

Diseño de un plan de gestión de mantenimiento para un sistema de cavitación hidrodinámica para el tratamiento de aguas residuales

Design of a maintenance management plan for a hydrodynamic cavitation system for wastewater treatment

Neira Tavera, Jorge Alberto¹, Rueda Ayala, Johan Leonardo²

Fundación Universitaria de San Gil, UNISANGIL
Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería
Ingeniería de Mantenimiento
San Gil, Colombia

jorgeneira@unisangil.edu.co
johanrueda121@unisangil.edu.co

Fecha de recepción: noviembre 14 de 2024

Fecha de aceptación: diciembre 19 de 2024

Resumen — El proyecto se enfoca en el diseño de un plan de gestión de mantenimiento para un sistema de cavitación hidrodinámica destinado al tratamiento de aguas residuales. El objetivo principal de este plan es asegurar la disponibilidad y fiabilidad óptimas del sistema, al mismo tiempo que se busca maximizar su vida útil y minimizar los costos asociados al mantenimiento. Para alcanzar este propósito, se han definido diversas fases de planificación que se anticipan a obtener un resultado satisfactorio. Entre estas fases se incluye la creación de fichas técnicas fundamentadas en información provista por los proveedores, la evaluación de recomendaciones para la elaboración de manuales, la codificación de inventarios, el establecimiento de formatos para las actividades de mantenimiento, la jerarquización de equipos según su criticidad, y finalmente, la planificación detallada del proceso. El resultado esperado es la obtención de un plan de gestión de mantenimiento eficaz y específico para el sistema de cavitación hidrodinámica en cuestión. Este plan ha sido diseñado teniendo en cuenta las características particulares del sistema, los riesgos inherentes a su operación y las necesidades específicas de la organización implicada en su gestión.

Palabras clave— Sistema de cavitación hidrodinámico, mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo, inspección de equipos, plan de gestión, tratamiento de aguas.

Abstract - The project focuses on the design of a maintenance management plan for a hydrodynamic cavitation system intended for wastewater treatment. The main objective of this plan is to ensure the optimal availability and reliability of the system, while seeking to maximize its useful life and minimize the costs associated with maintenance. To achieve this purpose, various planning phases have been defined that anticipate obtaining a satisfactory result. These phases include the creation of technical sheets based on information provided by suppliers, the evaluation of recommendations for the preparation of manuals, the coding of inventories, the establishment of formats for maintenance activities, the prioritization of equipment according to its criticality, and finally, the detailed planning of the process. The expected result is obtaining an effective and specific maintenance management plan for the hydrodynamic cavitation system in question. This plan has been designed with consideration to the particular characteristics of the system, the risks inherent to its operation and the specific needs of the organization involved in its management.

Keywords - Hydrodynamic cavitation system, preventive maintenance, corrective maintenance, equipment inspection, management plan, water treatment.

¹ Ingeniero de mantenimiento, UNISANGIL, Estudiante doctorado en ingeniería, UNAB, Investigador grupo IDENTUS, UNISANGIL.

² Estudiante Ingeniería de Mantenimiento, UNISANGIL.

I. INTRODUCCIÓN

Dentro del ámbito empresarial en Colombia, la importancia de mantener los equipos y sistemas en óptimas condiciones se destaca como un aspecto clave para garantizar la continuidad en las operaciones y la eficacia en los procesos de producción. No obstante, a pesar de su relevancia estratégica, el mantenimiento suele ser descuidado en comparación con otras áreas. Se puede observar una falta de recursos asignados y poca atención en la planificación y desarrollo. [1].

De acuerdo a la información recolectada por la Asociación Colombiana de Ingenieros (ACIEM), muchos negocios consideran la carencia de un adecuado plan de mantenimiento como uno de los factores clave para un bajo desempeño en sus actividades. Este enfoque reactivo se distingue por centrarse en resolver problemas una vez que han surgido, lo cual resulta en gastos elevados de reparación, periodos de inactividad no planificados y una disminución de la eficiencia operativa [2].

