

Maintenance management based on reliability in drinking water treatment plants.

Gestión de mantenimiento basado en la confiabilidad en plantas de tratamiento agua potable.

Autores:

Litardo-Velásquez, Jorge Luis
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Estudiante de la maestría en Mantenimiento Industrial
Mención Gestión Eficiente del Mantenimiento
Portoviejo – Ecuador



jlitardo6205@utm.edu.ec



<https://orcid.org/0009-0006-2998-7680>

Gorozabel-Chata, Francis Benjamín
UNIVERSIDAD TECNICA DE MANABI
Docente del Departamento de Mecánica
Facultad Ingeniería y Ciencias Aplicadas
Portoviejo, Ecuador



francis.gorozabel@utm.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0003-1092-3346>

Fechas de recepción: 28-FEB-2025 aceptación: 31-MAR-2025 publicación: 31-MAR-2025



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>

<http://mqrinvestigar.com/>



Resumen

La investigación busca mejorar la gestión de mantenimiento en la planta de tratamiento de agua potable EPAPAR en el cantón Rocafuerte, Ecuador. Se desarrolló una propuesta que evaluó las condiciones operativas y de mantenimiento, identificando las causas principales de fallas y analizando la criticidad y confiabilidad de los componentes. Se descubrió que el 50% de las fallas ocurren en las bombas de captación, afectando seriamente la continuidad del servicio. El análisis de criticidad reveló que estas bombas tienen el mayor impacto operativo, con una confiabilidad del 45%. La propuesta incluye implementar un sistema de gestión de mantenimiento basado en la confiabilidad, utilizando técnicas preventivas y predictivas para mejorar el funcionamiento y la disponibilidad de los equipos. Además, se propone establecer un plan estructurado de mantenimiento preventivo, capacitar al personal técnico, y optimizar los recursos y procesos operativos. Estos resultados subrayan la importancia de estas estrategias para asegurar la sostenibilidad y confiabilidad de los sistemas, garantizando un suministro continuo y de calidad para la población.

Palabras clave: mantenimiento basado en la confiabilidad; tratamiento de agua; bombas; capacitación técnica; sostenibilidad



Abstract

This research seeks to improve maintenance management at the EPAPAR drinking water treatment plant in Rocafuerte, Ecuador. A proposal was developed that evaluated operating and maintenance conditions, identifying the main causes of failures and analyzing the criticality and reliability of components. It was found that 50% of failures occur in the intake pumps, seriously affecting service continuity. The criticality analysis revealed that these pumps have the greatest operational impact, with a reliability of 45%. The proposal includes implementing a reliability-based maintenance management system, using preventive and predictive techniques to improve equipment operation and availability. Additionally, it proposes establishing a structured preventive maintenance plan, training technical personnel, and optimizing operational resources and processes. These results underscore the importance of these strategies in ensuring the sustainability and reliability of the systems, guaranteeing a continuous, quality water supply for the population.

Keywords: reliability-centered maintenance; water treatment, pumps; technical training; sustainability

Introducción

El agua potable es uno de los recursos más esenciales para la vida humana, y su tratamiento adecuado es crucial para garantizar la salud de las personas. En este sentido, las plantas de tratamiento de agua desempeñan un papel fundamental al purificar el agua para hacerla segura para el consumo humano. Sin embargo, para que estas instalaciones operen de manera eficiente y sin interrupciones, es necesario implementar sistemas de mantenimiento efectivos que aseguren la disponibilidad continua de los equipos y sistemas críticos. En muchos países, incluido Ecuador, la gestión del mantenimiento en las plantas de tratamiento de agua enfrenta desafíos significativos, como la obsolescencia de los equipos, la falta de recursos financieros, y la escasez de personal capacitado. Esta situación ha llevado a un aumento de los costos operativos y a una disminución de la confiabilidad de las infraestructuras, lo que pone en riesgo la continuidad del servicio y, en última instancia, la salud pública (González y Pérez, 2020).

En este contexto, el mantenimiento industrial se presenta como una estrategia vital para asegurar que los equipos y sistemas de las plantas de tratamiento operen de manera óptima. El mantenimiento preventivo y predictivo, en particular, se ha demostrado como una metodología eficaz para reducir los costos operativos y prolongar la vida útil de los equipos. Según Fernández (2020), las empresas que implementan un mantenimiento adecuado logran no solo reducir los tiempos de inactividad, sino también mejorar la eficiencia de sus operaciones. Sin embargo, a pesar de los beneficios conocidos, muchas plantas en Ecuador y América Latina en general no cuentan con estrategias de mantenimiento adecuadas, lo que genera altos costos de reparación, fallos imprevistos y, en ocasiones, la interrupción del servicio de agua.

El mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) y el mantenimiento productivo total (TPM) son dos enfoques que se han adoptado globalmente para mejorar la gestión del mantenimiento en diversos sectores industriales, incluido el tratamiento de agua. El RCM, desarrollado inicialmente en la industria



Aeronáutica, se enfoca en la identificación de las acciones necesarias para asegurar que los activos continúen funcionando de acuerdo con los requisitos operativos y de seguridad. En el caso de las plantas de tratamiento de agua, el RCM permite establecer un enfoque preventivo y predictivo para los equipos clave, garantizando que operen de manera confiable y eficiente (Navarro, 2021). Por otro lado, el TPM, una filosofía japonesa, busca involucrar a toda la organización en la mejora continua del mantenimiento, eliminando las principales pérdidas relacionadas con las averías y el mal rendimiento de los equipos (Mendoza et al., 2021).

En Ecuador, a pesar de la creciente demanda de agua potable y la necesidad urgente de optimizar el funcionamiento de las plantas de tratamiento, muchas de estas no implementan metodologías avanzadas de mantenimiento debido a la falta de recursos, capacitación y tecnologías apropiadas. Esto no solo incrementa los costos operativos, sino que también pone en peligro la calidad del agua y la salud de la población. Según Pérez et al. (2021), la adopción de enfoques como el RCM y el TPM podría transformar el panorama del mantenimiento en las plantas de tratamiento de agua, mejorando la eficiencia operativa y la sostenibilidad de las infraestructuras.

Este trabajo se centra en la propuesta de un sistema de gestión de mantenimiento basado en la confiabilidad para la planta de tratamiento de agua potable en Rocafuerte. La implementación de este sistema no solo tiene el potencial de mejorar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, sino también de reducir los costos de mantenimiento y optimizar los recursos. El objetivo principal de este estudio es evaluar las condiciones actuales de la planta de tratamiento, identificar las principales deficiencias en sus sistemas de mantenimiento y proponer un modelo basado en el RCM que permita mejorar su rendimiento a largo plazo.

Material y métodos

Materiales

En este contexto, la implementación de estrategias de mantenimiento basadas en la confiabilidad (RCM) y el mantenimiento preventivo resulta crucial para mejorar la



operatividad de las plantas de tratamiento de agua. Estas metodologías no solo se enfocan en reparar los equipos cuando fallan, sino que buscan prevenir fallos mediante la planificación y la monitorización continua del estado de los activos. La adopción del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) y el Mantenimiento Productivo Total (TPM) en el ámbito del tratamiento de agua ha demostrado ser efectiva en diversas industrias para reducir los costos de mantenimiento, mejorar la vida útil de los equipos y asegurar la continuidad de los servicios (Navarro, 2021).

La metodología empleada en este estudio, basada en el enfoque de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), tiene como objetivo proporcionar un marco estructurado para optimizar las estrategias de mantenimiento en las plantas de tratamiento de agua potable. El RCM es una metodología ampliamente utilizada en diversas industrias debido a su capacidad para identificar los activos más críticos y asignarles las acciones necesarias para garantizar su operatividad continua (Navarro, 2021).

En este sentido, la justificación metodológica se fundamenta en la capacidad del RCM para desarrollar planes de mantenimiento basados en la criticidad de los equipos, lo que permite una gestión más eficiente de los recursos y una mayor confiabilidad de las instalaciones. La metodología también incorpora el análisis de modos de falla, lo que facilita la identificación de riesgos antes de que se conviertan en problemas mayores, reduciendo así el impacto económico y operativo de las fallas no planeadas (González y Hernández, 2021).

A través de esta metodología, se busca proporcionar una herramienta efectiva para la toma de decisiones y la mejora continua en las plantas de tratamiento de agua, contribuyendo a la actualización y adaptación de las prácticas de mantenimiento en el país.

Entre los instrumentos que se utilizaron durante la investigación de este trabajo de titulación tenemos:

Técnicas de recolección de datos

- **Observación.** Se consideraron para poder visualizar, todo el recorrido del proceso de tratamiento de agua desde la captación, hasta su potabilización, con el propósito de determinar la problemática.
- **Entrevista.** Se la utilizo como una necesidad específica de interacción, entre el investigador y el jefe de mantenimiento, teniendo como propósito recolectar información.



- **Análisis de documentos.** Para la ejecución de esta investigación, se recopilaron y analizaron documentos vinculados a la generación y desenvolvimiento de las maquinarias y equipos

Instrumentos de recolección de datos

- **Ficha de observación.** Es el registro abierto, donde se anotarán los puntos considerables, desde el inicio hasta el término de la producción, para el diagnóstico de la situación actual.
- **Guía de Cuestionario.** Es el formado se encontrarán 5 preguntas abiertas, la cual permitirán al investigador y al jefe de mantenimiento, con el fin de obtener información.
- **Hoja de datos.** Consiste en un análisis profundo, de los documentos, que permitirán un análisis, de los procedimientos de la empresa.

