados a las paradas de los reactores, se observa que los costos de horas-hombre (H.H.) se calculan considerando el sueldo mensual, la compensación por tiempo de servicio (CTS) y el costo por hora de cada operador. Para los reactores acondicionadores, el costo total de horas-hombre por paradas en 6 meses asciende a 7,394.82 soles. Este cálculo se realiza sumando los costos de cada operador y máquina. Por otro lado, para los reactores químicos, el costo total de horas-hombre por paradas en 6 meses es de 12,140.76 soles. Nuevamente, este resultado se obtiene al sumar los costos de cada operador y máquina.

En términos generales, el costo total de horas-hombre por paradas en 6 meses para todos los reactores es de 19,535.58 soles. Estos resultados proporcionan una visión detallada de los costos asociados a las paradas de los reactores, lo cual es esencial para la gestión financiera y la toma de decisiones estratégicas en la empresa.

Tabla 10.

Costos asociados a la depreciación de reactores por hora parada en relación con su depreciación

Equipo	Depreciación	Costo Equipo USD	10% anual USD	Diario USD	Costo USD/hora	Soles/hora	Horas paradas	Costo(soles)/equipo/hora parada	Mensual	Anual
REACTOR QUÍMICO - XA	10% anual	40,000.00	4,000.00	11.11	1.39	5.38	230.50	1,238.94	206.49	2,477.88
REACTOR QUÍMICO - XC	10% anual	45,000.00	4,500.00	12.50	1.56	6.05	214.00	1,294.03	215.67	2,588.06
REACTOR QUÍMICO - XB	10% anual	40,000.00	4,000.00	11.11	1.39	5.38	223.00	1,198.63	199.77	2,397.25
REACTOR QUÍMICO - XD	10% anual	45,000.00	4,500.00	12.50	1.56	6.05	188.00	1,136.81	189.47	2,273.63
Sub-total reactores químicos acondicionador		170,000.00	17,000.00	47.22	5.90	22.84	855.50	4,868.41	811.40	9,736.81
REACTOR QUÍMICO ACONDICIONADOR XA	10% anual	40,000.00	4,000.00	11.11	1.39	5.38	130.00	698.75	116.46	1,397.50
REACTOR QUÍMICO ACONDICIONADOR XC	10% anual	45,000.00	4,500.00	12.50	1.56	6.05	150.00	907.03	151.17	1,814.06
REACTOR QUÍMICO ACONDICIONADOR XB	10% anual	40,000.00	4,000.00	11.11	1.39	5.38	140.00	752.50	125.42	1,505.00
REACTOR QUÍMICO ACONDICIONADOR XD	10% anual	45,000.00	4,500.00	12.50	1.56	6.05	155.00	937.27	156.21	1,874.53
Sub-total reactores químicos		170,000.00	17,000.00	47.22	5.90	22.84	575.00	3,295.55	549.26	6,591.09
Total gasto por depreciación horas paradas								8,163.95	1,360.66	16,327.91

Nota: La Tabla 10 cuantifica el costo por hora de parada de los reactores en función de su depreciación anual del 10%.

El análisis de los costos asociados a la depreciación de los reactores por hora parada proporciona una evaluación detallada del impacto económico de las interrupciones en la operación de los equipos. Se observa que los reactores químicos acondicionadores (XA, XC, XB, XD) presentan una depreciación anual del 10%, con un costo total de equipo de 170,000.00 USD y una depreciación diaria de 47.22 USD. El costo asociado por hora parada oscila entre 5.38 y 6.05 soles para un 22.84 soles para estos reactores, totalizando 4,868.41 soles en 855.5 horas de parada en 6 meses, y 9,765.81 soles en un año.

En el caso de los reactores químicos acondicionadores (XA, XC, XB, XD), con un costo total de equipo de 170,000.00 USD y una depreciación diaria de 47.22 USD, el costo por hora parada varía entre 5.38 y 6.05 soles para un 22.84 soles, sumando 3,295.55 soles en 575 horas de paradas en 6 meses y en un año totalizarían 6,591.09. El costo total por depreciación desaprovechada por horas paradas asciende a 8,163.68 soles en 6 meses y a 16,327.91 soles en un año. Este análisis contribuye a la identificación precisa de los costos de depreciación incurridos durante las paradas de los reactores, facilitando la toma de decisiones para mejorar la eficiencia y reducir pérdidas económicas.

Tabla 11.

Costos horas hombre antes de la implementación

Nº de operadores	Sueldo mensual (soles)	CTS (soles)	DIARIO	Costo H.H. (soles)	Máquina	Tipo	Horas operación (6 meses)	Horas paradas	COSTO H.H. PARADA (soles)
Operador -supervisor 2	3,200.00	1,866.67	1.30	14.63	ACONDICIONADOR	AXA105	2,268.00	130	1,901.85
Operador -base 1	2,700.00	1,575.00	1.09	12.34	ACONDICIONADOR	AXC107	2,268.00	150	1,851.56
Operador -base 2	2,700.00	1,575.00	1.09	12.34	ACONDICIONADOR	AXB106	2,268.00	140	1,728.13
Operador -base 3	2,700.00	1,575.00	1.09	12.34	ACONDICIONADOR	AXD108	2,268.00	155	1,913.28
Total reactores acondicionadores								575	7,394.82
Operador -supervisor 1	4,200.00	2,450.00	1.70	19.20	REACTOR	XA98	2,268.00	230.50	4,425.92
Operador -base 1	2,700.00	1,575.00	1.09	12.34	REACTOR	XC100	2,268.00	214	2,641.56
Operador -base 2	2,700.00	1,575.00	1.09	12.34	REACTOR	XB99	2,268.00	223	2,752.66
Operador -base 3	2,700.00	1,575.00	1.09	12.34	REACTOR	XD101	2,268.00	188	2,320.63
Total reactores quimicos								855.50	12,140.76
Total general costos H.H. por parada en 6 meses								1430.50	19,535.58

Nota: La Tabla 11 desglosa los costos de horas hombre (H.H.) asociados a las paradas de máquinas específicas antes de la implementación del plan de mantenimiento.

Tabla 12.

Costos horas hombre luego de la implementación

Nº de operadores	Sueldo mensual (soles)	CTS (soles)	DIARIO	Costo H.H. (soles)	Máquina	Tipo	Horas operación (6 meses)	Horas paradas	COSTO H.H. PARADA (soles)
Operador -supervisor 2	3,200.00	1,866.67	1.30	14.63	ACONDICIONADOR	AXA105	2,268.00	38.5	563.24
Operador -base 1	2,700.00	1,575.00	1.09	12.34	ACONDICIONADOR	AXC107	2,268.00	33.5	413.52
Operador -base 2	2,700.00	1,575.00	1.09	12.34	ACONDICIONADOR	AXB106	2,268.00	36.5	450.55
Operador -base 3	2,700.00	1,575.00	1.09	12.34	ACONDICIONADOR	AXD108	2,268.00	37.5	462.89
Total reactores acondicionadores								146	1,890.19
Operador -supervisor 1	4,200.00	2,450.00	1.70	19.20	REACTOR	XA98	2,268.00	44	844.86
Operador -base 1	2,700.00	1,575.00	1.09	12.34	REACTOR	XC100	2,268.00	40	493.75
Operador -base 2	2,700.00	1,575.00	1.09	12.34	REACTOR	XB99	2,268.00	47	580.16
Operador -base 3	2,700.00	1,575.00	1.09	12.34	REACTOR	XD101	2,268.00	42	518.44
Total reactores quimicos								173	2,437.20
Total general costos H.H. por parada en 6 meses								319	S/ 4,327.40

Nota: La Tabla 12 presenta una visión detallada de los costos de horas hombre (H.H.) asociados con las paradas de reactores y acondicionadores después de la implementación del plan de mantenimiento

En el análisis de los costos de horas-hombre (H.H.) asociados a las paradas antes y después de la implementación de mejoras, se observa que los costos varían significativamente. Antes de las mejoras, el costo total de horas-hombre por parada en 6 meses para todos los reactores es de 19,535.58 soles.

Después de la implementación de mejoras, el costo total de horas-hombre por parada en 6 meses disminuye a 4,327.40 soles. Esto representa una reducción significativa del 77.9% en los costos asociados a las paradas de los reactores. Estos resultados indican el impacto

positivo de las mejoras implementadas en la eficiencia y productividad, lo que se traduce en ahorros sustanciales en términos de costos laborales. Esta información es esencial para evaluar la efectividad de las medidas tomadas y respalda la toma de decisiones para futuras estrategias de mantenimiento y operación.

Tabla 13.

Resumen de ahorro en mano de obra con el plan

REACTOR	Ahorro semestral	Ahorro mensual	Ahorro por hora
ACONDICION AXA105	S/ 1,338.61	S/ 223.10	0.59
ACONDICION AXC107	S/ 1,438.05	S/ 239.67	0.63
ACONDICION AXB106	S/ 1,277.58	S/ 212.93	0.56
ACONDICION AXD108	S/ 1,450.39	S/ 241.73	0.64
REACTOR XA98	S/ 3,581.06	S/ 596.84	1.58
REACTOR XC100	S/ 2,147.81	S/ 357.97	0.95
REACTOR XB99	S/ 2,172.50	S/ 362.08	0.96
REACTOR XD101	S/ 1,802.19	S/ 300.36	0.79
Totales	S/ 15,208.19	S/ 2,534.70	S/ 6.71

Nota: La Tabla 13 presenta una visión detallada del resumen de ahorro en mano de obra con el plan.

La implementación de mejoras en los reactores ha generado notables ahorros financieros para la empresa, demostrados por un total de S/ 15,208.19 en ahorros semestrales. Cada reactor, tanto los acondicionadores como los químicos, ha contribuido significativamente a estos ahorros mensuales. Estos resultados reflejan no solo una eficiencia operativa mejorada, sino también un impacto positivo en la rentabilidad de la empresa, respaldando la efectividad de las medidas implementadas y proporcionando una sólida base para futuras estrategias de mantenimiento y operación.

Tabla 14.
Referencia costos y ahorro diario post implementación de plan

Detalle	H.H	Costos post implementación	
Ahorro diario H.H.	6.71	Costo diario	0.32
Ahorro mensual	2,534.70	Costo mensual	721.23
Ahorro 6 meses	15,208.19	Costo 6 meses	4,327.40
Anual (12 meses)	S/ 30,416.37	Anual	S/ 8,654.80

Nota: La Tabla 14 presenta la referencia costos y ahorro diario post implementación del plan.

En el detalle de horas-hombre (H.H.) y costos posteriores a la implementación, se destaca un ahorro diario de H.H. de 6.71 y un costo diario de 0.32 soles. A nivel mensual, el ahorro asciende a 2,534.70 soles, mientras que el costo mensual es de 721.23 soles. En un periodo de 6 meses, se registra un ahorro de 15,208.19 soles frente a un costo de 4,327.40 soles. Extrapolando estos resultados a un año (12 meses), el ahorro anual alcanza S/30,416.37, en contraste con un costo anual de S/8,654.80. Estos datos detallados proporcionan una visión integral de los beneficios financieros sostenidos tras la implementación de mejoras, destacando un ahorro significativo en términos de horas-hombre y costos operativos.

Tabla 15.
Gastos por mantenimientos preventivos y correctivos

Año 2023		
Gastos Mantenimientos Correctivos	Gastos Mantenimientos Preventivos	Total Gastos
S/ 463.33	S/ 1,413.57	S/ 1,876.90
S/ 405.75	S/ 1,207.00	S/ 1,612.75
S/ 422.33	S/ 2,465.83	S/ 2,888.17
S/ 298.33	S/ 969.50	S/ 1,267.83
S/ 2,079.67	S/ 4,720.63	S/ 6,800.29
S/ 293.17	S/ 36.33	S/ 329.50
S/ 158.17	S/ 119.00	S/ 277.17
S/ 107.50	S/ 1,046.30	S/ 1,153.80
S/ 485.17	S/ 876.00	S/ 1,361.17
S/ 359.50	S/ 626.83	S/ 986.33
S/ 23.17	S/ 285.67	S/ 308.83
S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 0.00
S/ 5,096.08	S/ 13,766.66	S/ 18,862.74

Nota: La tabla 15 presenta un desglose de los gastos incurridos en mantenimientos preventivos y correctivos durante el año 2023.