En este sentido, es fundamental tener en cuenta que el mantenimiento no se limita a ser una función técnica adicional, sino que juega un papel estratégico clave en el funcionamiento de la empresa. Cada tipo de equipo o maquinaria necesita un cuidado específico. No obstante, llevar a cabo estas prácticas de manera efectiva se encuentra con diversos obstáculos. Una de las cuestiones más relevantes es la falta de uniformidad en los datos suministrados por los fabricantes, lo que complica la elaboración de un plan integral de mantenimiento [3]. Es común encontrar ciertas carencias en los manuales, como la omisión de información necesaria, instrucciones obsoletas, indicaciones poco claras y ausencia de guía para realizar un mantenimiento eficaz. Estas carencias no solo dificultan el mantenimiento, sino que también podrían acarrear consecuencias negativas.

En el caso específico de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, la falta de mantenimiento puede dar lugar a una serie de problemas. Estos problemas no solo afectan la producción y la eficiencia operativa, sino que también tienen implicaciones directas en la seguridad del medio ambiente, la salud pública y los activos de la organización [4] [5].

La necesidad crítica de maximizar la confiabilidad y la eficiencia del sistema exige la formulación de un plan de gestión de mantenimiento que incluya variables clave, indicadores de rendimiento y estrategias tanto preventivas como correctivas. El proyecto tiene como objetivo garantizar la operación continua y eficiente de las instalaciones, proteger la salud pública y contribuir a la preservación del medio ambiente [6] [7] [8] [9]. Para

ello, se desarrolló una etapa inicial de recopilación y unificación de información técnica, seguida de un proceso de jerarquización y documentación de los equipos. Como resultado, se elaboraron guías de mantenimiento que definen la periodicidad, las actividades y los costos asociados a cada intervención.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología propuesta en este proyecto se centró en el desarrollo de siete fases, como se describen a continuación:

A. Fase 1: Unificación de información

En esta fase se realizó una revisión detallada de la documentación disponible, además de llevar a cabo la inspección en persona de los equipos necesarios. Asimismo, se llevó a cabo la elaboración y normalización de documentos, en concreto de listas de control. La finalidad principal de esta etapa es crear una lista con información detallada y clara sobre los componentes que conforman el sistema de cavitación hidrodinámica.

B. Fase 2: Análisis y descripción de la información

Una vez recolectada la información de cada componente del sistema de cavitación, se realizó un análisis para confirmar su relevancia en la elaboración de las descripciones de las tareas de mantenimiento asociadas a dichos elementos.

C. Fase 3: Documentación y recopilación

Se llevó a cabo una recopilación exhaustiva de documentación e información relevante para el proyecto, incluyendo manuales de equipos, especificaciones técnicas, normativas y registros históricos de operación y mantenimiento. Asimismo, se verificó la vigencia y pertinencia de los datos recopilados, estableciendo una base sólida de conocimiento que respalde la planificación y ejecución efectiva de las siguientes etapas del proyecto.

D. Fase 4: Diseño de la jerarquización de los equipos y documentación

Una vez se obtuvo una lista de verificación que detallaba los componentes del sistema de cavitación hidrodinámica, se realizó un análisis de criticidad y clasificación en función del tipo de mantenimiento adecuado. El objetivo principal es crear una matriz de criticidad de los equipos y preparar una lista detallada de las actividades de mantenimiento.

Durante este proceso, se creó un modelo personalizado para realizar revisiones de unidades para estandarizar y estructurar la recopilación de datos importantes. El uso de una matriz de criticidad junto con una lista de verificación de acciones de mantenimiento puede priorizar los equipos, centrándose en aquellos considerados críticos para el funcionamiento adecuado del sistema de cavitación hidrodinámica [10][11]. Además, tiene como objetivo mejorar la eficiencia operativa mediante la estandarización de los formatos de prueba. Este enfoque ayudará a identificar fallas potenciales a tiempo, lo que permitirá tomar decisiones informadas y la implementación oportuna de medidas correctivas. En resumen, esta fase se centró en la planificación estructurada de programas de mantenimiento orientados a optimizar la gestión del equipo y garantizar su operación continua y confiable.