Método

Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM)

El Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (Reliability-Centered Maintenance, RCM) es una metodología de gestión del mantenimiento desarrollada inicialmente en la industria aeronáutica en la década de 1960. Fue concebida para garantizar la seguridad de los vuelos mediante el análisis sistemático de fallos potenciales en sistemas complejos.

Según Moubray (2020), el RCM busca determinar qué tipo de mantenimiento es más adecuado para garantizar la funcionalidad de los activos y reducir las probabilidades de falla.

El RCM no solo se aplica a industrias críticas como la aviación o la energía nuclear, sino también a plantas de tratamiento de agua potable debido a su necesidad de mantener operaciones confiables y continuas. Este enfoque es especialmente relevante en sistemas que requieren alta disponibilidad, como las plantas que suministran agua potable a comunidades enteras.

Principios Fundamentales del RCM

El RCM se basa en los siguientes principios clave:

1. **Identificación de las funciones principales de un activo:** Se determinan las tareas específicas que los equipos deben cumplir para garantizar la operación efectiva del sistema.
2. **Análisis de los modos y efectos de falla (FMEA):** Se evalúan las posibles formas en que un activo puede fallar y las consecuencias de dichas fallas.
3. **Definición de estrategias de mantenimiento óptimos:** Se seleccionan métodos de mantenimiento preventivo, predictivo o correctivo en función de la criticidad de los equipos.
4. **Enfoque en la confiabilidad y seguridad:** Se prioriza la prevención de fallas que puedan comprometer la seguridad de las operaciones o causar interrupciones críticas.



Componentes del RCM

El RCM integra diversos elementos técnicos y metodológicos:

- **Evaluación de Criticidad:** Clasificación de los activos según su impacto en el sistema general.
- **Planificación de Mantenimiento Preventivo:** Establecimiento de cronogramas para inspecciones y reparaciones periódicas.
- **Monitoreo de Condiciones:** Uso de tecnologías avanzadas para evaluar el estado de los activos en tiempo real, como sensores para análisis de vibraciones y temperatura.
- **Capacitación del Personal:** Formación continua de los operadores para garantizar la correcta implementación del plan de mantenimiento.

Tabla 1

Comparación entre RCM y TPM

Aspecto	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)	Mantenimiento Productivo Total (TPM)
Enfoque Principal	Identificar y priorizar las acciones de mantenimiento para garantizar la confiabilidad de los equipos.	Participación de toda la organización para maximizar la eficiencia de los equipos.
Objetivo	Garantizar que los activos funcionen según los requisitos operativos del usuario.	Lograr cero averías, cero defectos y cero accidentes mediante la mejora continua.
Métodos Utilizados	Análisis de modos de falla (FMEA), evaluación de criticidad, estrategias preventivas y predictivas.	Implementación de mantenimiento autónomo, planificado y preventivo.
Participación del Personal	Enfocado principalmente en el equipo técnico de mantenimiento.	Involucra a todo el personal, desde los operarios hasta la alta dirección.
Beneficios Clave	Mayor confiabilidad, reducción de fallas imprevistas, optimización de costos.	Mejora de la productividad, reducción de pérdidas operativas, mayor compromiso del personal.



Ejemplo de Aplicación en Plantas de Agua	Identificación de las bombas críticas y establecimiento de un plan preventivo basado en su criticidad.	Implementación del programa de mantenimiento autónomo para limpieza y revisión diaria.
---	--	--

Fuente: (Navarro, 2022).

Resultados

Este capítulo comprende los resultados de la aplicación de la metodología RCM para la mejora de la gestión del mantenimiento de la planta de tratamiento de agua potable en la empresa EPAPAR a través de la descripción de la metodología RCM y los indicadores de confiabilidad y; de la elaboración del plan de mantenimiento basado en el RCM para los equipos del área de producción de agua potable.

Resultados de las encuestas aplicadas a los trabajadores de la planta de agua

Tabla 2.

Tiempo de trabajo

Tiempo de Experiencia	Frecuencia Absoluta (N)	Porcentaje (%)
Menos de 1 año	3	15
Entre 1 y 3 años	7	35
Entre 4 y 5 años	5	25
Más de 5 años	5	25
Total	20	100

Fuente: Autor de la investigación.

Análisis e Interpretación:

El 60 % del personal encuestado tiene más de tres años de experiencia en el área de mantenimiento, lo que indica que una mayoría del equipo posee conocimientos prácticos significativos. Sin embargo, el 15 % con menos de un año de experiencia representa un desafío para la formación continua en metodologías avanzadas como el mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM).



Tabla 3.

Tipo de mantenimiento realizado en la planta de agua

	Frecuencia Absoluta (N)	Porcentaje (%)
Correctivo	10	50
Preventivo	7	35
Predictivo	3	15
Total	20	100

Fuente: Autor de la investigación.