En el año 2023, los gastos asociados a mantenimientos correctivos y preventivos muestran una distribución detallada. Los gastos totales se dividen en mantenimientos correctivos (S/ 13,766.66) y mantenimientos preventivos (S/ 5,096.08), sumando un total general de S/ 18,862.74. Los gastos mensuales fluctúan a lo largo del año, siendo abril el mes con el mayor gasto acumulado (S/ 2,888.17), seguido de marzo (S/ 2,465.83) y enero (S/ 2,079.67). Estos datos detallados permiten un análisis exhaustivo de los costos de mantenimiento a lo largo del año, proporcionando una base para la planificación estratégica y la optimización de recursos.

Tabla 16.

Inversión inicial plan de mantenimiento

Descripción	Monto en soles
Capacitación al personal	
Horas de elaboración del plan de mantenimiento, procedimientos	S/ 1,250.00
Horas de revisión y aprobación del plan de mantenimiento	S/ 300.00
Horas hombre del capacitador	S/ 150.00
Horas hombre de trabajadores	S/ 880.00
Equipos electrónicos (proyector laptop)	S/ 380.00
Útiles de oficina	S/ 290.00
Papelería y otros	S/ 350.00
Impresiones	S/ 320.00
Total	S/ 3,920.00
Costo de mano de obra técnica (personal de mantenimiento)	
Mano de obra técnica mecánica y eléctrica	S/ 1,800.00
Total	S/ 1,800.00
Costos por repuestos y materiales	
Costos repuestos y materiales	S/ 15,599.95
Costos por ordenes de servicios	S/ 3,576.49
Total	S/ 19,176.44
Costos por herramientas	
Costos por herramientas	S/ 1,400.00
Total	S/ 1,400.00
Total gastos por implementación	S/ 26,296.44

Nota: La Tabla 16 detalla los costos asociados con la implementación inicial del plan de mantenimiento

La inversión inicial para la implementación del Plan de Mantenimiento asciende a S/ 26,296.44 y se distribuye en varias categorías. La capacitación del personal incluye horas de elaboración del plan (S/ 1,250.00), revisión y aprobación del plan (S/ 300.00), horas hombre

del capacitador (S/ 150.00), y horas hombre de los trabajadores (S/ 880.00). Además, se consideran gastos en equipos electrónicos (S/ 380.00), útiles de oficina (S/ 290.00), papelería y otros (S/ 350.00), e impresiones (S/ 320.00), sumando un total de S/ 3,920.00 en capacitación.

Los costos de mano de obra técnica, específicamente en el área mecánica y eléctrica, ascienden a S/ 1,800.00. En cuanto a repuestos y materiales, se destinan S/ 15,599.95 para cubrir los costos de repuestos y S/ 3,576.49 para órdenes de servicios, totalizando S/ 19,176.44. Adicionalmente, se incluyen costos por herramientas por un monto de S/ 1,400.00. En conjunto, todos estos elementos conforman una inversión inicial total de S/ 26,296.44 para la implementación del Plan de Mantenimiento. Estos datos detallados proporcionan una visión completa de los recursos necesarios y son esenciales para la planificación financiera y estratégica.

Tabla 17.

Flujo de efectivo detalle año 1 de la implementación

Partidas	Mes 0	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
Ingresos por ahorro horas/hombre		S/ 2,534.70	S/ 2,560.04	S/ 2,585.65	S/ 2,611.50	S/ 2,637.62	S/ 2,663.99	S/ 2,690.63	S/ 2,717.54	S/ 2,744.71	S/ 2,772.16	S/ 2,799.88	S/ 2,827.88	S/ 32,146.31
Ahorro por depreciación		S/ 1,057.76	S/ 1,068.33	S/ 1,079.02	S/ 1,089.81	S/ 1,100.70	S/ 1,111.71	S/ 1,122.83	S/ 1,134.06	S/ 1,145.40	S/ 1,156.85	S/ 1,168.42	S/ 1,180.10	S/ 13,414.98
Total ingresos		S/ 3,592.45	S/ 3,628.38	S/ 3,664.66	S/ 3,701.31	S/ 3,738.32	S/ 3,775.70	S/ 3,813.46	S/ 3,851.60	S/ 3,890.11	S/ 3,929.01	S/ 3,968.30	S/ 4,007.99	S/ 45,561.29
Costos operativos		S/ 721.23	S/ 721.23	S/ 721.23	S/ 721.23	S/ 721.23	S/ 721.23	S/ 721.23	S/ 721.23	S/ 721.23	S/ 721.23	S/ 721.23	S/ 721.23	S/ 8,654.80
Beneficio operativo total		S/ 2,871.22	S/ 2,907.14	S/ 2,943.43	S/ 2,980.07	S/ 3,017.09	S/ 3,054.47	S/ 3,092.23	S/ 3,130.36	S/ 3,168.88	S/ 3,207.78	S/ 3,247.07	S/ 3,286.75	S/ 36,906.50
Inversion inicial	-S/ 26,296.44													
Gastos de mantenimiento preventivo		S/ 1,413.57	S/ 1,207.00	S/ 2,465.83	S/ 969.50	S/ 4,720.63	S/ 36.33	S/ 119.00	S/ 1,046.30	S/ 876.00	S/ 626.83	S/ 285.67	S/ -	S/ 13,766.66
Gastos de mantenimiento correctivo		S/ 463.33	S/ 405.75	S/ 422.33	S/ 298.33	S/ 2,079.67	S/ 293.17	S/ 158.17	S/ 107.50	S/ 485.17	S/ 359.50	S/ 23.17	S/ -	S/ 5,096.08
Gastos depreciación		S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 3,634.84
Egreso total		S/ 2,179.80	S/ 1,915.65	S/ 3,191.07	S/ 1,570.74	S/ 7,103.19	S/ 632.40	S/ 580.07	S/ 1,456.70	S/ 1,664.07	S/ 1,289.24	S/ 611.74	S/ 302.90	S/ 22,497.58
Flujo económico	-S/ 26,296.44	S/ 691.42	S/ 991.49	-S/ 247.64	S/ 1,409.34	-S/ 4,086.11	S/ 2,422.07	S/ 2,512.16	S/ 1,673.66	S/ 1,504.81	S/ 1,918.54	S/ 2,635.33	S/ 2,983.85	S/ 14,408.91
Flujo económico acumulado	-S/ 26,296.44	-S/ 25,605.02	-S/ 24,613.53	-S/ 24,861.18	-S/ 23,451.84	-S/ 27,537.94	-S/ 25,115.88	-S/ 22,603.72	-S/ 20,930.06	-S/ 19,425.25	-S/ 17,506.71	-S/ 14,871.38	-S/ 11,887.53	

Nota: La Tabla 17 detalla el flujo de efectivo año 1 de la implementación

Según el flujo anual durante el primer año el cierre acumulado es positivo, pero aún no se recupera la inversión inicial de la puesta en marcha de la mejora.

Tabla 18.

Flujo de efectivo detalle año 2 de la implementación

Partidas	Mes 0	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
Ingresos por ahorro horas/hombre		S/ 2,827.88	S/ 2,856.16	S/ 2,884.72	S/ 2,913.57	S/ 2,942.71	S/ 2,972.13	S/ 3,001.85	S/ 3,031.87	S/ 3,062.19	S/ 3,092.81	S/ 3,123.74	S/ 3,154.98	S/ 35,864.62
Ahorro por depreciación		S/ 1,180.10	S/ 1,191.91	S/ 1,203.82	S/ 1,215.86	S/ 1,228.02	S/ 1,240.30	S/ 1,252.70	S/ 1,265.23	S/ 1,277.88	S/ 1,290.66	S/ 1,303.57	S/ 1,316.60	S/ 14,966.67
Total ingresos		S/ 4,007.99	S/ 4,048.07	S/ 4,088.55	S/ 4,129.43	S/ 4,170.73	S/ 4,212.43	S/ 4,254.56	S/ 4,297.10	S/ 4,340.07	S/ 4,383.48	S/ 4,427.31	S/ 4,471.58	S/ 50,831.29
Costos operativos		S/ 865.70	S/ 865.70	S/ 865.70	S/ 865.70	S/ 865.70	S/ 865.70	S/ 865.70	S/ 865.70	S/ 865.70	S/ 865.70	S/ 865.70	S/ 865.70	S/ 10,388.35
Beneficio operativo total		S/ 3,142.29	S/ 3,182.37	S/ 3,222.85	S/ 3,263.74	S/ 3,305.03	S/ 3,346.74	S/ 3,388.86	S/ 3,431.41	S/ 3,474.38	S/ 3,517.78	S/ 3,561.61	S/ 3,605.89	S/ 40,442.94
Inversion inicial	-S/ 26,296.44													
Gastos de mantenimiento preventivo		S/ 1,413.57	S/ 1,207.00	S/ 2,465.83	S/ 969.50	S/ 4,720.63	S/ 36.33	S/ 119.00	S/ 1,046.30	S/ 876.00	S/ 626.83	S/ 285.67	S/ 285.67	S/ 14,052.33
Gastos de mantenimiento correctivo		S/ 463.33	S/ 405.75	S/ 422.33	S/ 298.33	S/ 2,079.67	S/ 293.17	S/ 158.17	S/ 107.50	S/ 485.17	S/ 359.50	S/ 23.17	S/ 23.17	S/ 5,119.25
Gastos depreciación		S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 3,634.84
Egreso total		S/ 2,179.80	S/ 1,915.65	S/ 3,191.07	S/ 1,570.74	S/ 7,103.19	S/ 632.40	S/ 580.07	S/ 1,456.70	S/ 1,664.07	S/ 1,289.24	S/ 611.74	S/ 302.90	S/ 22,806.42
Flujo económico	-S/ 26,296.44	S/ 962.49	S/ 1,266.72	S/ 31.78	S/ 1,693.00	-S/ 3,798.16	S/ 2,714.33	S/ 2,808.79	S/ 1,974.70	S/ 1,810.31	S/ 2,228.54	S/ 2,949.88	S/ 2,994.15	S/ 17,636.52
Flujo económico acumulado	-S/ 11,887.53	-S/ 10,925.04	-S/ 9,658.33	-S/ 9,626.55	-S/ 7,933.55	-S/ 11,731.71	-S/ 9,017.38	-S/ 6,208.58	-S/ 4,233.88	-S/ 2,423.57	-S/ 195.03	S/ 2,754.85	S/ 5,749.00	

Nota: La Tabla 18 detalla el flujo de efectivo año 2 de la implementación

En el segundo año, a partir del mes de noviembre se recupera la inversión inicial.

Tabla 19.

Flujo de efectivo detalle año 3 de la implementación

Partidas	Mes 0	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
Ingresos por ahorro horas/hombre		S/ 3,154.98	S/ 3,186.53	S/ 3,218.39	S/ 3,250.58	S/ 3,283.08	S/ 3,315.91	S/ 3,349.07	S/ 3,382.56	S/ 3,416.39	S/ 3,450.55	S/ 3,485.06	S/ 3,519.91	S/ 40,013.02
Ahorro por depreciación		S/ 1,316.60	S/ 1,329.77	S/ 1,343.07	S/ 1,356.50	S/ 1,370.06	S/ 1,383.76	S/ 1,397.60	S/ 1,411.58	S/ 1,425.69	S/ 1,439.95	S/ 1,454.35	S/ 1,468.89	S/ 16,697.84
Total ingresos		S/ 4,471.58	S/ 4,516.30	S/ 4,561.46	S/ 4,607.08	S/ 4,653.15	S/ 4,699.68	S/ 4,746.68	S/ 4,794.14	S/ 4,842.08	S/ 4,890.50	S/ 4,939.41	S/ 4,988.80	S/ 56,710.87
Costos operativos		S/ 1,039.10	S/ 1,039.10	S/ 1,039.10	S/ 1,039.10	S/ 1,039.10	S/ 1,039.10	S/ 1,039.10	S/ 1,039.10	S/ 1,039.10	S/ 1,039.10	S/ 1,039.10	S/ 1,039.10	S/ 12,469.14
Beneficio operativo total		S/ 3,432.49	S/ 3,477.20	S/ 3,522.37	S/ 3,567.98	S/ 3,614.05	S/ 3,660.58	S/ 3,707.58	S/ 3,755.05	S/ 3,802.99	S/ 3,851.41	S/ 3,900.31	S/ 3,949.71	S/ 44,241.72
Inversion inicial	-S/ 26,296.44													
Gastos de mantenimiento preventivo		S/ 1,413.57	S/ 1,207.00	S/ 2,465.83	S/ 969.50	S/ 4,720.63	S/ 36.33	S/ 119.00	S/ 1,046.30	S/ 876.00	S/ 626.83	S/ 285.67	S/ 285.67	S/ 14,052.33
Gastos de mantenimiento correctivo		S/ 463.33	S/ 405.75	S/ 422.33	S/ 298.33	S/ 2,079.67	S/ 293.17	S/ 158.17	S/ 107.50	S/ 485.17	S/ 359.50	S/ 23.17	S/ 23.17	S/ 5,119.25
Gastos depreciación		S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 3,634.84
Egreso total		S/ 2,179.80	S/ 1,915.65	S/ 3,191.07	S/ 1,570.74	S/ 7,103.19	S/ 632.40	S/ 580.07	S/ 1,456.70	S/ 1,664.07	S/ 1,289.24	S/ 611.74	S/ 611.74	S/ 22,806.42
Flujo económico	-S/ 26,296.44	S/ 1,252.68	S/ 1,561.55	S/ 331.30	S/ 1,997.24	-S/ 3,489.14	S/ 3,028.18	S/ 3,127.51	S/ 2,298.34	S/ 2,138.92	S/ 2,562.17	S/ 3,288.58	S/ 3,337.97	S/ 21,435.31
Flujo económico acumulado	S/ 5,749.00	S/ 7,001.68	S/ 8,563.23	S/ 8,894.53	S/ 10,891.77	S/ 7,402.63	S/ 10,430.81	S/ 13,558.32	S/ 15,856.66	S/ 17,995.58	S/ 20,557.75	S/ 23,846.33	S/ 27,184.30	

Nota: La Tabla 19 detalla el flujo de efectivo año 3 de la implementación

Durante el 3er año se mantiene la tendencia de crecimiento y se cierra nuevamente en positivo con la mejora.