E. Fase 5: Elaboración de guías de mantenimiento

Esta fase central del proyecto se enfocó en la elaboración de pautas de mantenimiento, fundamentadas en la información recopilada previamente. El proceso incluyó la definición del análisis de frecuencia, el desarrollo de procedimientos detallados, la determinación de periodicidades, la asignación de responsabilidades y la validación técnica con el equipo encargado. Estas directrices fueron diseñadas para ofrecer información precisa sobre tareas específicas, plazos, tipos de actividades e indicadores clave de desempeño [12] [13]. El resultado de esta etapa es un manual de servicio práctico y comprensible, orientado a facilitar la implementación del plan de mantenimiento. Su estructura busca garantizar que los operadores puedan aplicar correctamente las instrucciones y ejecutar las tareas conforme a las mejores prácticas [14]. Este enfoque permite optimizar la gestión del mantenimiento, asegurando la confiabilidad y el funcionamiento continuo del sistema de cavitación hidrodinámica.

F. Fase 6: Recolección de material

Implica la obtención de todos los documentos, registros y datos necesarios para elaborar el plan de mantenimiento preventivo. Esto puede incluir manuales de equipos, instrucciones de fabricantes, historiales de mantenimiento, registros de fallas y averías, así como cualquier otra información relevante relacionada con el funcionamiento y mantenimiento de los equipos y sistemas involucrados.

G. Fase 7: Evaluación de resultados y conclusiones

Esta fase consistió en examinar con minuciosidad los datos recolectados y las acciones llevadas a cabo a lo largo del proyecto. Se revisaron los logros alcanzados

durante cada fase del proyecto, analizando si se han cumplido con los objetivos y metas previamente establecidos. Se detectaron y se analizan las tendencias, los patrones y las áreas de mejora, además de los factores que hayan influido en el éxito o fracaso del proyecto [15][16]. A partir de esta evaluación, se extrajeron conclusiones que resumen los puntos clave encontrados y se plantearon recomendaciones para posibles acciones futuras o mejoras.

Esta etapa fue fundamental para evaluar el impacto y la efectividad del proyecto, así como para extraer aprendizajes valiosos que podrán aplicarse en iniciativas similares en el futuro.

A continuación, en la Figura 1 se presenta el esquema metodológico implementado.

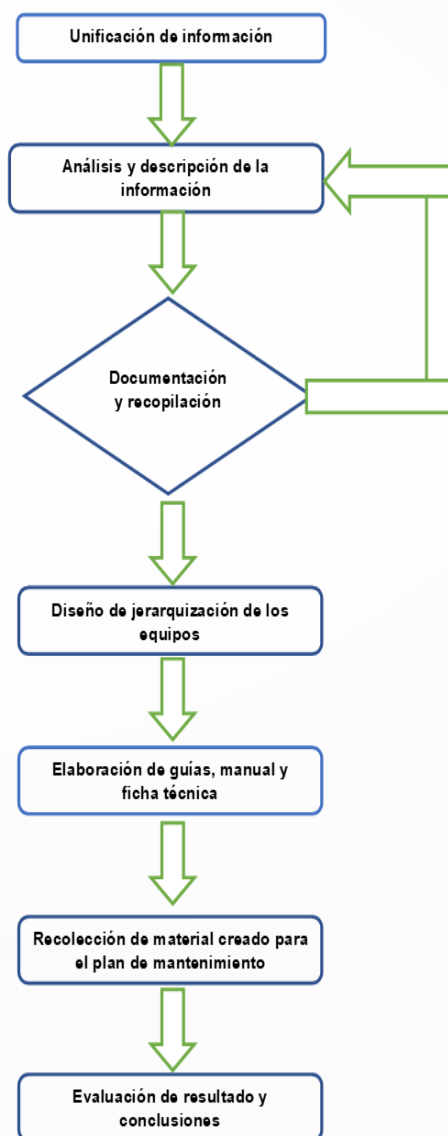


Fig 1. Esquema metodológico implementado en el proyecto.