Análisis e Interpretación:

El 50 % del mantenimiento realizado en la planta de tratamiento de agua del cantón Rocafuerte es de carácter correctivo, lo que refleja una gestión reactiva con altas probabilidades de incurrir en costos elevados y tiempos de inactividad. Solo el 15 % del mantenimiento es predictivo, lo que indica la necesidad urgente de integrar tecnologías avanzadas y metodologías basadas en la confiabilidad.

Tabla 4

Principales equipos con fallas

Equipo Crítico	Frecuencia Absoluta (N)	Porcentaje (%)
Bombas	12	60
Filtros	5	25
Sistemas de purificación	3	15
Total	20	100

Fuente: Autor de la investigación.

Análisis e Interpretación:

Las bombas representan el equipo con mayor incidencia de fallas (60 %), lo que sugiere que estas son componentes críticos en la operación de la planta y requieren atención prioritaria en los planes de mantenimiento. Esto coincide con la observación directa, donde se identificó un desgaste significativo en estos equipos.

Tabla 5

Efectividad del sistema actual de mantenimiento



Calificación	Frecuencia Absoluta (N)	Porcentaje (%)
1 - Muy deficiente	6	30
2 – Deficiente	7	35
3 – Regular	4	20
4 – Bueno	3	15
5 - Excelente	0	0
Total	20	100

Fuente: Autor de la investigación.

Análisis e Interpretación:

El 65 % del personal evaluó la efectividad del sistema de mantenimiento como "deficiente" o "muy deficiente", lo que refleja un consenso sobre la necesidad de mejoras significativas. Solo el 15 % lo calificó como "bueno", mientras que ninguna persona consideró el sistema como "excelente". Esto pone de manifiesto la importancia de implementar estrategias proactivas y predictivas, junto con un sistema estructurado como el RCM, para abordar las deficiencias señaladas.

Resultados de las Entrevistas

Durante las entrevistas con los responsables de operaciones, se identificaron las siguientes problemáticas clave:

Dificultades en la planificación del mantenimiento preventivo: La falta de personal capacitado y recursos tecnológicos dificulta la implementación de un cronograma de mantenimiento eficaz.

- **Alta frecuencia de fallas en bombas:** Los entrevistados confirmaron que las bombas son los equipos más vulnerables, representando aproximadamente el 60 % de las intervenciones.
- **Ausencia de tecnologías avanzadas:** Solo el 20 % de la planta utiliza sensores o sistemas de monitoreo remoto para el análisis predictivo de fallas.

Interpretación:

Los datos cualitativos complementan los resultados de las encuestas, confirmando que la gestión del mantenimiento depende en gran medida de intervenciones reactivas, lo que genera costos elevados y pone en riesgo la continuidad del servicio.

Resultados de la Observación aplicada

Durante las visitas a la planta, se observaron las siguientes condiciones:

Tabla 6

Condiciones de la observación



Aspecto Observado	Resultado
Estado de los equipos críticos	El 70 % de los equipos críticos presentan signos de desgaste.
Uso de tecnologías de monitoreo	Si se utiliza sensores para monitoreo.
Documentación del mantenimiento	No existe un registro actualizado de las intervenciones realizadas.

Fuente: Autor de la investigación.

Interpretación:

La observación directa confirma que los equipos críticos, como las bombas, están expuestos a un desgaste considerable debido a la falta de mantenimiento predictivo y a una documentación insuficiente que dificulta la planificación de las intervenciones.

Tabla 7

Ficha de observación

Equipo	Estado físico	Funcionamiento	Último mantenimiento	Observaciones relevantes
Bombas de captación	3 (Regular)	2 (Deficiente)	01/08/2024	Vibraciones excesivas, desgaste visible en los sellos.
Filtros y cribas	2 (Deficiente)	3 (Regular)	Sin registro	Obstrucciones por sedimentos y restos sólidos.
Medidores de flujo	3 (Regular)	2 (Deficiente)	15/05/2024	Lecturas inexactas; descalibración evidente.
Procedimiento	Ejecución (1-5)	Documentación	Comentarios	



existente

Limpieza de filtros	2 (Deficiente)	No	Se realiza de manera irregular, acumulando sedimentos.
Dosificación de químicos	N/A	N/A	No aplica en esta área.
Monitoreo de indicadores	3 (Regular)	Sí	Falta capacitación para interpretar correctamente los valores.

Fuente: Autor de la investigación.

Análisis general

1. Descripción general del área

Función principal:

El área de captación recolecta agua cruda proveniente de fuentes naturales (río cercano) para iniciar el proceso de tratamiento.

Condiciones ambientales:

- **Temperatura:** 28 °C
- **Humedad:** 75 %
- **Presencia de contaminantes:** Sí (hojas y residuos sólidos cerca de las bombas de captación).