Tabla 20.

Flujo de efectivo detalle año 4 de la implementación

Partidas	Mes 0	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
Ingresos por ahorro horas/hombre		S/ 3,519.91	S/ 3,555.11	S/ 3,590.66	S/ 3,626.57	S/ 3,662.83	S/ 3,699.46	S/ 3,736.45	S/ 3,773.82	S/ 3,811.56	S/ 3,849.67	S/ 3,888.17	S/ 3,927.05	S/ 44,641.26
Ahorro por depreciación		S/ 1,468.89	S/ 1,483.58	S/ 1,498.42	S/ 1,513.40	S/ 1,528.54	S/ 1,543.82	S/ 1,559.26	S/ 1,574.85	S/ 1,590.60	S/ 1,606.51	S/ 1,622.57	S/ 1,638.80	S/ 18,629.25
Total ingresos		S/ 4,988.80	S/ 5,038.69	S/ 5,089.08	S/ 5,139.97	S/ 5,191.37	S/ 5,243.28	S/ 5,295.72	S/ 5,348.67	S/ 5,402.16	S/ 5,456.18	S/ 5,510.74	S/ 5,565.85	S/ 63,270.52
Costos operativos		S/ 1,247.23	S/ 1,247.23	S/ 1,247.23	S/ 1,247.23	S/ 1,247.23	S/ 1,247.23	S/ 1,247.23	S/ 1,247.23	S/ 1,247.23	S/ 1,247.23	S/ 1,247.23	S/ 1,247.23	S/ 14,966.71
Beneficio operativo total		S/ 3,741.58	S/ 3,791.47	S/ 3,841.85	S/ 3,892.74	S/ 3,944.14	S/ 3,996.06	S/ 4,048.49	S/ 4,101.45	S/ 4,154.93	S/ 4,208.96	S/ 4,263.52	S/ 4,318.62	S/ 48,303.81
Inversion inicial	-S/ 26,296.44													
Gastos de mantenimiento preventivo		S/ 1,413.57	S/ 1,207.00	S/ 2,465.83	S/ 969.50	S/ 4,720.63	S/ 36.33	S/ 119.00	S/ 1,046.30	S/ 876.00	S/ 626.83	S/ 285.67	S/ 285.67	S/ 14,052.33
Gastos de mantenimiento correctivo		S/ 463.33	S/ 405.75	S/ 422.33	S/ 298.33	S/ 2,079.67	S/ 293.17	S/ 158.17	S/ 107.50	S/ 485.17	S/ 359.50	S/ 23.17	S/ 23.17	S/ 5,119.25
Gastos depreciación		S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 3,634.84
Egreso total		S/ 2,179.80	S/ 1,915.65	S/ 3,191.07	S/ 1,570.74	S/ 7,103.19	S/ 632.40	S/ 580.07	S/ 1,456.70	S/ 1,664.07	S/ 1,289.24	S/ 611.74	S/ 611.74	S/ 22,806.42
Flujo económico	-S/ 26,296.44	S/ 1,561.77	S/ 1,875.81	S/ 650.78	S/ 2,322.01	-S/ 3,159.05	S/ 3,363.65	S/ 3,468.42	S/ 2,644.74	S/ 2,490.86	S/ 2,919.72	S/ 3,651.78	S/ 3,706.89	S/ 25,497.39
Flujo económico acumulado	S/ 27,184.30	S/ 28,746.08	S/ 30,621.89	S/ 31,272.67	S/ 33,594.68	S/ 30,435.63	S/ 33,799.28	S/ 37,267.70	S/ 39,912.44	S/ 42,403.31	S/ 45,323.03	S/ 48,974.81	S/ 52,681.69	

Nota: La Tabla 20 detalla el flujo de efectivo año 4 de la implementación

El cuarto año sigue la misma tendencia del año 3, cerrando en positivo manteniendo los indicadores de mejora.

Tabla 21.

Flujo de efectivo detalle año 5 de la implementación

Partidas	Mes 0	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
Ingresos por ahorro horas/hombre		S/ 3,927.05	S/ 3,966.32	S/ 4,005.99	S/ 4,046.05	S/ 4,086.51	S/ 4,127.37	S/ 4,168.64	S/ 4,210.33	S/ 4,252.43	S/ 4,294.96	S/ 4,337.91	S/ 4,381.29	S/ 49,804.84
Ahorro por depreciación		S/ 1,638.80	S/ 1,655.19	S/ 1,671.74	S/ 1,688.46	S/ 1,705.34	S/ 1,722.39	S/ 1,739.62	S/ 1,757.01	S/ 1,774.58	S/ 1,792.33	S/ 1,810.25	S/ 1,828.36	S/ 20,784.07
Total ingresos		S/ 5,565.85	S/ 5,621.51	S/ 5,677.72	S/ 5,734.50	S/ 5,791.85	S/ 5,849.76	S/ 5,908.26	S/ 5,967.34	S/ 6,027.02	S/ 6,087.29	S/ 6,148.16	S/ 6,209.64	S/ 70,588.91
Costos operativos		S/ 1,497.05	S/ 1,497.05	S/ 1,497.05	S/ 1,497.05	S/ 1,497.05	S/ 1,497.05	S/ 1,497.05	S/ 1,497.05	S/ 1,497.05	S/ 1,497.05	S/ 1,497.05	S/ 1,497.05	S/ 17,964.54
Beneficio operativo total		S/ 4,068.81	S/ 4,124.46	S/ 4,180.68	S/ 4,237.46	S/ 4,294.80	S/ 4,352.72	S/ 4,411.22	S/ 4,470.30	S/ 4,529.97	S/ 4,590.24	S/ 4,651.12	S/ 4,712.60	S/ 52,624.37
Inversion inicial	-S/ 26,296.44													
Gastos de mantenimiento preventivo		S/ 1,413.57	S/ 1,207.00	S/ 2,465.83	S/ 969.50	S/ 4,720.63	S/ 36.33	S/ 119.00	S/ 1,046.30	S/ 876.00	S/ 626.83	S/ 285.67	S/ 285.67	S/ 14,052.33
Gastos de mantenimiento correctivo		S/ 463.33	S/ 405.75	S/ 422.33	S/ 298.33	S/ 2,079.67	S/ 293.17	S/ 158.17	S/ 107.50	S/ 485.17	S/ 359.50	S/ 23.17	S/ 23.17	S/ 5,119.25
Gastos depreciación		S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 302.90	S/ 3,634.84
Egreso total		S/ 2,179.80	S/ 1,915.65	S/ 3,191.07	S/ 1,570.74	S/ 7,103.19	S/ 632.40	S/ 580.07	S/ 1,456.70	S/ 1,664.07	S/ 1,289.24	S/ 611.74	S/ 611.74	S/ 22,806.42
Flujo económico	-S/ 26,296.44	S/ 1,889.00	S/ 2,208.81	S/ 989.61	S/ 2,666.72	-S/ 2,808.39	S/ 3,720.32	S/ 3,831.15	S/ 3,013.60	S/ 2,865.90	S/ 3,301.01	S/ 4,039.38	S/ 4,100.86	S/ 29,817.95
Flujo económico acumulado	S/ 52,681.69	S/ 54,570.70	S/ 56,779.51	S/ 57,769.11	S/ 60,435.83	S/ 57,627.44	S/ 61,347.76	S/ 65,178.90	S/ 68,192.50	S/ 71,058.40	S/ 74,359.41	S/ 78,398.79	S/ 82,499.65	

Nota: La Tabla 21 detalla el flujo de efectivo año 5 de la implementación

Finalizando el 5 año, se puede verificar que:

- 1) Se recuperó el capital inicial en poco menos de 2 años
- 2) Se cierra siempre en positivo año a año
- 3) Los ingresos y costos quedan equilibrados según se mantengan las directivas de la propuesta.

Tabla 22.
Flujo de efectivo resumen

Partidas	0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingreso total		S/ 45,561.29	S/ 50,831.29	S/ 56,710.87	S/ 63,270.52	S/ 70,588.91
Egreso total		S/ 31,152.38	S/ 33,194.77	S/ 35,275.56	S/ 37,773.13	S/ 40,770.96
Inversión	-S/ 26,296.44					
Flujo económico		S/ 14,408.91	S/ 17,636.52	S/ 21,435.31	S/ 25,497.39	S/ 29,817.95
Flujo económico acum	-S/ 26,296.44	-S/ 11,887.53	S/ 5,749.00	S/ 27,184.30	S/ 52,681.69	S/ 82,499.65

Nota: La Tabla 22 detalla el flujo de efectivo resumen

El análisis financiero proyectado para los próximos cinco años presenta un flujo económico positivo, indicando la viabilidad del proyecto. En el primer año, se espera un ingreso total de S/45,561.29 y un egreso total de S/31,152.38, generando un flujo económico de S/14,408.91. A medida que avanza el tiempo, tanto los ingresos como los egresos aumentan gradualmente, culminando en un flujo económico positivo cada año.

La inversión inicial de S/26,296.44 se contempla en el primer año, pero a partir del segundo año en adelante, el flujo económico acumulado muestra resultados positivos, indicando la recuperación de la inversión inicial y la generación de ganancias. Al final del quinto año, el flujo económico acumulado alcanza S/82,499.65. Estos resultados sugieren que el proyecto es financieramente sostenible y presenta un retorno positivo a lo largo del tiempo. El flujo económico positivo acumulado respalda la rentabilidad y la factibilidad del Plan de Mantenimiento implementado en términos financieros.

Tabla 23.
Proyección anual proyecto

AÑO	INGRESOS	EGRESOS	FLUJO
0	0.00	26,296.44	-26,296.44
1	45,561.29	31,152.38	14,408.91
2	50,831.29	33,194.77	17,636.52
3	56,710.87	35,275.56	21,435.31
4	63,270.52	37,773.13	25,497.39
5	70,588.91	40,770.96	29,817.95

Nota: La Tabla 23 detalla la proyección anual del proyecto

La proyección anual del proyecto de implementación del Plan de Mantenimiento demuestra una evolución financiera positiva a lo largo de los cinco años. Inicialmente, se

registra una inversión inicial de S/ 26,296.44. Sin embargo, a partir del primer año, los ingresos superan los egresos, generando un flujo de efectivo positivo que aumenta progresivamente en cada período. Los flujos acumulados muestran una clara recuperación de la inversión inicial, alcanzando un saldo positivo de S/ 29,817.95 al final del quinto año. Este análisis sugiere que el proyecto es económicamente viable y puede generar beneficios financieros sostenibles a lo largo del tiempo.

Tabla 24.