III. RESULTADOS

A partir del sistema de cavitación hidrodinámico para el tratamiento de aguas residuales, se presenta el diseño de un plan de gestión de mantenimiento para un sistema de cavitación hidrodinámica para el tratamiento de aguas residuales.

En la Figura 2 se presenta sistema de cavitación hidrodinámico para el tratamiento de aguas residuales

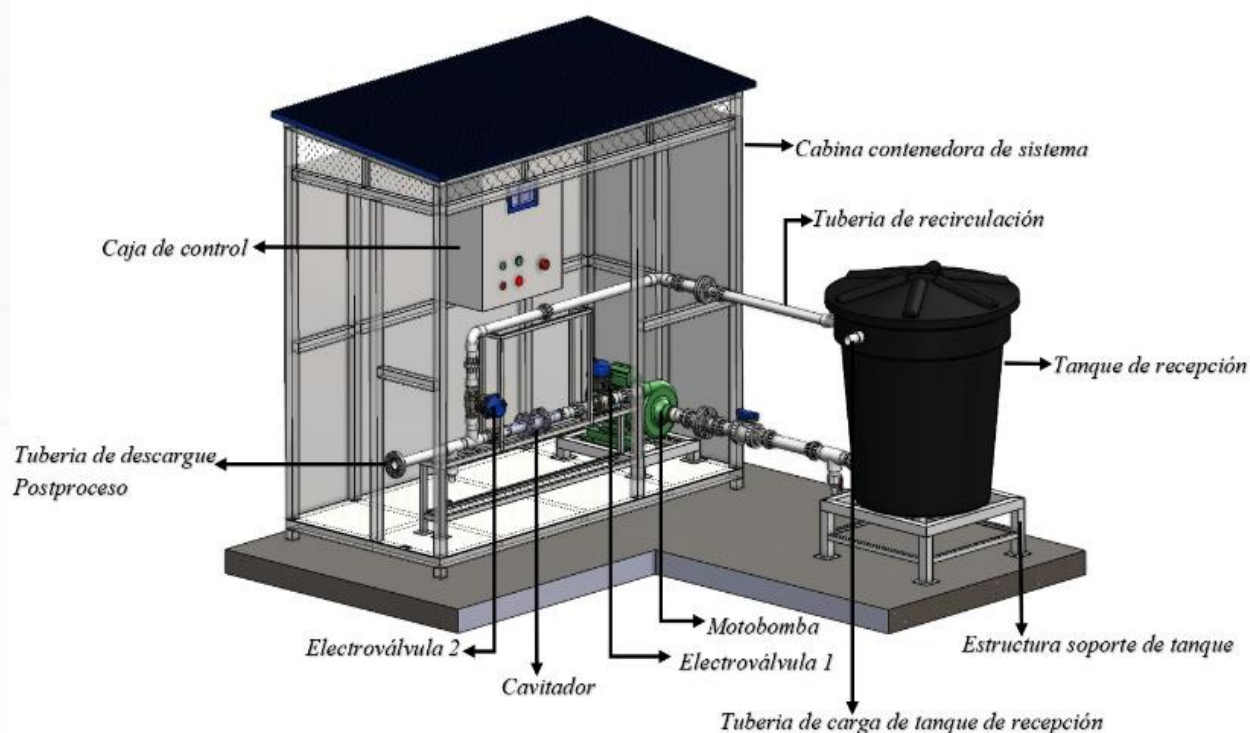


Fig. 2 Sistema de cavitación hidrodinámico para el tratamiento de aguas residuales.