Organización del espacio:

- Disposición de equipos: Parcialmente adecuada. Algunas bombas están mal ubicadas, lo que dificulta su inspección.
- Señalización y accesibilidad: Incompleta. No hay señalización clara para delimitar las áreas de operación y riesgo

Observaciones generales

Principales problemas detectados:

- Vibraciones y desgaste en las bombas de captación, lo que aumenta el riesgo de fallas críticas.
- Falta de un cronograma regular para la limpieza de filtros y cribas, lo que afecta el rendimiento general del área.
- Lecturas inexactas de los medidores de flujo por falta de calibración.

Áreas críticas para intervenir:



- Mantenimiento urgente en las bombas de captación (ajuste de sellos y monitoreo de vibraciones).
- Implementación de un plan de limpieza periódica para filtros y cribas.
- Calibración inmediata de los medidores de flujo.

Recomendaciones iniciales:

- Realizar un mantenimiento correctivo integral en las bombas de captación.
- Establecer un protocolo de limpieza semanal para filtros y cribas.
- Capacitar al personal técnico en el uso e interpretación de los medidores de flujo.

Estado de las Bombas de Captación de Agua (Calificación: 3):

La calificación 3 indica un nivel intermedio de eficacia o estabilidad.

Puede sugerir que las bombas de captación de agua están funcionando adecuadamente, pero podría haber áreas de mejora o aspectos que requieren atención.

Estado de los Filtros y Cribas (Calificación: 3):

Al igual que en el caso de las bombas, la calificación 3 sugiere un nivel intermedio.

Puede indicar que los filtros y cribas están en un estado aceptable, pero podría ser necesario realizar ciertas mejoras o mantenimiento para optimizar su rendimiento.

Rendimiento de los Medidores de Flujo (Calificación: 4):

La calificación 4 sugiere un buen rendimiento en los medidores de flujo.

Indica que estos dispositivos están cumpliendo satisfactoriamente con sus funciones, aunque aún podría haber margen para pequeñas mejoras.

Sistemas de Monitoreo y Control (Calificación: 3):

La calificación 3 señala un nivel intermedio en el cumplimiento de los sistemas de monitoreo y control.

Puede sugerir que estos sistemas están operativos, pero podrían requerir ajustes o actualizaciones para mejorar su eficacia.

Cumplimiento de Normativas de Seguridad (Calificación: 5):

La calificación 5 indica un cumplimiento muy satisfactorio de las normativas de seguridad.

Sugiere que se están tomando las medidas necesarias para garantizar un entorno seguro y cumplir con los estándares establecidos.

Análisis

En general, la evaluación muestra que la mayoría de los elementos se encuentran en



un nivel aceptable de eficacia, con el cumplimiento de las normativas de seguridad destacando como un punto fuerte. Sin embargo, se recomienda prestar atención a los elementos que tienen una calificación intermedia (3), ya que podrían ser áreas donde se pueden implementar mejoras para optimizar el rendimiento del sistema de captación de agua.

Preparación de Químicos

Estado de los Tanques de Almacenamiento (Calificación: 4):

La calificación 4 sugiere un buen estado de los tanques de almacenamiento.

Indica que los tanques están en condiciones adecuadas y pueden estar operando eficientemente. Esta calificación positiva sugiere que los tanques cumplen con las expectativas y funcionan de manera eficaz.

Funcionamiento de los Sistemas de Dosificación (Calificación: 4):

La calificación 4 indica que los sistemas de dosificación están funcionando correctamente.

Muestra que la dosificación de sustancias se está llevando a cabo de manera efectiva y de acuerdo con los estándares establecidos.

Estado de las Bombas Dosificadoras (Calificación: 3):

La calificación 3 sugiere un nivel intermedio en el estado de las bombas dosificadoras.

Puede indicar que hay aspectos que podrían mejorar en términos de eficacia o estabilidad. Se recomienda una revisión más detallada para identificar áreas específicas que requieran atención o mejoras.

Estado de los Sistemas de Mezcla y Agitación (Calificación: 3):

Similar a las bombas dosificadoras, la calificación 3 indica un nivel intermedio en el estado de los sistemas de mezcla y agitación.

Esto sugiere que podría haber áreas que necesitan mejoras para optimizar su rendimiento. Se recomienda una evaluación más profunda para identificar y abordar posibles problemas.

Análisis



En general, la evaluación refleja un funcionamiento satisfactorio en la mayoría de los elementos, pero las calificaciones intermedias en las bombas dosificadoras y los sistemas de mezcla y agitación sugieren que puede haber oportunidades para mejorar la eficacia y la estabilidad en estos aspectos específicos del sistema.

Cuarto de Impulsión

Funcionamiento de las Bombas de Impulsión (Calificación: 3):

La calificación 3 indica un nivel intermedio en el funcionamiento de las bombas de impulsión.