Estimación costo capital propio

Costo de capital propio	
Inflación agosto 2023	5.58%
Riesgo país	1.65%
Tasa de rendimiento bonos	3.90%
Cartera de alto riesgo	8.9%
Total, COX Base	20.03%

Nota: La Tabla 24 detalla la estimación costo capital propio

Costo Capital propio= Inflación + riesgo país + tasa de rendimiento de bonos de tesoro americanos a cinco años + cartera de riesgo.

La estimación del costo de capital propio se realiza considerando varios factores relevantes. La inflación en agosto de 2023 se sitúa en un 5.58%, el riesgo país es del 1.65%, y la tasa de rendimiento de bonos se establece en un 3.90%. Además, la cartera de alto riesgo contribuye con un 8.9% al costo total de capital propio (COX). En conjunto, estos elementos suman un COX Base del 20.03%. Este costo de capital propio refleja la compensación que los inversionistas requieren para asumir el riesgo asociado a la inversión, considerando factores macroeconómicos y específicos del mercado.

Tabla 25.

Evaluación económica financiera

COK	VAN	TIR	B/C
20.03%	34,597	63.86%	1.27

Nota: La Tabla 25 detalla la evaluación económica financiera.

La evaluación económica financiera del proyecto se realiza considerando el Costo de Capital Propio (COK) del 20.03%. (ver tabla 24)

1) El Valor Actual Neto (VAN) del proyecto es de 34,597 soles, indicando que el valor presente de los flujos de efectivo futuros supera la inversión inicial.

- Donde:
- Σ representa la suma de todos los flujos de efectivo
- Flujo de efectivo es el flujo de efectivo en cada período
- COK es la tasa de descuento
- n es el número de períodos

$$VAN = \sum_{t=0}^5 \frac{Flujo_t}{(1 + COK)^t}$$

$$VAN = (-26,296.44 / (1 + 0.2003)^0) + (14,408.91 / (1 + 0.2003)^1) + (17,636.52 / (1 + 0.2003)^2) + (21,435.31 / (1 + 0.2003)^3) + (25,497.39 / (1 + 0.2003)^4) + (29,817.95 / (1 + 0.2003)^5);$$

$$VAN = S/34,597$$

- 2) La Tasa Interna de **Retorno (TIR)** es del 63.86%, lo que significa que la rentabilidad del proyecto es significativa.
- 3) La Relación Beneficio-Costo (**B/C**) es de 1.27, lo que sugiere que, por cada unidad de inversión, se generará un retorno de 1.27 unidades.
- 4) El PRI (Periodo de retorno de la inversión)
- Inversión inicial / flujo neto anual=
- $$PRI = 26,296.44 / 14,408.91$$
- $$PRI = 1.83 \text{ meses.}$$

Esto detalla que en un periodo de 1 año 8 meses y aproximadamente 3 semanas, se estaría retornando la inversión de la implementación de la mejora.

En conjunto, estos indicadores respaldan la viabilidad financiera del proyecto de implementación del Plan de Mantenimiento, mostrando un rendimiento positivo y un impacto favorable en la rentabilidad.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

OBJETIVO GENERAL: Determinar el impacto de la implementación del mantenimiento preventivo, para incrementar la disponibilidad de las máquinas en plantas de xantatos en la empresa Reactivos Nacionales SA

La tabla que muestra las interrupciones en el funcionamiento de diversas máquinas a lo largo de los meses entre enero y junio del 2023 desempeñó un papel clave en la realización de un análisis específico. Este análisis se centró en identificar los equipos que experimentaron un aumento significativo en su tasa de problemas después de la implementación de un plan de mantenimiento. En lo que respecta a las horas de trabajo, que representan el total de horas de operación de los equipos durante el período de estudio de seis meses (equivalente a 2268 horas), se calculó considerando 30 días por mes. Se excluyeron 60 horas destinadas al mantenimiento preventivo programado que son las horas dedicadas a tareas de mantenimiento planificadas que no se relacionan con fallas. En cuanto al mantenimiento preventivo programado, es decir, el tiempo dedicado a tareas de mantenimiento planificadas que no están vinculadas a problemas inesperados, (los mantenimientos son planificados de la siguiente manera, M3: cada 3 meses 14 horas, M6: cada 6 meses 40 horas, M3: cada 3 meses 14 horas, M12: cada 12 meses 52 horas, que suma un total de 120 horas al año y 60 horas por seis meses).

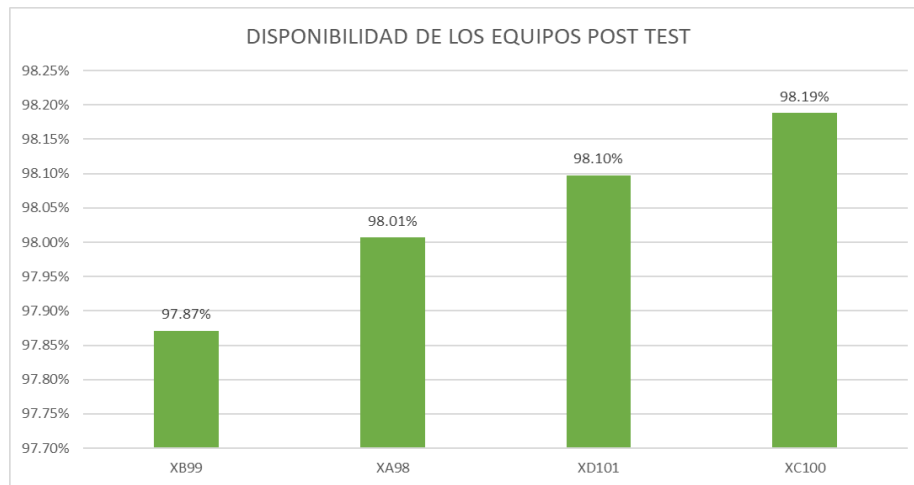
Tabla 26
Disponibilidad de los equipos Post-Test

POST TEST									
No.	Tipo de defecto	Horas de trabajo	Tiempo de paradas (Hrs)	N° de fallas	Mantenimiento preventivo programado	DISPONIBILIDAD	MTTR (Hrs / Falla)	MPP+TP	MTBF (Hrs Fallas)
1	XB99	2268	47	10	60	97.87%	4.70	107	216.10
2	XA98	2268	44	9	60	98.01%	4.89	104	240.44
3	XD101	2268	42	8	60	98.10%	5.25	102	270.75
4	XC100	2268	40	8	60	98.19%	5.00	100	271.00
5	AXA105	2268	38.5	8	60	98.26%	4.81	98.5	271.19
6	AXD108	2268	37.5	8	60	98.30%	4.69	97.5	271.31
7	AXB106	2268	36.5	7	60	98.35%	5.21	96.5	310.21
8	AXC107	2268	33.5	8	60	98.48%	4.19	93.5	271.81
TOTAL			319	66		98.19%	4.84		265.35

Nota: La tabla muestra los resultados post-implementación del plan de mantenimiento, indicando una mejora en la disponibilidad de los equipos.

Figura 12.

Disponibilidad de los equipos Post-Test



Nota: Esta gráfica muestra la disponibilidad de los equipos tras la implementación del plan de mantenimiento

La disponibilidad de los equipos después de la implementación del plan de mantenimiento revela tendencias interesantes. En concreto, se observa que los tipos de defecto XB99, XA98, XD101 y XC100 tienden a ser las máquinas con una mayor importancia en términos de criticidad o relevancia dentro del contexto del mantenimiento y operación.

En relación a los indicadores de los equipos críticos, se tiene:

Tabla 27

Indicadores de equipos críticos posterior al plan de mantenimiento

No.	Tipo de defecto	Horas de trabajo	Tiempo de paradas (Hrs)	Nº de fallas	Mantenimiento preventivo programado	DISPONIBILIDAD	MTTR (Hrs / Falla)	MPP+TP	MTBF (Hrs Fallas)
1	XB99	2268	47	10	60	97.87%	4.70	107	216.10
2	XA98	2268	44	9	60	98.01%	4.89	104	240.44
3	XD101	2268	42	8	60	98.10%	5.25	102	270.75
4	XC100	2268	40	8	60	98.19%	5.00	100	271.00
TOTAL			173	35		98.04%	4.96		249.57

Nota: La tabla resume los indicadores clave de rendimiento de equipos críticos tras la aplicación del plan de mantenimiento

Después de implementar el plan de mantenimiento en equipos críticos, se identificaron que estos equipos tuvieron un tiempo de parada total de 173 horas y experimentaron 35 paradas debido a varias fallas. La disponibilidad promedio de todos los equipos juntos fue del 98.04%. El MTTR promedio fue de 4.96 horas, y el MTBF total fue de 249.57 horas.

Determinación del impacto posterior al plan de mantenimiento preventivo

La evaluación del impacto después de la implementación del plan de mantenimiento se llevó a cabo mediante una comparación entre los resultados antes (PreTest) y después (PostTest) de la implementación. En particular, se analizó el indicador de disponibilidad para medir el cambio ocasionado por el plan de mantenimiento.

Tabla 28

Resumen de indicadores

Indicador	PreTest	PostTest	Impacto
Disponibilidad	90.31%	98.04%	7.73%
Tiempo promedio puesta marcha (MTBF)	93.77	249.57	155.81
Tiempo promedio entre paradas (MTTR)	10.06	4.96	5.10

Nota: La Tabla 28 presenta un resumen de los indicadores clave de rendimiento antes y después de la implementación del plan de mantenimiento.

Los indicadores PreTest y PostTest muestran cómo cambió el rendimiento de los equipos antes y después de la implementación del plan de mantenimiento, y el Impacto representa la diferencia entre estos dos valores. Los resultados muestran que Antes del plan de mantenimiento, la disponibilidad era del 90.31%, y después de la implementación, aumentó significativamente al 98.04%. Esto representa un impacto positivo del 7.73%, lo que indica una mejora sustancial en la disponibilidad de los equipos.

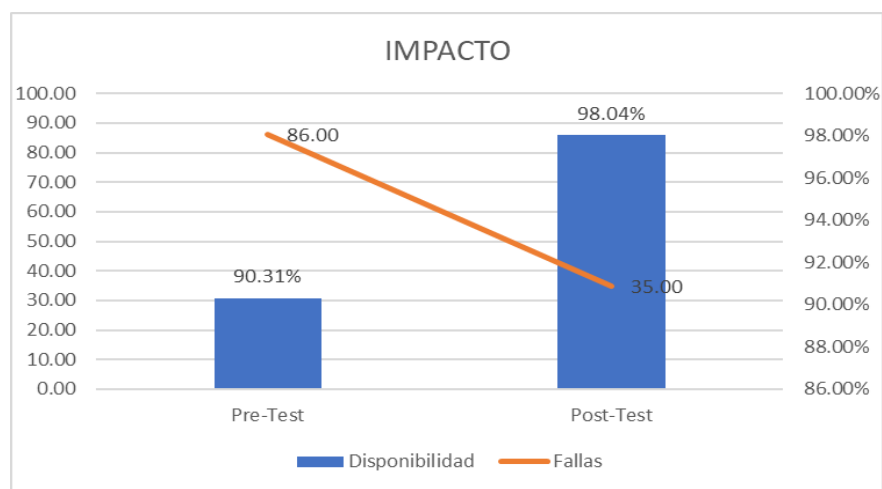
Tabla 29
Indicador disponibilidad promedio

	Fallas	% Fallas	Disponibilidad	Paradas (Hr)	% Paradas
Pre-Test	86.00	100%	Pre-Test 90.31%	Pre-Test 855.50	100%
Post-Test	35.00	41%	Post-Test 98.04%	Post-Test 173.00	20%
Impacto	51	59%	Impacto 7.73%	Impacto 682.5	80%

Nota: La Tabla 29 presenta el indicador disponibilidad promedio Pre-test.

Figura 13.

Mejora del % de disponibilidad



Nota: La figura presenta la mejora del porcentaje de disponibilidad Pre-test

Antes de aplicar el plan de mantenimiento (Pre-Test), se registraron 86 fallas, lo que equivalía al total de fallas en ese período. La disponibilidad se mantuvo en un 90.31%, y el tiempo total de paradas alcanzó las 855.5 horas, lo que constituyó la totalidad del tiempo de paradas en ese período. Después de implementar el plan de mantenimiento (Post-Test), el número de fallas se redujo a 35, representando un 41% de las fallas previas. La disponibilidad experimentó un notable incremento al llegar al 98.04%, señalando una clara mejora en la eficiencia de los equipos. Además, el tiempo de paradas se redujo drásticamente a 173 horas, lo que representa el 20% del tiempo de paradas en el período anterior.