A. Codificación de equipos sistema de cavitación hidrodinámica

En las tablas 1 y 2 se observan los parámetros para la codificación general de los equipos presentes en el sistema se presenta de manera detallada y estructurada, lo que contribuye a una mejor comprensión y aplicación de los sistemas de codificación propuestos.

TABLA 1. UBICACIÓN TÉCNICA DE LOS EQUIPOS

UBICACIÓN TÉCNICA	DENOMINACIÓN
SISP	SISTEMA POTENCIA
SISC	SISTEMA CONDUCCIÓN
SIES	SISTEMA ESTRUCTURA
SIST	SISTEMA CONTROL
EMAC	MOTOR ELÉCTRICO AC
PUCE	BOMBA CENTRIFUGA
VAOH	VÁLVULA CONTROL
IPPS	SENSOR PRESIÓN
IPLS	SENSOR NIVEL
PIPO	TUBERÍA
TKWA	TANQUE
CLPA	TABLERO CONTROL

TABLA 2. CATEGORÍA DE EQUIPO

CAT. EQUIPO	CLASE EQUIPO	CÓD. CLASE	TIPO DE EQUIPO	CÓD. TIPO
E	MOTOR	EM	ELÉCTRICO AC	AC
M	BOMBA	PU	CENTRIFUGA	CE
T	ESTÁTICOS	ES	ESTRUCTURA	FJ
E	VÁLVULA	VA	ELECTROVÁLVULA	OH
I	SENSOR	IP	PRESIÓN	PS
I	SENSOR	IP	NIVEL	LS
T	TUBERÍA	PI	POLÍMERO	PO
T	TANQUE	TK	AGUA	WA
I	TABLERO	CL	CONTROL	PA

Con estas tablas de codificación, se espera una mejora en la eficiencia y de tiempo sumado a una mejora significativa en la calidad de las actividades de mantenimiento.

B. Análisis de criticidad

Para determinar la criticidad de los sistemas, se utilizó el Número de Prioridad de Riesgo (RPN, por sus siglas en inglés). Para su cálculo, se asignaron valores específicos a los parámetros de consecuencia, seguridad, medio ambiente, producción y operación, de acuerdo con los lineamientos establecidos por la norma ISO 14224.

C. Fichas técnicas

Una ficha técnica es esencial, proporcionando información detallada y precisa sobre un producto, incluyendo especificaciones técnicas, dimensiones y capacidades, lo que facilita la comunicación entre fabricantes, proveedores y clientes. Asegura el mantenimiento y apoya la toma de decisiones informadas al contar con apartados específicos para registrar historial de fallas y mantenimientos realizados, con espacios para detallar horas de inicio y final, fallas encontradas, elementos reemplazados, observaciones y tipo de mantenimiento. Además, sirve como referencia en soporte técnico y reparaciones, garantizando la calidad, seguridad y confiabilidad del producto [17] [18].

Se evidencian ejemplos claros de las fichas técnicas de los instrumentos que componen el sistema.

- Formato ficha técnica
- Ficha técnica bomba

- Ficha técnica contactor
- Ficha técnica fuente de alimentación
- Ficha técnica motor
- Ficha técnica pantalla
- Ficha técnica PLC
- Ficha técnica relé térmico
- Ficha técnica sensor presión
- Ficha técnica temporizador
- Ficha técnica válvula

D. Formato de inspección

Un formato de inspección es un documento estructurado que registra sistemáticamente la evaluación de un producto, equipo o proceso, detallando su conformidad con estándares establecidos a través de campos específicos como identificación del objeto, datos del inspector, fecha y hora, criterios de inspección, resultados, historial de inspecciones, acciones correctivas y comentarios adicionales. Su importancia radica en asegurar la conformidad con especificaciones técnicas, documentar la trazabilidad, facilitar la toma de decisiones informadas, mejorar la seguridad, optimizar el mantenimiento, cumplir con regulaciones y fomentar la transparencia, garantizando así la calidad, seguridad y eficiencia en el proceso.