Puede sugerir que las bombas pueden estar operando de manera aceptable, pero podría haber áreas que necesiten atención o mejoras para optimizar su rendimiento.

Estado de las Válvulas de Control (Calificación: 3):

La calificación 3 señala un nivel intermedio en el estado de las válvulas de control.

Puede indicar que hay áreas que podrían mejorar en términos de eficacia o estabilidad. Se recomienda una revisión más detallada para identificar áreas específicas que requieran atención o mejoras.

Precisión de los Medidores de Presión y Flujo (Calificación: 4):

La calificación 4 sugiere que los medidores de presión y flujo tienen una buena precisión.

Indica que estos instrumentos de medición están proporcionando lecturas precisas, lo cual es crucial para el control y monitoreo eficaz del sistema.

Estado de los Sistemas de Monitoreo y Control (Calificación: 4):

La calificación 4 indica un buen estado de los sistemas de monitoreo y control.

Muestra que estos sistemas están operativos y cumplen con su función de manera efectiva, contribuyendo al control y eficiencia del sistema global.

En resumen, la evaluación general refleja un rendimiento aceptable en la mayoría de los elementos, con calificaciones intermedias en las bombas de impulsión y las válvulas de control. Se sugiere una revisión más detallada de estas áreas para identificar oportunidades de mejora y asegurar un rendimiento más eficiente y estable del sistema. Las calificaciones positivas en los medidores y sistemas de monitoreo y control indican áreas del sistema que están funcionando de manera satisfactoria.



Tabla 8

Criticidad y procesos

Bomba de agua de 30HP (Ubicación - Área de captación)

Importancia en el Proceso:

Criticidad: Alta

Justificación: La bomba es esencial para el suministro de agua potable en la planta.

Consecuencias de Falla:

Criticidad: Alta

Justificación: La falla de la bomba podría resultar en interrupciones graves en el suministro de agua y afectar la calidad del agua.

Frecuencia de Uso:

Criticidad: Alta

Justificación: La bomba está en operación constante, ya que es necesaria para mantener el flujo de agua requerido.

Impacto en la Producción:

Criticidad: Alta

Justificación: La bomba afecta directamente la capacidad de producción de la planta; su falla conduciría a una disminución significativa en la producción de agua.

Disponibilidad de Repuestos:

Criticidad: Media

Facilidad y Costo de Reparación:

Criticidad: Media

Justificación: La reparación es posible, pero puede ser costosa y llevar tiempo.

Redundancia y Respaldo:

Criticidad: Media

Justificación: Existen sistemas de respaldo, pero su capacidad podría no ser suficiente para cubrir toda la demanda.

Historial de Fallas:

Criticidad: Alta

Justificación: La bomba ha experimentado fallas recurrentes en el pasado.

Impacto Ambiental y de Salud:

Criticidad: Alta

Justificación: La falla de la bomba podría tener un impacto significativo en el suministro de agua potable y, por lo tanto, en la salud pública.

Normativas y Cumplimiento:

Criticidad: Alta

Justificación: La operación de la bomba está sujeta a normativas estrictas y estándares regulatorios.

Justificación: Los repuestos están disponibles, pero algunos pueden tener tiempos de entrega prolongados.

Fuente: Autor de la investigación.

Tabla 9

Criticidad y procesos

Bomba de agua de 200HP (Ubicación - Cuarto de impulsión)

Importancia en el Proceso:

Criticidad: Alta

Justificación: La bomba de 200HP es esencial para impulsar el agua hacia las redes de distribución que abastecen a la comunidad.

Consecuencias de Falla:

Criticidad: Alta

Justificación: La falla de la bomba podría resultar en una interrupción significativa en el suministro de agua a la comunidad, afectando directamente a los usuarios y generando inconvenientes.

Frecuencia de Uso:

Criticidad: Alta

Justificación: La bomba opera de manera continua para mantener el flujo constante de agua necesario para la distribución hacia la comunidad.

Impacto en la Producción:

Criticidad: Media-Alta

Justificación: La bomba tiene un impacto directo en la capacidad de producción de

Facilidad y Costo de Reparación:

Criticidad: Media

Justificación: La reparación es posible, pero puede ser costosa y llevar tiempo debido a la potencia y complejidad de la bomba.

Redundancia y Respaldo:

Criticidad: Media

Justificación: Existen sistemas de respaldo, pero su capacidad podría no ser suficiente para cubrir toda la demanda en caso de falla.

Historial de Fallas:

Criticidad: Baja-Media

Justificación: La bomba ha experimentado algunas fallas en el pasado, pero no de manera recurrente.

Impacto Ambiental y de Salud:

Criticidad: Alta

Justificación: La falla de la bomba podría tener un impacto significativo en el suministro de agua potable y, por lo tanto, en la salud pública y el bienestar de

la planta y, por ende, en la cantidad de agua que se suministra a la comunidad.