OBJETIVO ESPECÍFICO 1: Determinar las fallas y máquinas críticas que impactan la situación actual de la disponibilidad de las máquinas en plantas de xantatos en la empresa Reactivos Nacionales SA

La siguiente tabla presenta los intervalos de detención observados en diversos equipos durante los meses de julio a diciembre del 2022. Esta recopilación de datos permitió realizar un análisis específico de los equipos que experimentaron un aumento significativo en sus problemas antes de aplicar el plan de mantenimiento.

Tabla 30
Cálculo de la disponibilidad del equipo

Equipo		HORAS operación 6 MESES	H. PARADAS	N° de fallas	MPP	MTBF	MTTR	MPP+TP	DISP. %
ACONDICIONADOR A	AXA105	2,268.00	130.00	13.00	60.00	160	10.00	190.00	94.11%
ACONDICIONADOR C	AXC107	2,268.00	150.00	20.00	60.00	103	7.50	210.00	93.21%
ACONDICIONADOR B	AXB106	2,268.00	140.00	14.00	60.00	148	10.00	200.00	93.66%
ACONDICIONADOR D	AXD108	2,268.00	155.00	19.00	60.00	108	8.16	215.00	92.98%
REACTOR A	XA98	2,268.00	230.50	19.00	60.00	104	12.13	290.50	89.56%
REACTOR C	XC100	2,268.00	214.00	25.00	60.00	80	8.56	274.00	90.31%
REACTOR B	XB99	2,268.00	223.00	22.00	60.00	90	10.14	283.00	89.90%
REACTOR D	XD101	2,268.00	188.00	20.00	60.00	101	9.40	248.00	91.49%
Total			1430.50	152.00		111.70	9.49	238.81	91.90%

Nota: La tabla presenta el cálculo de la disponibilidad del equipo

La disponibilidad de los equipos antes de la implementación del plan de mantenimiento revela tendencias interesantes. En concreto, se observa que los tipos de defecto XA98, XB99, XC100 y XD101 tienden a ser las máquinas con una mayor importancia en términos de criticidad o relevancia dentro del contexto del mantenimiento y operación.

Cálculo de los indicadores

Tabla 31
Equipos críticos

Equipo		HORAS operación 6 MESES	H. PARADAS	N° de fallas	MPP	MTBF	MTTR	MPP+TP	DISP.%
REACTOR A	XA98	2,268.00	230.50	19.00	60.00	104	12.13	290.50	89.56%
REACTOR C	XC100	2,268.00	214.00	25.00	60.00	80	8.56	274.00	90.31%
REACTOR B	XB99	2,268.00	223.00	22.00	60.00	90	10.14	283.00	89.90%
REACTOR D	XD101	2,268.00	188.00	20.00	60.00	101	9.40	248.00	91.49%
Total			855.50	86.00		93.77	10.06		90.31%

Nota: Esta tabla presenta un resumen del desempeño operativo de cuatro reactores críticos (A, B, C y D) durante un período de seis meses.

Antes de implementar el plan de mantenimiento en equipos críticos, se identificaron que la disponibilidad total es del 90.31%, el MTTR promedio es de 10.06 horas por falla y el MTBF promedio es de 93.77 horas entre fallas para todos los equipos juntos.

Tabla 32
Indicadores de gestión.

Indicador	PreTest
Disponibilidad	90.31%
Tiempo promedio puesta marcha (MTBF)	93.77
Tiempo promedio entre paradas (MTTR)	10.06

Nota: La tabla resume los indicadores clave de gestión evaluados durante una fase de prueba (PreTest).

A continuación, se presenta el análisis modal de efectos y fallas en relación a los cuatro equipos identificados en el análisis de criticidad

Tabla 33.

Análisis modal de efectos y fallas del equipo XB98

ANÁLISIS MODAL DE EFECTOS Y FALLO										
Responsable:		Jaime Saldaña			Número prioridad de riesgo					
Área:		Mantenimiento			500 - 1000		Alto riesgo de falla			
Equipo:		Reactor químico - XA			125 - 499		Riesgo falla medio			
					1 - 124		Riesgo falla bajo			
Descripción	Falla funcional	Modo de fallas	Efecto de fallas	Consecuencia	Causas de fallas	N° AMEF:				Acciones
						Gravedad	Ocurrencia	Detección	IPR	
XB98	Fallo del agitador (pérdida de agitación)	Desgaste del bronce de eje guía de agitador debido al uso prolongado	Ruidos anormales y vibraciones de la estructura del reactor.	Pérdida de producción por falta de reacción de reacción química	Uso continuo sin mantenimiento preventivo, falta de inspección y lubricación adecuada.	5	6	7	210	Establecer un programa de mantenimiento preventivo en el reactor en el cual incluya inspección y lubricación y reemplazo de bronce desgastados.
	Fallo en bomba de recirculación del reactor	Parada en la bomba de recirculación de químicos del reactor por desgaste de sello mecánico.	Fugas de químicos hacia canales de drenaje por sello mecánico defectuoso por desgaste	Detención del proceso de reacción químico, lo que puede afectar la producción y la calidad de los productos.	trabajo continuo falta de inspección y cambios de sello mecánico.	6	7	6	252	Implementar un programa de inspección, limpieza y mantenimiento preventivo de la bomba de recirculación.
	Fallo por desgaste en chaqueta y tuberías de enfriamiento del reactor	Desgaste gradual del revestimiento interno de chaqueta y líneas de enfriamiento del reactor debido a la corrosión química	Pérdida de la integridad del revestimiento interno de chaquetas y tuberías de enfriamiento	Fugas químicas, contaminación del producto, riesgo ambiental y de seguridad.	Uso continuo sin inspección y mantenimiento adecuados, exposición a reactivos corrosivos.	5	6	7	210	Implementar inspecciones regulares del revestimiento interno y tuberías de enfriamiento reemplazarlo cuando sea necesario, utilizar materiales resistentes a la abrasión.
	Interrupción en el funcionamiento por fallos eléctricos en cables de control y fuerza	Fallo en el suministro eléctrico debido a cortes de energía por fallos	Paro inmediato del reactor y de los sistemas de control.	Pérdida de producción y potencialmente problemas de atascamiento por sedimentación de productos	Fallas en los circuitos eléctricos de control y fuerza, sulfatación de terminales de cables de control y fuerza	6	6	7	252	Implementar un plan de inspección y mantenimiento preventivo de motores eléctricos, cables y accesorios de control y fuerza del reactor.

Nota: Esta tabla proporciona un análisis exhaustivo de los modos de fallo del equipo XB98, identificando y evaluando las potenciales fallas funcionales que pueden afectar la operatividad del equipo.

Tabla 34.

Análisis modal de efectos y fallas del equipo XB99

ANÁLISIS MODAL DE EFECTOS Y FALLO										
Responsable:		Jaime Saldaña			Número prioridad de riesgo					
Área:		Mantenimiento			500 - 1000		Alto riesgo de falla			
Equipo:		Reactor químico - XB			125 - 499		Riesgo falla medio			
					1 - 124		Riesgo falla bajo			
Descripción	Falla funcional	Modo de fallas	Efecto de fallas	Consecuencia	Causas de fallas	N° AMEF:				Acciones
						Gravedad	Ocurrencia	Detección	IPR	
XB99	Fallo del agitador (pérdida de agitación)	Desgaste del bronce de eje guía de agitador debido al uso prolongado	Ruidos anormales y vibraciones de la estructura del reactor.	Pérdida de producción por falta de reacción de reacción química	Uso continuo sin mantenimiento preventivo, falta de inspección y lubricación adecuada.	5	6	7	210	Establecer un programa de mantenimiento preventivo en el reactor en el cual incluya inspección y lubricación y reemplazo de bronce desgastados.
	Fallo en bomba de recirculación del reactor	Parada en la bomba de recirculación de químicos del reactor por desgaste de sello mecánico.	Fugas de químicos hacia canales de drenaje por sello mecánico defectuoso por desgaste	Detención del proceso de reacción químico, lo que puede afectar la producción y la calidad de los productos.	trabajo continuo falta de inspección y cambios de sello mecánico.	6	5	6	180	Implementar un programa de inspección, limpieza y mantenimiento preventivo de la bomba de recirculación.
	Fallo por desgaste en chaqueta y tuberías de enfriamiento del reactor	Desgaste gradual del revestimiento interno de chaqueta y líneas de enfriamiento del reactor debido a la corrosión química	Pérdida de la integridad del revestimiento interno de chaquetas y tuberías de enfriamiento	Fugas químicas, contaminación del producto, riesgo ambiental y de seguridad.	Uso continuo sin inspección y mantenimiento adecuados, exposición a reactivos corrosivos.	7	6	6	252	Implementar inspecciones regulares del revestimiento interno y tuberías de enfriamiento reemplazarlo cuando sea necesario, utilizar materiales resistentes a la abrasión.
	Interrupción en el funcionamiento por fallos eléctricos en cables de control y fuerza	Fallo en el suministro eléctrico debido a cortes de energía por fallos	Paro inmediato del reactor y de los sistemas de control.	Pérdida de producción y potencialmente problemas de atascamiento por sedimentación de productos	Fallas en los circuitos eléctricos de control y fuerza, sulfatación de terminales de cables de control y fuerza	7	7	5	245	Implementar un plan de inspección y mantenimiento preventivo de motores eléctricos, cables y accesorios de control y fuerza del reactor.

Nota: Esta tabla proporciona un análisis exhaustivo de los modos de fallo del equipo XB99, identificando y evaluando las potenciales fallas funcionales que pueden afectar la operatividad del equipo.

Tabla 35.

Análisis modal de efectos y fallas del equipo XC100

ANÁLISIS MODAL DE EFECTOS Y FALLO										
Responsable:		Jaime Saldaña			Número prioridad de riesgo					
Área:		Mantenimiento			500 - 1000		Alto riesgo de falla			
Equipo:		Reactor químico - XC			125 - 499		Riesgo falla medio			
					1 - 124		Riesgo falla bajo			
Descripción	Falla funcional	Modo de fallas	Efecto de fallas	Consecuencia	Causas de fallas	N° AMEF:				Acciones
						Gravedad	Duración	Detección	IPR	
XC100	Fallo del agitador (pérdida de agitación)	Desgaste del bronce de eje guía de agitador debido al uso prolongado	Ruidos anormales y vibraciones de la estructura del reactor.	Pérdida de producción por falta de reacción de reacción química	Uso continuo sin mantenimiento preventivo, falta de inspección y lubricación adecuada.	6	7	7	294	Establecer un programa de mantenimiento preventivo en el reactor en el cual incluya inspección y lubricación y reemplazo de bronce desgastados.
	Fallo en bomba de recirculación del reactor	Parada en la bomba de recirculación de químicos del reactor por desgaste de sello mecánico.	Fugas de químicos hacia canales de drenaje por sello mecánico defectuoso por desgaste	Detención del proceso de reacción química, lo que puede afectar la producción y la calidad de los productos.	trabajo continuo falta de inspección y cambios de sello mecánico.	6	5	5	150	Implementar un programa de inspección, limpieza y mantenimiento preventivo de la bomba de recirculación.
	Fallo por desgaste en chaqueta y tuberías de enfriamiento del reactor	Desgaste gradual del revestimiento interno de chaqueta y líneas de enfriamiento del reactor debido a la corrosión química	Pérdida de la integridad del revestimiento interno de chaquetas y tuberías de enfriamiento	Fugas químicas, contaminación del producto, riesgo ambiental y de seguridad.	Uso continuo sin inspección y mantenimiento adecuados, exposición a reactivos corrosivos.	7	6	6	252	Implementar inspecciones regulares del revestimiento interno y tuberías de enfriamiento reemplazarlo cuando sea necesario, utilizar materiales resistentes a la abrasión.
	Interrupción en el funcionamiento por fallos eléctricos en cables de control y fuerza	Fallo en el suministro eléctrico debido a cortes de energía por fallos	Paro inmediato del reactor y de los sistemas de control.	Pérdida de producción y potencialmente problemas de atascamiento por sedimentación de productos	Fallas en los circuitos eléctricos de control y fuerza, sulfatación de terminales de cables de control y fuerza	5	5	6	150	Implementar un plan de inspección y mantenimiento preventivo de motores eléctricos, cables y accesorios de control y fuerza del reactor.

Nota: Esta tabla proporciona un análisis exhaustivo de los modos de fallo del equipo XC100, identificando y evaluando las potenciales fallas funcionales que pueden afectar la operatividad del equipo.

Tabla 36.

Análisis modal de efectos y fallas del equipo XD101

ANÁLISIS MODAL DE EFECTOS Y FALLO										
Responsable:		Jaime Saldaña			Número prioridad de riesgo					
Área:		Mantenimiento			500 - 1000		Alto riesgo de falla			
Equipo:		Reactor químico - XD			125 - 499		Riesgo falla medio			
					1 - 124		Riesgo falla bajo			
Descripción	Falla funcional	Modo de fallas	Efecto de fallas	Consecuencia	Causas de fallas	N° AMEF:				Acciones
						Gravedad	Duración	Detección	IPR	
XD101	Fallo del agitador (pérdida de agitación)	Desgaste del bronce de eje guía de agitador debido al uso prolongado	Ruidos anormales y vibraciones de la estructura del reactor.	Pérdida de producción por falta de reacción de reacción química	Uso continuo sin mantenimiento preventivo, falta de inspección y lubricación adecuada.	6	7	7	294	Establecer un programa de mantenimiento preventivo en el reactor en el cual incluya inspección y lubricación y reemplazo de bronce desgastados.
	Fallo en bomba de recirculación del reactor	Parada en la bomba de recirculación de químicos del reactor por desgaste de sello mecánico.	Fugas de químicos hacia canales de drenaje por sello mecánico defectuoso por desgaste	Detención del proceso de reacción química, lo que puede afectar la producción y la calidad de los productos.	trabajo continuo falta de inspección y cambios de sello mecánico.	6	5	5	150	Implementar un programa de inspección, limpieza y mantenimiento preventivo de la bomba de recirculación.
	Fallo por desgaste en chaqueta y tuberías de enfriamiento del reactor	Desgaste gradual del revestimiento interno de chaqueta y líneas de enfriamiento del reactor debido a la corrosión química	Pérdida de la integridad del revestimiento interno de chaquetas y tuberías de enfriamiento	Fugas químicas, contaminación del producto, riesgo ambiental y de seguridad.	Uso continuo sin inspección y mantenimiento adecuados, exposición a reactivos corrosivos.	7	6	6	252	Implementar inspecciones regulares del revestimiento interno y tuberías de enfriamiento reemplazarlo cuando sea necesario, utilizar materiales resistentes a la abrasión.
	Interrupción en el funcionamiento por fallos eléctricos en cables de control y fuerza	Fallo en el suministro eléctrico debido a cortes de energía por fallos	Paro inmediato del reactor y de los sistemas de control.	Pérdida de producción y potencialmente problemas de atascamiento por sedimentación de productos	Fallas en los circuitos eléctricos de control y fuerza, sulfatación de terminales de cables de control y fuerza	5	5	5	125	Implementar un plan de inspección y mantenimiento preventivo de motores eléctricos, cables y accesorios de control y fuerza del reactor.

Nota: Esta tabla proporciona un análisis exhaustivo de los modos de fallo del equipo XD101, identificando y evaluando las potenciales fallas funcionales que pueden afectar la operatividad del equipo.

Seguidamente se determina el índice de prioridad de riesgo (IPR) de las máquinas críticas.

Tabla 37
Índice de prioridad de riesgo (IPR)

Descripción	IPR	Estado
XA98	924	Alto riesgo de falla
XB99	887	Alto riesgo de falla
XC100	846	Alto riesgo de falla
XD101	821	Alto riesgo de falla

Nota: Esta tabla muestra el Índice de Prioridad de Riesgo (IPR) para los equipos críticos XA98, XB99, XC100 y XD101

Figura 14.

Análisis del índice de prioridad de riesgo



Nota: Esta figura muestra un gráfico de barras que representa el Índice de Prioridad de Riesgo (IPR) para cada uno de los equipos críticos enumerados.

OBJETIVO ESPECÍFICO 2: Elaborar un plan de mantenimiento preventivo a fin de lograr el incremento de disponibilidad de las máquinas en plantas de xantatos en la empresa Reactivos Nacionales SA.

El siguiente es un listado de actividades a realizar en un plan de mantenimiento preventivo. Este plan incluye inspecciones y mantenimientos programados en intervalos regulares, que van desde mensuales (M1), trimestrales (M3), semestrales (M6) hasta anuales (M12), así como actividades en periodos mayores a un año especificados como mantenimientos generales (MG). Las actividades cubren una amplia gama de elementos,

desde inspecciones ambientales hasta tareas de mantenimiento detalladas en equipos específicos, como reactores, agitadores, motores de agitadores, bombas y líneas de enfriamiento y recirculación. El objetivo principal es garantizar la operatividad, seguridad y eficiencia de los equipos y procesos involucrados.

Figura 15.

Plan de mantenimiento preventivo de reactor y acondicionador

PLAN DE MANTENIMIENTO PLANIFICADO UNIDAD OPERATIVA: PLANTA DE XANTATOS EQUIPO Y MAQUINARIA : REACTORES Y ACONDICIONADORES		P-MPP261.1 v1.0 enero, 2023				
El Plan de Mantenimiento Preventivo Planificado garantizará la operatividad y la confiabilidad del: proceso, equipo, maquinaria e infraestructura. Este plan ha sido concebido bajo un mantenimiento periódico y que está conformado en mantenimientos del tipo mensual (M1), mantenimiento trimestral (M3), mantenimiento semestral (M6), mantenimiento anual (M12) y en otros periodos (MG). Se ha determinado que el plan de mantenimiento para el proceso, equipo, maquinaria e infraestructura es el siguiente:						
N°	ACTIVIDADES	M1	M3	M6	M12	MG
1	Inspeccionar las condiciones ambientales en las que se encuentra el equipo.		X	X	X	X
2	Realizar el bloqueo del equipo conjuntamente con el dueño del proceso.		X	X	X	X
3	Medición de gases para trabajos en espacios confinados		X	X	X	X
4	Inspección y/o mantenimiento del REACTOR (estructura y recubrimiento epóxico)				X	
5	Inspección y/o mantenimiento del AGITADOR DE REACTOR (estructura de agitador, acoplamiento bridado reductor - agitador, ajuste de pernos de uniones bridadas, canales chaveteros y chaveta)				X	
6	Cambio de chumacera de pared NTN F315, ajuste y/o cambio de estoperos del AGITADOR DE REACTOR				X	
7	Inspección y/o mantenimiento del REDUCTOR DE VELOCIDAD DEL AGITADOR DEL REACTOR (vibración, temperatura, ruido, fugas de aceite por empaques y funcionamiento de la bomba de aceite)		X	X	X	x48
8	Cambio de aceite del REDUCTOR DE VELOCIDAD SUMITOMO DEL AGITADOR DEL REACTOR				X	
9	Inspección y mantenimiento del MOTOR ELECTRICO DEL REDUCTOR DE VELOCIDAD REACTOR				X	
10	Inspección y mantenimiento de LINEAS DE ENFRIAMIENTO DEL REACTOR (piernas de enfriamiento)				X	
11	Inspección y/o cambio de EJE GUIA CON BOCINA DE BRONCE Y ASIEN TO DEL EJE GUIA DEL REACTOR			X	X	
12	Revisión y limpieza de TERMOMETROS BIMETÁLICOS				X	
13	Inspección y/o mantenimiento de BOMBA DE RECIRCULACIÓN DEL REACTOR (vibración, temperatura, ruido, inspección de acoplamiento, cambio de empaquetaduras de succión y		X	X	X	
14	Inspección y/o mantenimiento de TUBERÍAS DE LA BOMBA DE RECIRCULACIÓN REACTOR (empaquetaduras y pernos)		X	X	X	
15	Inspección y mantenimiento del MOTOR ELECTRICO DE BOMBA DE RECIRCULACIÓN REACTOR				X	
16	Inspección y mantenimiento de VARIADOR FRECUENCIA DEL REDUCTOR DE VELOCIDAD REACTOR			X	X	
17	Inspección, mantenimiento y ajuste de CONTROLADOR DE TEMPERATURA N° 1 (REACTOR)			X	X	
18	Inspección, mantenimiento y ajuste de CONTROLADOR DE TEMPERATURA N° 2 (REACTOR)			X	X	
19	Inspección y mantenimiento de 02 CAJAS BOTONERAS DE ARRANQUE Y PARADA A PRUEBA DE EXPLOSIÓN BOMBA DE RECIRCULACIÓN DE REACTOR			X	X	
20	Inspección y mantenimiento de CAJA BOTONERA A PRUEBA DE EXPLOSIÓN DE ARRANQUE, PARADA Y CAMBIO DE VELOCIDADES DEL AGITADOR DE REACTOR			X	X	
21	Inspección y mantenimiento de VÁLVULA DE 4" PULGADAS			X	X	
22	Lavado de CHAQUETAS DEL REACTOR				X	
23	Limpieza y lubricación de BOMBAS EN STAND BY (solo aplica a las bombas en stand by)			X	X	
24	Inspección de GUARDAS DE SEGURIDAD		X	X	X	
25	Asegurar el orden y limpieza culminadas las actividades de mantenimiento		X	X	X	X
26	Realizar pruebas de seguridad eléctrica.		X	X	X	X
27	Verificar parámetros de operación durante el funcionamiento norma y hacer entrega al dueño del proceso		X	X	X	X

RECOMENDACIONES:

- Complementar la ejecución del mantenimiento con el manual del fabricante, si es que este se encuentra disponible .
- Durante el mantenimiento, usar las mejores prácticas teniendo en cuenta la seguridad del trabajador y la afectación al medio ambiente.

APLICA:
 Toda ejecución del mantenimiento preventivo planificado con equipos y maquinarias energizadas, debe aplicar:

PRUEBAS DE SEGURIDAD ELÉCTRICA Y MECÁNICA	
N°	PASOS DE MEDICIÓN
1	Resistencia de aislamiento entre conductores
2	Resistencia de Tierra
3	Corriente en OPERACIÓN del motor agitador
5	Corriente en OPERACIÓN del motor de la bomba de recirculación
6	Verificar la correcta instalación de las guardas de las bombas

ELABORADO POR: RENZO PAREDES / JAIME SALDAÑA FIRMA: _____

REVISADO POR: _____ FIRMA: _____

APROBADO POR: FREDY CASTILLEJO FIRMA: _____

FECHA DE APROBACIÓN: 23/01/2023

Nota: La Figura 15 muestra un plan de mantenimiento preventivo para equipos de reactor y acondicionadores.

Se presenta una lista de los principales repuestos utilizados en un proceso de mantenimiento. Esta lista incluye detalles sobre la cantidad, la marca y el modelo de los repuestos, junto con observaciones relacionadas. Además, se registran observaciones generales sobre el mantenimiento realizado. Se proporcionan campos para ingresar la fecha

y la hora de inicio y finalización del trabajo de mantenimiento, así como los nombres y firmas de las personas que realizaron, supervisaron y recibieron el trabajo.

Figura 16.

Formato de lista de repuestos para mantenimiento preventivos

REPUESTOS PRINCIPALES UTILIZADOS			
ÍTEM	UNIDADES	DESCRIPCIÓN (MARCA Y MODELO)	OBSERVACIONES

OBSERVACIONES EN EL MANTENIMIENTO:

- 1 _____
- 2 _____
- 3 _____
- 4 _____
- 5 _____

FECHA DE INICIO: HORA DE INICIO:

FECHA DE CIERRE: HORA DE CIERRE:

TRABAJO DE MANTENIMIENTO REALIZADO POR:

NOMBRE: FIRMA:

TRABAJO DE SUPERVISADO POR:

NOMBRE: FIRMA:

TRABAJO DE RECIBIDO POR:

NOMBRE: FIRMA:

Nota: La Figura 16 muestra un registro detallado de todos los repuestos utilizados en las operaciones de mantenimiento preventivo.

A continuación, se presenta un programa de mantenimiento para el año 2023,2024 y 2025 que se enfoca en la maquinaria utilizada en los reactores y acondicionadores de la unidad operativa ubicada en la planta de Xantatos. El objetivo de este programa es programar

tareas de mantenimiento preventivo de manera periódica a lo largo del año, para evitar fallas inesperadas, maximizar la vida útil de los equipos y garantizar la seguridad en el lugar de trabajo. El programa está organizado en función a los meses (enero a diciembre) y se detalla por tipo de maquinaria (reactores y acondicionadores) y por unidades específicas dentro de cada tipo de maquinaria.