Los formatos de inspección diseñado para el sistema de cavitación hidrodinámico encuentran detalladas las actividades a realizar en cada uno de los sistemas que conforman el equipo de cavitación.

E. Plan de mantenimiento

Según los manuales de cada activo del sistema de cavitación hidrodinámico, se identifican y unifican los ítems más relevantes de mantenimiento en un plan anual. Este plan especifica las acciones y tiempos necesarios para asegurar el óptimo funcionamiento y longevidad de cada componente del sistema, durante el transcurso de un año.

F. Manual general de operación del sistema

En el manual de operación del sistema, se han detallado minuciosamente las instrucciones para asegurar una utilización óptima y segura. Se comienza con una descripción general del sistema, seguida de los requisitos previos necesarios para su funcionamiento. Luego, se incluyen procedimientos paso a paso para la operación diaria, desde el arranque hasta el apagado, así como las rutinas de

mantenimiento preventivo consideradas cruciales. También se ha prestado especial atención a las medidas de seguridad, proporcionando directrices claras para manejar el sistema de manera segura y procedimientos de emergencia [19] [20]. Finalmente, se han incorporado un glosario de términos técnicos en los anexos, con el objetivo de ofrecer un recurso completo y accesible para cualquier usuario del sistema [21].

Dentro de los manuales desarrollados, se incluyen los siguientes:

- Manual general de mantenimiento de la fuente de alimentación.
- Manual general de mantenimiento de la pantalla.
- Manual general de mantenimiento de PLC.
- Manual general de mantenimiento del contactor.
- Manual general de mantenimiento del relé térmico.
- Manual general de mantenimiento del temporizador.
- Manual general de operación del sistema de cavitación hidrodinámico.

IV. CONCLUSIONES

La implementación de un plan de gestión de mantenimiento bien estructurado facilitará la superación de los desafíos operativos, aumentando la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales y disminuyendo los tiempos de inactividad. Será de vital importancia unificar la información y elaborar guías específicas para garantizar un funcionamiento constante y eficaz del sistema de cavitación hidrodinámica.

La implementación de fichas técnicas son una herramienta efectiva para estandarizar los procedimientos de mantenimiento, lo que ha contribuido a mejorar la eficiencia operativa y reducir los tiempos de inactividad de los equipos.

La inclusión de una estructura jerárquica en el sistema de cavitación hidrodinámica impacto de manera positiva en las labores del plan anual de mantenimiento, facilitando la identificación y priorización de los sistemas críticos. Esta clasificación garantiza que se preste una atención adecuada a los elementos más cruciales, lo que resulta en una mejora de la eficiencia y confiabilidad del mantenimiento preventivo.

El seguimiento regular a la documentación permite identificar patrones de fallas recurrentes en los equipos, facilitando la toma de decisiones proactivas para prevenir futuras averías y prolongar la vida útil de las máquinas de la cooperativa.

REFERENCIAS

- [1] D. Gutiérrez, *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para la empresa Agroangel*, Univ. Tecnológica de Pereira, 2014. [En línea]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/71398238.pdf>
- [2] Asociación Colombiana de Ingenieros – ACIEM, *Diagnóstico de la gestión de activos y del mantenimiento en Colombia*, 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.capacitacion.aciem.com.co/Especiales_Congresos/CIMGA_2022/May_23/CartillaDiagnosticoMantenimientoenColombia2021WEB.pdf
- [3] W. O. Acosta Romero, *Diseño de plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad de los equipos de bombeo de la planta de tratamientos de aguas residuales en la empresa Agua de Los Patios S.A. E.S.P. Norte de Santander*, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ufps.edu.co/bitstream/handle/ufps/3896/1090562.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [4] K. Almeida Quesada y S. E. Delgado Melgarejo, *Diseño del modelo para la gestión de suministros en la operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales – PTAR–Nuevo Girón, tomando como guía metodologías de alta calidad*, 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/12985>
- [5] R. Arenas, *Tratamiento de lactosuero por cavitación hidrodinámica posterior precipitación química y subsecuente uso para cultivo de microalgas (Chlorella vulgaris) en un biorreactor tipo raceway*, 2023.
- [6] J. A. Climaco Montesino, “Diseño e implementación de un modelo de gestión de mantenimiento para el área de aguas residuales de la empresa GECELCA 3 S.A.S. E.S.P.,” *World Development*, vol. 1, no. 1, pp. 1–15, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/349c3ce9-955d-45b0-aa24-96cdb6c466a8/content>
- [7] K. Cobo, *Desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo de los sistemas hidráulicos para maquinaria pesada de la empresa Fernández & Fernández Construc del Distrito Metropolitano de Quito*, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/24260/1/TTS1154.pdf>
- [8] Congreso de la República de Colombia, *Ley 9 de 1979. Normas sobre salud*, vol. 6, agosto 1979.
- [9] Departamento Administrativo de la Función Pública, *Ley 373 de 1997. Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua*, 1997. [En línea]. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/1.-Anexo-1.-Ley-373-1997.pdf>
- [10] Departamento Administrativo de la Función Pública, *Decreto 3930 de 2010. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979*, 2015.
- [11] Armada Nacional – Fuerzas Militares de Colombia, *Doctrina material naval. Tomo III: Mantenimiento*, 2014.
- [12] V. A. Gonzales Ayahuana, *Diseño, construcción y evaluación de un sistema de cavitación hidrodinámica modelo placa multi orificios para el tratamiento de aguas industriales de curtiembre*, 2022. [Consulta local].
- [13] N. Gonzales Herrera, *Formulación de un Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) a implementar en la Planta*

- de Tratamiento de Agua Residual Cañaveralejo (PTAR-C), Univ. Autónoma de Occidente, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://red.uao.edu.co/server/api/core/bitstreams/8032a9da-177c-4816-9189-5320b87ab8a6/content>
- [14] P. Huamán, *Propuesta de un plan de mantenimiento total para disminuir paradas imprevistas de minicargador, cargadores frontales y compactador Caterpillar, Yanacocha* – 2016, Univ. César Vallejo, 2016. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/10083/saavedra_hp.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [15] ISO, *ISO 55000 / ISO 55001: Gestión de activos — Información general, principios y terminología*, 2014. [En línea]. Disponible en: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:55000:ed-1:v2:es>
- [16] ISO, *ISO 9001:2015 (Es). Sistemas de gestión de la calidad — Requisitos*, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9001:ed-5:v1:es>
- [17] R. C. A. Vega, "Diseño de un modelo integrado de gestión de mantenimiento y riesgo aplicado al Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Agua Residuales (PTAR) 'Los Tajos' en Instituto Costarricense de Acueductos y alcantarillados, AyA," 2019, p. 219.
- [18] Weg, "Motor trifásico W22. Manual User," 2018. [Enlace: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/motor-trifasico.html>].
- [19] [28] C. D. Morales Cruz, "Investigación desarrollo de un plan de operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Santa María Visitación, Sololá," Universidad de San Carlos de Guatemala, 4, pp. 1–75, 2023. [Enlace: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/18813/1/Cristian%20David%20Morales%20Cruz.pdf>].
- [20] R. Orrego, "Diseño estructural de la gestión de mantenimiento de los puentes grúas de la planta de tratamiento de aguas residuales de Bello," 2018, p. 165.
- [21] O. Perez, "Actualización del sistema de gestión de mantenimiento con enfoque en la planta de tratamiento de aguas residuales de la cooperativa Colanta, Medellín, Antioquía," 2023, Issue 76.