Disponibilidad de Repuestos:

Criticidad: Media

Justificación: Los repuestos están disponibles, pero algunos pueden tener tiempos de entrega prolongados debido a la potencia y especificaciones de la bomba.

Fuente: Autor de la investigación.

Tabla 10

Criticidad y procesos

Medidor de caudal (ubicación – cuarto de captación)

Importancia en el Proceso:

Criticidad: Alta

Justificación: El medidor de caudal es esencial para medir la cantidad de agua que ingresa a la planta, siendo crucial para el monitoreo y control del proceso.

Consecuencias de Falla:

Criticidad: Alta

Justificación: La falla del medidor de caudal puede resultar en una falta de información precisa sobre la cantidad de agua que ingresa a la planta, lo que afectaría la capacidad de gestionar eficientemente el tratamiento del agua.

Frecuencia de Uso:

Criticidad: Alta

Justificación: El medidor de caudal se utiliza constantemente para mantener un

la comunidad.

Normativas y Cumplimiento:

Criticidad: Alta

Justificación: La operación de la bomba está sujeta a normativas estrictas y estándares regulatorios, y su falla podría afectar el cumplimiento de estas normativas.

Facilidad y Costo de Reparación:

Criticidad: Media

Justificación: La facilidad y el costo de reparación pueden influir en la criticidad. Una reparación rápida y asequible reduce la criticidad.

Redundancia y Respaldo:

Criticidad: Media-Baja

Justificación: Si existen sistemas de respaldo o medidores redundantes, la criticidad puede ser menor. Sin embargo, su necesidad depende de la importancia de mantener la medición continua del caudal.

Historial de Fallas:

Criticidad: Baja-Media

Justificación: Si el medidor ha tenido un historial de fallas recurrentes, su



registro preciso del flujo de agua que entra en la planta.

Impacto en la Producción:

Criticidad: Alta

Justificación: La información proporcionada por el medidor de caudal es crucial para la planificación y el control del proceso de tratamiento del agua. Su falla puede afectar la eficiencia de la planta.

Disponibilidad de Repuestos:

Criticidad: Media

Justificación: La disponibilidad de repuestos es importante para garantizar la rápida recuperación en caso de una falla. Sin embargo, la criticidad puede ser menor si los repuestos son fácilmente accesibles.

Fuente: Autor de la investigación.

Captación a/c: El agua cruda entra al canal de hormigón armado, donde pasa al cárcamo ubicado en la parte inferior de la cámara de captación, donde se encuentra 4 bombas sumergibles de 30 hp, trabajando hasta con 2 en paralelo; las mismas que impulsan el agua hasta el desarenador.

Desarenador: Mediante el choque del agua en las paredes dentro del módulo, permiten la disminución de su velocidad creándose un periodo de leve de reposo y por gravedad se realice una sedimentación de material sólido.

pre sedimentador: Proceso físico que, mediante unas pantallas con orificios, que permitan disminuir la velocidad del flujo de agua y aumentar tiempo de sedimentación del material particulado, mismo que descenderá a una tolva cónica en la parte inferior del módulo y el agua resultante avanzara el siguiente proceso.

criticidad puede aumentar. **Impacto**

Ambiental y de Salud:

Criticidad: Baja

Justificación: Aunque la falla del medidor puede afectar la eficiencia del proceso, su impacto directo en la calidad del agua suministrada y la salud pública es limitado.

Normativas y Cumplimiento:

Criticidad: Alta

Justificación: Cumplir con normativas y estándares regulatorios es esencial para garantizar la calidad del agua y el funcionamiento legal de la planta.



Coagulación y Floculación: En la salida del presedimentador se encuentra un reservorio pequeño donde se realiza la primera adición de químico, el policloruro de aluminio (PAC), efectuándose la mezcla rápida. Posterior a esto se dirige a los módulos de floculación donde se le adiciona el polímero o ayudante de floculación para realizarse la mezcla lenta, es aquí donde se van observándose la creación de los flóculos de mayor tamaño, mismos que se aglomeran y por gravedad descenderán.

Sedimentación: En este punto, el agua aun contiene flóculos pequeños, por lo cual estará en un periodo de reposo mediante las placas ABS, para que se logre la sedimentación y por efecto ascendente será recolectada mediante las flautas que se comunican a un ducto que llevara el agua ya clarificada al siguiente proceso.

Filtración: Mediante una serie de capas (grava, carbón activado-----) que está conformado el filtro para que pueda retener los flóculos que no fueron retenidos en los anteriores procesos, así como olor color y sabor. Esto ocurre de manera descendente.

Desinfección a/t: Son 2 reservorios que están contruidos de hormigón armado con una capacidad de 1000m³ cada uno.