Figura 17.

Programa de mantenimiento

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO 2023 - 2025													P-MPP261																																								
TIPO DE MAQUINARIA: REACTORES Y ACONDICIONADORES																																																					
UNIDAD OPERATIVA: PLANTA DE XANTATOS																																																					
UBICACIÓN: PLANTA DE XANTATOS																																																					
COD-M	MAQUINARIA	ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO				JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE							
		S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4								
	REACTOR XA																																																				
	REACTOR XB																																																				
	REACTOR XC																																																				
	REACTOR XD																																																				
	ACONDICIONADOR XA																																																				
	ACONDICIONADOR XB																																																				
	ACONDICIONADOR XC																																																				
	ACONDICIONADOR XD																																																				

		2024																																																							
COD-M	MAQUINARIA	ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO				JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE											
		S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4												
	REACTOR XA																																																								
	REACTOR XB																																																								
	REACTOR XC																																																								
	REACTOR XD																																																								
	ACONDICIONADOR XA																																																								
	ACONDICIONADOR XB																																																								
	ACONDICIONADOR XC																																																								
	ACONDICIONADOR XD																																																								

		2025																																																							
COD-M	MAQUINARIA	ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO				JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE											
		S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4												
	REACTOR XA																																																								
	REACTOR XB																																																								
	REACTOR XC																																																								
	REACTOR XD																																																								
	ACONDICIONADOR XA																																																								
	ACONDICIONADOR XB																																																								
	ACONDICIONADOR XC																																																								
	ACONDICIONADOR XD																																																								

ELABORADO POR:			
Jefe de Mantenimiento	RENZO PAREDES		Fecha de Aprobación
Asistente de Mantenimiento	JAIME SALDAÑA		Versión
			23/01/2023
APROBADO POR			v1.0
G. Operaciones	FREDDY CASTILLEJO		

Nota: La Figura 17 representa un programa de mantenimiento planificado para varios equipos, incluyendo reactores y acondicionadores

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El propósito principal del trabajo de suficiencia profesional, basado en la experiencia del investigador dentro de la organización, fue la implementación del mantenimiento preventivo con el fin de mejorar la disponibilidad de las máquinas en las instalaciones de producción de xantatos de Reactivos Nacionales SA. Como resultado de esta iniciativa, se pudo constatar un impacto altamente positivo y significativo, este efecto se tradujo en un marcado aumento del 8.07% en la disponibilidad de los equipos, que pasó de un 89.92% a un 97.99%. Este logro subraya la importancia de una estrategia de mantenimiento preventivo bien ejecutada, resaltando la relación directa entre el mantenimiento eficiente y la mejora en la eficiencia operativa de una organización.

El primer objetivo específico de este proyecto es de suma importancia, ya que se centra en identificar y comprender las fallas críticas y las máquinas clave que están teniendo un impacto significativo en la disponibilidad de las máquinas en las plantas de xantatos de Reactivos Nacionales SA. Los resultados obtenidos hasta el momento han proporcionado información esencial al destacar que los tipos de defectos XA98, XB99, XC100 y XD101 son los principales contribuyentes a tiempos de parada prolongados y a la necesidad de extensos períodos de mantenimiento. Esta revelación es un punto de partida crucial para implementar mejoras en la eficiencia operativa de la empresa. La experiencia resalta la importancia de un análisis detallado y estratégico para una gestión de mantenimiento efectiva, demostrando cómo un enfoque basado en datos puede conducir a mejoras significativas en la disponibilidad y eficiencia de las máquinas.

Finalmente, el segundo objetivo específico, elaborar un plan de mantenimiento preventivo a fin de lograr el incremento de disponibilidad de las máquinas en plantas de

xantatos en la empresa Reactivos Nacionales SA, se logró desarrollar un plan que abarca la programación de inspecciones y mantenimientos regulares que se realizan en intervalos que varían desde mensuales hasta anuales, además de contemplar actividades de mantenimiento en periodos mayores a un año denominados mantenimientos generales (MG) X48, cada 48 meses, así también, se ha establecido un cronograma periódico en base a experiencia técnica para llevar a cabo estas actividades. La experiencia recalca cómo una estrategia integral y adaptativa en el mantenimiento, que considera la periodicidad y las necesidades específicas de las máquinas, es crucial para mejorar la disponibilidad y eficiencia operativa, destacando la relevancia de la experiencia técnica y la visión de mejora continua en la gestión de mantenimiento.

Recomendaciones

Se sugiere encarecidamente a la alta dirección de la empresa mantener una vigilancia constante y efectiva, a pesar del notable avance en la mejora de la disponibilidad de los equipos. Es crucial que continúen monitoreando de manera regular los indicadores clave de rendimiento, además de llevar a cabo evaluaciones periódicas. Esta práctica facilitará la detección temprana de cualquier posible disminución en el desempeño y permitirá la implementación oportuna de acciones correctivas.

Por otro lado, se recomienda enfáticamente al área responsable del mantenimiento preventivo que establezca un sistema de monitoreo continuo con el propósito de evaluar la eficacia de las iniciativas ya implementadas. Este sistema garantizará que las mejoras en la disponibilidad de las máquinas se mantengan de manera sostenible a lo largo del tiempo, evitando retrocesos y asegurando un rendimiento óptimo de los equipos.

En último término, es altamente aconsejable llevar a cabo revisiones periódicas de los intervalos de mantenimiento previamente programados. A medida que se acumule más

información y experiencia, existe la posibilidad de ajustar de manera precisa la frecuencia de las inspecciones y el mantenimiento, con el fin de minimizar al máximo los periodos de inactividad y, en consecuencia, los costos asociados. Este enfoque de optimización continua puede conducir a una gestión más eficiente de los recursos y a un mayor rendimiento general de la empresa.

REFERENCIAS

- Campos, M., Campos, E., & López, J. (2022). *Oposiciones Cuerpo de Profesores de Enseñanza Secundaria. Informática. Vol. III. Bases de Datos avanzadas e Ingeniería del Software: Vol. Tercer Volumen*. RA-MA S.A. Editorial y Publicaciones.
https://www.google.com.pe/books/edition/Oposiciones_Cuerpo_de_Profesores_de_Ense/3VW6EAAAQBAJ?hl=es&gbpv=1
- Carrillo, R. (2018). *Montaje y mantenimiento de líneas automatizadas* (Primera edición). Ediciones Paraninfo, S.A.
https://www.google.com.pe/books/edition/Montaje_y_mantenimiento_de_l%C3%ADneas_autom/YoNZDwAAQBAJ?hl=es&gbpv=1
- Chávez, B., & Robles, J. (2021) *Plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de los equipos hidráulicos en la flota de una empresa pesquera, lima 2021*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional del Callao]
https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/6376/TESIS_PREG_RADO_CHAVEZ_ROBLES_FIME_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Huillca, R., & Jeri, R. (2020) *Plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de los equipos de aire acondicionado, en una empresa metalúrgica, Lima-Perú, 2020*. [Tesis de Licenciatura, Universidad César Vallejo]
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/64664/Huillca_PRY-Jeri_GR-SD.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Luque, F. (2022). *Máquinas, herramientas y materiales de procesos básicos de fabricación* (Segunda edición). IC Editorial.
https://www.google.com.pe/books/edition/M%C3%A1quinas_herramientas_y_mat

[eriales_de_p/KvWbEAAAQBAJ?hl=es&gbpv=1&dq=plan+de+mantenimiento+pr
eventivo+maquinas&pg=PT215&printsec=frontcover](https://www.google.com/search?q=plan+de+mantenimiento+preventivo+maquinas&pg=PT215&printsec=frontcover)

Quispe, S. (2022) *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad de los equipos del taller de servicios oleo hidráulicos de la empresa Bullón Hidráulica S.A.C. – Lima*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional del Callao] <https://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/7054>

Ruiz, D. (2022). *Mantenimiento preventivo de instalaciones de climatización y ventilación-extracción* (Segunda edición). IC Editorial.
[https://www.google.com.pe/books/edition/Mantenimiento_preventivo_de_instalaci
one/qqpcEAAAQBAJ?hl=es&gbpv=1](https://www.google.com.pe/books/edition/Mantenimiento_preventivo_de_instalacione/qqpcEAAAQBAJ?hl=es&gbpv=1)

Hernandez Cotrina, J., & Serrano Bringas, J. (2022). *Mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad de maquinaria en el Molino Galan EIRL, Guadalupe, 2021*. [Tesis de Licenciatura, Universidad César Vallejo].
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/54353>

Basaldua, A., & Abraham, J. (2022). *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo con la metodología rcm para incrementar la disponibilidad de las máquinas en línea de envasado latas en una empresa cervecera - Lima*. [Tesis de Licenciatura, Universidad César Vallejo].
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/95697>

Vigo Roque, J. (2020). *Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de las máquinas de una empresa metalmecánica del sector industrial*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Privada del Norte].
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/24777>

Mago-Ramos, M., & Rocha-Pachón, S. (2021). *Diseño e implementación del plan de mantenimiento preventivo de los equipos de la empresa Granitos y Mármoles Acabados SAS*. *Ciencia y Poder Aéreo*, 16(2), 98-111.
<https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.703>

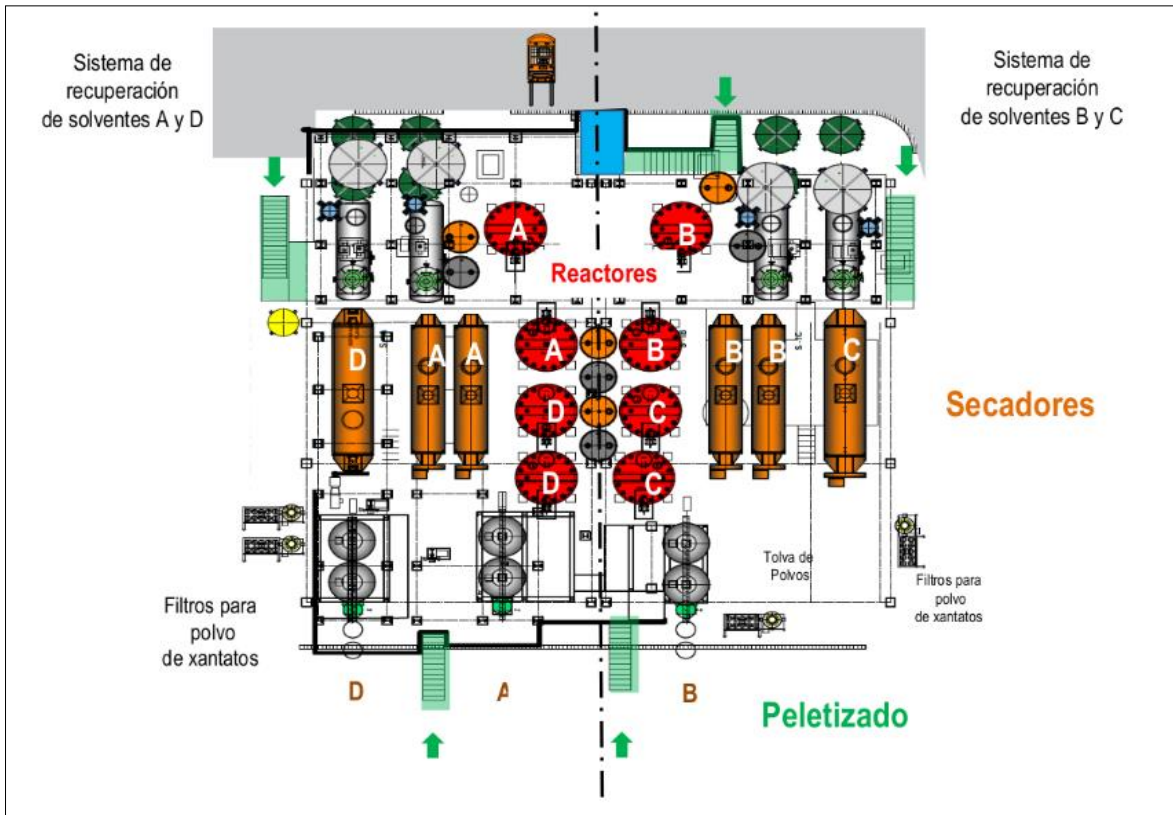
Pillado Portillo, M., Castillo Pérez, V., & De la Riva Rodríguez, J. (2022). *Metodología de administración para el mantenimiento preventivo como base de la confiabilidad de las máquinas*. *RIDE revista iberoamericana para la investigación y el desarrollo educativo*, 12(24). <https://doi.org/10.23913/ride.v12i24.1218>

ANEXOS

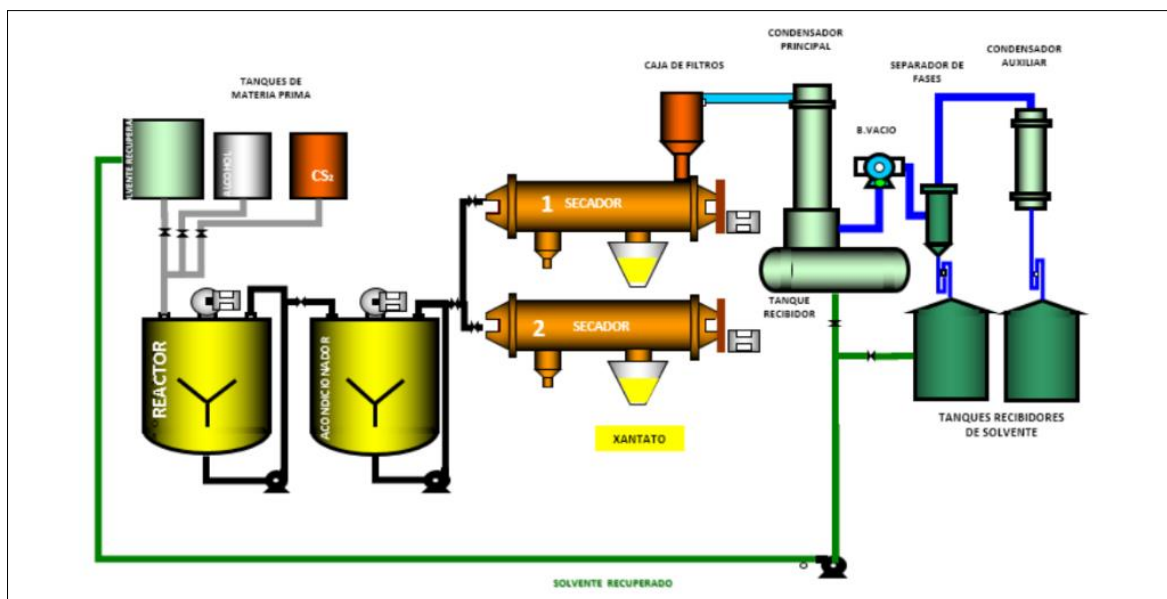
Anexo N°1. Cuadro de operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Variable independiente: Mantenimiento preventivo	El mantenimiento preventivo es una estrategia clave en la gestión de activos y maquinaria, que implica llevar a cabo inspecciones, evaluaciones y tareas de mantenimiento programadas de forma regular en equipos y dispositivos (Arroyo y Obando, 2022).	Busca identificar y abordar posibles problemas antes de que se conviertan en fallas graves, lo que ayuda a reducir costos y tiempos de inactividad no planificados.	Análisis del modo y efectos de fallos (AMEF)	Número de prioridad de riesgos (NPR)	Nominal
			Prioridad de riesgo	Valor de riesgo (IPR)	
Variable dependiente: Disponibilidad de equipo	Es una medida fundamental en la gestión de mantenimiento que analiza el tiempo en el que un equipo, sistema o recurso puede operar y realizar su tarea prevista (Zegarra, 2016).	La disponibilidad de equipo se refiere a la capacidad de un equipo, sistema o recurso para funcionar de manera efectiva y cumplir su función durante un período de tiempo determinado.	Tiempo medio entre fallas	$MTBF = \frac{\text{Número de horas operación}}{\text{Número de fallas}}$	Razón
			Tiempo medio para reparación	$MTTR = \frac{\text{Número de horas de paradas}}{\text{Número de fallas}}$	
			Disponibilidad	$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$	

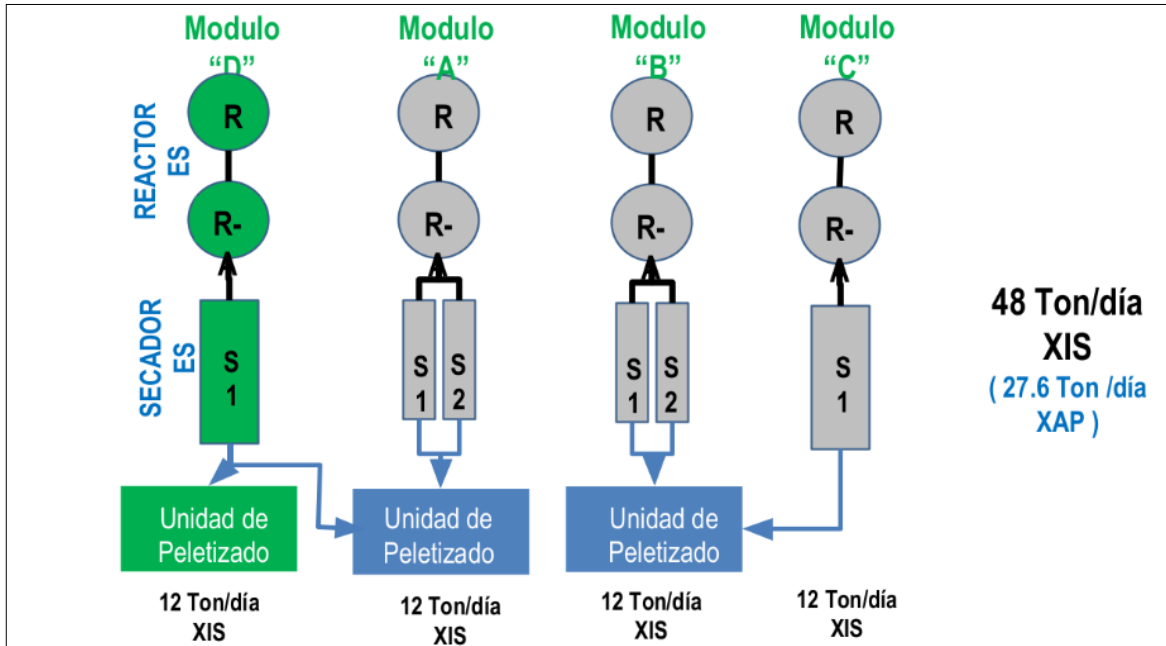
Anexo N°2. Layout de planta de xantatos



Anexo N°3. Representación gráfica de la ubicación de los activos dentro del entorno de producción (procesos).



Anexo N°4. Representación gráfica de los módulos de los reactores



Anexo N°5. Formato de reporte de mantenimiento preventivo de reactores y acondicionadores

	REPORTE DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PLANIFICADO		Código: v1.0
	N°		enero, 2023

1. Datos Generales

Área / Oficina	Mantenimiento	F.Emisión	8/03/2023	Horometro	
Planta / Módulo	P. Xantatos	Tipo de mto	M6	F.Fin	
Sistema /	Reactor modulo A	F.Inicio		Hora Fin	
Máquina		Hora Inicio		MPP	OT-MPP261.1
Equipo / Código		T.estim.méc		T.estim.elec	

2. Actividades de MPP

N°	ACTIVIDADES	M1	M3	M6	M12	MG
1	Inspeccionar las condiciones ambientales en las que se encuentra el equipo.		X	X	X	X
2	Realizar el bloqueo del equipo conjuntamente con el dueño del proceso.		X	X	X	X
3	Medición de gases para trabajos en espacios confinados		X	X	X	X
4	Inspección y/o mantenimiento del REACTOR (estructura y recubrimiento epóxico)				X	
5	Inspección y/o mantenimiento del AGITADOR DE REACTOR (estructura de agitador, acoplamiento bridado reductor - agitador, ajuste de pernos de uniones bridadas, canales chaveteros y chaveta)				X	
6	Cambio de chumacera de pared NTN F315, ajuste y/o cambio de estoperos del AGITADOR DE REACTOR				X	
7	Inspección y/o mantenimiento del REDUCTOR DE VELOCIDAD DEL AGITADOR DEL REACTOR (vibración, temperatura, ruido, fugas de aceite por empaques y funcionamiento de la bomba de aceite)		X	X	X	x48
8	Cambio de aceite del REDUCTOR DE VELOCIDAD SUMITOMO DEL AGITADOR DEL REACTOR				X	
9	Inspección y mantenimiento del MOTOR ELECTRICO DEL REDUCTOR DE VELOCIDAD REACTOR				X	
10	Inspección y mantenimiento de LÍNEAS DE ENFRIAMIENTO DEL REACTOR (piemas de enfriamiento)				X	
11	Inspección y/o cambio de EJE GUÍA CON BOCINA DE BRONCE Y ASIENTO DEL EJE GUÍA DEL REACTOR			X	X	
12	Revisión y limpieza de TERMÓMETROS BIMETÁLICOS				X	
13	Inspección y/o mantenimiento de BOMBA DE RECIRCULACIÓN DEL REACTOR (vibración, temperatura, ruido, inspección de acoplamiento, cambio de empaquetaduras de succión y		X	X	X	
14	Inspección y/o mantenimiento de TUBERÍAS DE LA BOMBA DE RECIRCULACIÓN REACTOR (empaquetaduras y pernos)		X	X	X	
15	Inspección y mantenimiento del MOTOR ELECTRICO DE BOMBA DE RECIRCULACION REACTOR				X	
16	Inspección y mantenimiento de VARIADOR FRECUENCIA DEL REDUCTOR DE VELOCIDAD			X	X	
17	Inspección, mantenimiento y ajuste de CONTROLADOR DE TEMPERATURA N° 1 (REACTOR)			X	X	
18	Inspección, mantenimiento y ajuste de CONTROLADOR DE TEMPERATURA N° 2 (REACTOR)			X	X	
19	Inspección y mantenimiento de 02 CAJAS BOTONERAS DE ARRAQUE Y PARADA A PRUEBA DE EXPLOSIÓN BOMBA DE RECIRCULACIÓN DE REACTOR			X	X	
20	Inspección y mantenimiento de CAJA BOTONERA A PRUEBA DE EXPLOSIÓN DE ARRANQUE, PARADA Y CAMBIO DE VELOCIDADES DEL AGITADOR DE REACTOR			X	X	
21	Inspección y mantenimiento de VÁLVULA DE 4" PULGADAS			X	X	
22	Lavado de CHAQUETAS DEL REACTOR				X	
23	Limpieza y lubricación de BOMBAS EN STAND BY (solo aplica a las bombas en stand by)			X	X	
24	Inspección de GUARDAS DE SEGURIDAD		X	X	X	
25	Asegurar el orden y limpieza culminadas las actividades de mantenimiento		X	X	X	X
26	Realizar pruebas de seguridad eléctrica.		X	X	X	X
27	Verificar parámetros de operación durante el funcionamiento norma y hacer entrega al dueño del proceso		X	X	X	X

Anexo N°6. Reverso de reporte de mantenimiento

RECOMENDACIONES:

1. Complementar la ejecución del mantenimiento con el manual del fabricante, si es que este se encuentra disponible .
2. Durante el mantenimiento, usar las mejores prácticas teniendo en cuenta la seguridad del trabajador y la afectación al medio ambiente.

3. Responsables del mantenimiento

Especialistas (mecánico, eléctrico, electrónico, otros)	Firmas

4. Observaciones y Recomendaciones

Observaciones encontradas en las actividades de mantenimiento mecánico y eléctrico

Recomendaciones

5. Parametros de Funcionamiento del equipo, maquinaria o proceso

	Maq 1	Maq 2	Maq 3	Maq 4
Resistencia de aislamiento entre conductores				
Corriente Nominal				
Corriente en Vacío				
Corriente de operación				
Verificar la correcta instalación de las guardas				

6. Información complementaria

REPUESTOS E INSUMOS PRINCIPALES			
Código	Cantidad	Und	Descripción

SERVICIOS CONTRATADOS	
N°OC	Descripción

7. Conformidad del servicio

Hora y fecha de entrega del equipo

Responsable del mantenimiento

Jefe de mantenimiento

Dueño del proceso