Impulsión a/t: El agua tratada almacenada en el reservorio de la planta, es impulsada mediante 2 bombas de 200 HP, en paralelo (existe una más de back up) hasta el reservorio de Loma de Pan.

Reservorio a/t "loma de pan": Son 2 reservorios que están contruidos de hormigón armado con una capacidad de 1000m³ cada uno.

Reservorio a/t "mirador" distribución: Son 2 reservorios que están contruidos de hormigón armado, el uno con una capacidad de 1000m³ y el otro de 800 m³ listo para para la distribución.

Controles de calidad: El analista de calidad evaluará las condiciones del agua y hará reportes de cada parámetro, según la normativa TULSMA 097 tabla 1 para el agua cruda, y la NTE INEN 1108 sexta edición para el agua potable. Según los criterios de potabilización usados en la planta, también debe informar al personal operativo del tratamiento sobre anomalías a corregir.

Controles de seguridad y salud en el trabajo: Los vigías de SST realizan inspecciones rutinarias a las aéreas, equipos y metodologías usadas a modo de prevención de incidentes

laborales.

Discusión

Los resultados obtenidos con respecto al nivel de mantenimiento preventivo demostraron que existe un nivel de afectación en las bombas existentes en las diferentes áreas de producción de agua se encuentran en procesos de intervención por faltas de mantenimientos y esta acción también es corroborada por otros estudios de especialistas en áreas de mantenimiento en plantas potabilizadoras de agua por el proceso que estas desempeñan al absorber o captar aguas procedentes de lagos, ríos u otros afluentes de tipo natural.

El mantenimiento adecuado en las plantas de tratamiento de agua es esencial para asegurar el suministro constante y de calidad del agua a la población. Según Teamb (2019), el proceso de tratamiento de agua incluye diversas etapas, como captación, bombeo, filtración y decantación, todas las cuales deben ser monitorizadas y mantenidas para garantizar la eficacia del sistema. Además, el personal de mantenimiento debe estar capacitado adecuadamente para manejar los equipos y realizar tareas de mantenimiento preventivo y predictivo de manera eficiente.

Conclusiones

- La implementación de un sistema de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en la planta EPAPAR del cantón Rocafuerte demostró ser fundamental para reducir las fallas no planificadas en los equipos críticos, especialmente en las bombas de captación, que representan el componente más vulnerable del sistema.
- A través del análisis de criticidad, se identificó que las bombas de captación tienen el mayor impacto operativo, con una frecuencia de fallos elevada y un bajo índice de confiabilidad del 45%. Esto subraya la necesidad de priorizar su mantenimiento preventivo y predictivo para garantizar la continuidad del servicio.



- El análisis económico destacó que los costos actuales asociados a las fallas y al mantenimiento reactivo ascienden a \$17,267 USD mensuales. Con las mejoras propuestas, se proyecta una reducción de costos del 46%, lo que generará ahorros netos de \$7,967 USD al mes y permitirá recuperar la inversión inicial de \$23,000 USD en aproximadamente 2.9 meses.
- Las mejoras en el mantenimiento preventivo y predictivo, junto con la capacitación del personal y la incorporación de tecnologías avanzadas, incrementaron significativamente la confiabilidad operativa y la sostenibilidad de los equipos. Esto asegura la calidad del agua y la continuidad del suministro a la población del cantón Rocafuerte.
- Se evidenció la falta de capacitación técnica en el personal y la ausencia de tecnologías modernas como sensores de monitoreo continuo. Estas deficiencias afectan la capacidad para implementar estrategias más avanzadas de mantenimiento, aunque las mejoras propuestas abordan estos desafíos de manera efectiva.

Referencias bibliográficas

- González, F., y Pérez, R. (2020). Mantenimiento productivo total: Un enfoque integral. *Management Studies Journal*, 10(2), 112-126.
- Fernández, J. (2020). *Mantenimiento industrial: Estrategias para la mejora continua*. Editorial Técnica Industrial.
- Mendoza, J., Díaz, C., y González, S. (2021). Mejora de la productividad mediante el Mantenimiento Productivo Total. *International Journal of Operational Excellence*, 4(1), 73-88.
- Navarro, S. (2022). Mantenimiento correctivo: Retos y soluciones en la industria. *Industrial Engineering Journal*, 15(2), 202-215.
- Pérez, M., y Silva, C. (2021). Mantenimiento de activos industriales: Retos y oportunidades. *Journal of Industrial Maintenance*, 9(4), 100-112.
- González, V., y Hernández, D. (2021). Optimización de recursos mediante el uso de RCM en el mantenimiento industrial. *Engineering y Maintenance Journal*, 9(2), 99-115.
- Teamb, J. (2019). Gestión del mantenimiento en plantas de tratamiento de agua. *Water Supply Journal*, 15(4), 225-238.



Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior