



Diseñar estrategias basadas en metodologías y buenas prácticas de Gestión de Activos en
la Planta de Enriquecimiento Biogás PTAR¹ San Fernando

Diana Margarita Bran Quiroz

Oscar Javier Berdugo Corredor

Monografía presentada para optar al título de Especialista en Gestión de Activos

Tutor:

Juan Carlos Orrego Barrera, Magister en Gestión energética industrial

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Especialización en Gestión de Activos

Medellín, Antioquia, Colombia

2024

¹ PTAR: Planta de Tratamiento Aguas Residuales

Cita (Bran Quiroz & Berdugo Corredor, 2024)

Referencia Bran Quiroz, D. M., & Berdugo Corredor, O. J. (2024). *Diseñar estrategias basadas en metodologías y buenas prácticas de Gestión de Activos en la Planta de Enriquecimiento Biogás PTAR San Fernando*

Estilo APA 7 (2020) [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.



Especialización en Gestión de Activos.



Centro de Documentación de Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Primero, agradezco a Dios por darme la fuerza y el coraje necesario. Dedico esta monografía a mis padres e hija, por su amor incondicional, su apoyo constante y su confianza en mí; sin su aliento y sacrificio, este logro no habría sido posible. Agradezco profundamente a mi tutor por su paciencia, dedicación y conocimiento, los cuales fueron fundamentales para la realización de este trabajo.

Diana Margarita Bran Quiroz

Quiero dedicar esta monografía a mi familia, quienes han sido mi mayor fuente de inspiración y apoyo incondicional. Su amor y comprensión me han motivado a alcanzar mis metas y superar cada desafío en este camino hacia mi especialización en gestión de activos. Cada día, su confianza en mí me impulsa a dar lo mejor de mí. Gracias por ser mi fuerza y por compartir conmigo este viaje.

Con todo mi cariño,

Oscar Javier Berdugo Corredor

Contenido

	Pág.
Dedicatoria	3
Ilustraciones	7
Tablas	8
Resumen	10
Abstract	11
Introducción	12
Planteamiento del problema	16
Preguntas del problema secundarias	16
Justificación.....	17
Objetivos	19
General	19
Específicos	19
UNO - Metodologías efectivas	19
DOS - Optimización y mitigación.....	19
TRES - Seguridad y protección	19
CUATRO - Mejora de información.....	19
Marco teórico	20
Principios fundamentales y normas en la gestión de activos	20
Modelo de gestión de activos según ISO 55000	23
Estrategias de gestión de activos	23
Metodologías y normativas en la gestión de activos	24
Eficiencia y sostenibilidad en plantas de biogás	25
Directrices para la gestión de activos.....	26
ISO 55000: Aspectos generales y principios.....	26
ISO 55001: Requisitos del sistema de gestión de activos	27
ISO 55002: Directrices para la aplicación de ISO 55001.....	27
Estrategias para la gestión eficiente y sostenible	28
Eficiencia y eficacia a través de sistemas integrados de gestión	29
Fundamentos y prácticas esenciales en la gestión de activos	29
Estado del arte	31
Estrategias de ingeniería y gestión de activos para la eficiencia operativa y sostenibilidad	31
Gestión integral de activos: Enfoques, estrategias y tecnologías avanzadas	32
Gestión de activos físicos: estrategias y beneficios según ISO 55001:2014	33

Desarrollo Metodológico.....	35
Taxonomía.....	36
Jerarquía.....	36
Pasos para implementar un proceso de taxonomía de activos	40
Criticidad.....	42
Objetos de impacto	42
Matriz de criticidad	43
Pasos para realizar la criticidad de activos.....	45
Análisis de causa raíz de fallas.....	46
Etapas y acciones del análisis de causa raíz	47
Beneficios del análisis de causa raíz.....	48
Técnicas sugeridas para el análisis de causa raíz	49
Método de 5 por qué.....	49
Técnica de espina de pescado o diagrama de Ishikawa.....	50
Método de árbol causal	51
Planes de mantenimiento.....	54
Componentes claves de un plan de mantenimiento	54
Aspectos claves en la gestión y cobertura de mantenimiento	55
Ruta e implementación planes de mantenimiento.....	57
Manejo del Cambio	59
Importancia del manejo de cambio	59
Clases de cambio	59
Cambio de emergencia	59
Cambio permanente	59
Cambio temporal	60
Pasos claves para un cambio efectivo	60
Etapas y acciones	61
Tipos de cambio	62
Equipos.....	62
Operacionales	63
Organizacionales	64
Toma de decisiones	66
Beneficios toma de decisiones	66
Etapas toma de decisiones.....	67
Identificar y priorizar - Paso 0	68
Definir el problema u oportunidad - Paso 1.....	69
Desarrollar opciones y análisis preliminar - Paso 2.....	70
Determinar la solución óptima - Paso 3.....	73
Buenas prácticas.....	75
Cronograma.....	78

Resultados Esperados	80
Logros y alcance Planta de Enriquecimiento de Biogás PTAR San Fernando	83
Logros y alcance asociados al objetivo general.....	83
Logros y alcances asociados a los objetivos específicos	84
Conclusiones	86
Bibliografía.....	88

Ilustraciones

Ilustración 1 - Localización PTAR San Fernando.....	12
Ilustración 2 - Descripción gráfica biogás-biometano.....	13
Ilustración 3 - Modelo de taxonomía que adopta el Grupo Epm	37
Ilustración 4 - Clasificación de la taxonomía con niveles	38
Ilustración 5 - Objetos de impacto	43
Ilustración 6 - Matriz de criticidad	44
Ilustración 7 - Actuaciones en el RCFA.....	46
Ilustración 8 - Árbol lógico en el RCFA	47
Ilustración 9 - Proceso método 5 por qué.....	50
Ilustración 10 - Técnica de espina de pescado o diagrama de Ishikawa	51
Ilustración 11 - Problema /evento focal	52
Ilustración 12 - Etapas toma de decisiones	67
Ilustración 13 - Alineación con objetivos GA.....	68
Ilustración 14 - Resultados esperados luego de aplicar criticidad y salud de activos	69

Tablas

Tabla 1 - prácticas y sus descripciones	25
Tabla 2 - Aspectos generales y principios.....	26
Tabla 3 -Requisitos del sistema de gestión de activos	27
Tabla 4 - Directrices para la aplicación de ISO 55001.....	28
Tabla 5 - Estrategias de gestión basadas en normas ISO	28
Tabla 6 - Codificación taxonomía planta Biogás PTAR San Fernando Codificación taxonomía..	39
Tabla 7 – Pasos para implementar un proceso de taxonomía de activos.....	40
Tabla 8 - Dimensiones principales	44
Tabla 9 - Pasos claves para análisis de criticidad.....	45
Tabla 10 - Etapas y acciones del análisis de causa raíz.....	48
Tabla 11 - Beneficios del análisis de causa raíz	49
Tabla 12 - Componentes claves.....	55
Tabla 13 - Aspectos claves plan de mantenimiento	55
Tabla 14 – Información y documentación técnica necesaria.....	56
Tabla 15 - Ruta y configuración e implementación de planes de mantenimiento.....	57
Tabla 16 - Pasos claves para un cambio efectivo	60
Tabla 17 - Etapas y acciones	61
Tabla 18 - Cambios en equipos	62
Tabla 19 - Cambios operacionales	63
Tabla 20 - Cambios organizacionales	64
Tabla 21 - Cambios no cubiertos.....	64
Tabla 22 - Beneficios toma de decisiones	66
Tabla 23 - Problemas a resolver	70
Tabla 24 - Escenarios toma de decisiones.....	70

Tabla 25 - Soluciones con activos físicos	71
Tabla 26 - Soluciones sin activos ni infraestructura.....	71
Tabla 27 - Posibles restricciones	72
Tabla 28 - Criterios de costo, riesgo y desempeño.....	73

Resumen

La planta de Enriquecimiento de Biogás se dedica a aprovechar el biogás generado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Fernando. Este biogás es tratado en una planta de UpGrading para enriquecer su composición de metano, convirtiéndolo en biometano, un gas natural que cumple con las condiciones del Registro Único de Transporte. El biometano es luego inyectado a la red de distribución en una Estación de Regulación y Medición (Wahid, 2012).

Nuestra monografía profundiza en las estrategias basadas en metodologías como la taxonomía, la criticidad de los activos, la toma de decisiones, el manejo del cambio, el desarrollo de planes de mantenimiento, el análisis de causa raíz de fallas, la salud de activos y el análisis de modos y efectos de falla. Además, se destacan las buenas prácticas como la trazabilidad, la capacitación continua, el uso de sistemas de gestión de activos, las auditorías eficientes, la optimización de recursos y la mejora en la toma de decisiones.

La gestión de activos efectiva no solo se basa en la implementación de estrategias y metodologías adecuadas, sino también en la adopción de buenas prácticas que aseguren la trazabilidad y el desarrollo correcto de los procesos. Esto no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también contribuye a la sostenibilidad y el éxito a largo plazo de la organización (McDonald, 2021).

Palabras claves: ISO 55000, estrategias, metodologías, buenas prácticas, activos.

Abstract

The Biogas Enrichment Plant is dedicated to utilizing the biogas generated at the San Fernando Wastewater Treatment Plant. This biogas is treated in an Upgrading plant to enrich its methane content, converting it into biomethane, a natural gas that meets the conditions of the Single Transport Registry. The biomethane is then injected into the distribution network at a Regulation and Measurement Station (Wahid, 2012).

Our monograph delves into strategies based on methodologies such as taxonomy, asset criticality, decision-making, change management, maintenance plan development, root cause failure analysis, asset health, and failure modes and effects analysis. Additionally, best practices such as traceability, continuous training, the use of asset management systems, efficient audits, resource optimization, and improved decision-making are highlighted.

Effective asset management is not only based on the implementation of appropriate strategies and methodologies but also on the adoption of best practices that ensure traceability and the correct development of processes. This not only improves operational efficiency but also contributes to the sustainability and long-term success of the organization (McDonald, 2021).

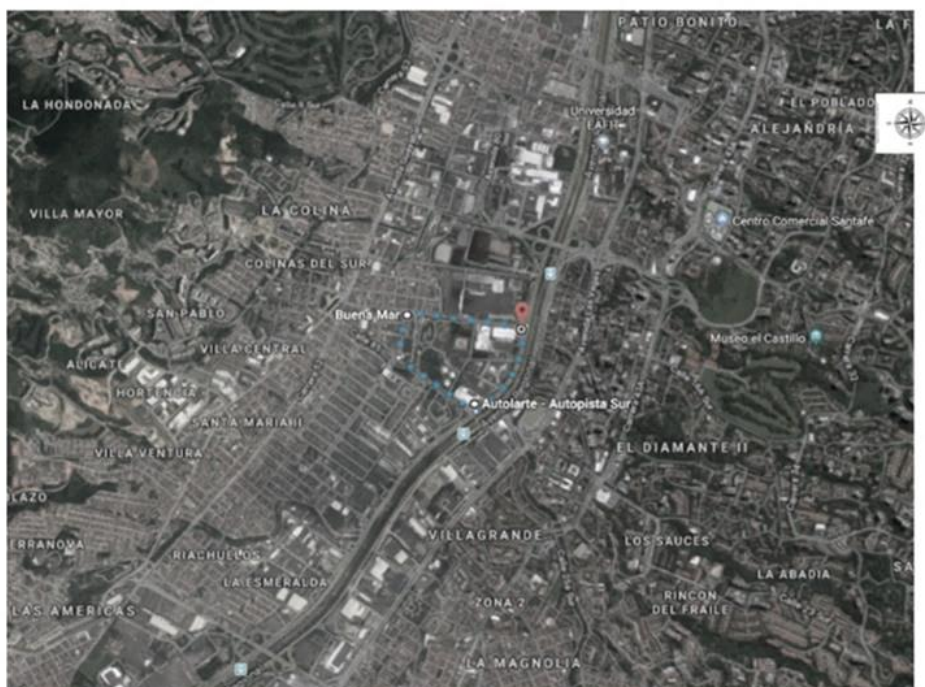
Keywords: ISO 55000, strategies, methodologies, best practices, assets.

Introducción

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Fernando se localiza en la Calle 85B con Carrera 43-13, entre los barrios San Fernando y Santa María 3 del municipio de Itagiú, en el departamento de Antioquia. Sus coordenadas son 832.497,235 y 1.176.754,422. La planta abarca dos lotes, norte y sur, con una extensión total de 140,000 m². Dentro de la PTAR, en el sector sur, se encuentra la Planta de Enriquecimiento de Biogás (Ajay, 2018).

Ilustración 1

Localización PTAR San Fernando



Nota: Tomado (Empresas Públicas de Medellín E.S.P., 2021)

La Planta de Enriquecimiento de Biogás de la PTAR San Fernando utiliza un proceso de digestión anaeróbica para producir biogás a partir de materia orgánica. Este biogás se somete a un

Un solo motogenerador no puede consumir toda la producción de biogás, lo que lleva a la quema de volúmenes significativos de este gas (Mobley, Maintenance Engineering, 2011). Durante los picos de producción, el excedente de biogás también debe ser quemado, ya que los motogeneradores no tienen la capacidad suficiente para aprovechar todo el biogás generado (Wellinger, Murphy, & Baxter, 2013).

ofrecen una guía completa sobre el desarrollo y optimización de plantas de biogás, destacando el biogás como una fuente clave de energía renovable y analizando normativas para garantizar prácticas sostenibles; mientras que se enfocan en la purificación del biogás, discutiendo técnicas para eliminar contaminantes y las mejores prácticas para su enriquecimiento a biometano (Arellano, y otros, 2017).

Ambas obras subrayan la importancia de técnicas de purificación, procesos microbiológicos y bioquímicos, y el uso de tecnologías avanzadas para optimizar la producción y uso del biogás, asegurando su eficiencia y sostenibilidad en diversas industrias.

Para evitar la quema de biogás no utilizado en la generación de energía eléctrica, se ha diseñado un proyecto para convertirlo en biometano, un gas renovable que sustituye al gas natural. Esto promueve un uso más eficiente de los recursos y reduce las emisiones de gases de efecto invernadero (Gabriel & Sierra, 2017).

El proceso incluye un sistema de enriquecimiento de biogás mediante la tecnología PSA (*Pressure Swing Adsorption*) para obtener biometano, que luego se inyecta en el sistema de

distribución de gas natural EPM⁵, cumpliendo con las especificaciones de las Resoluciones 054 de 2007 (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2007), RUT Gas Natural (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 1999), y 240 de 2016 de la CREG⁶ (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2016).

La gestión de activos en la Planta de Enriquecimiento de Biogás es fundamental para garantizar eficiencia y sostenibilidad, maximizando el rendimiento y minimizando costos. Requiere una visión holística, colaboración y procesos documentados. La participación de todos los involucrados en el ciclo de vida de los activos, desde la planificación hasta la desincorporación, es crucial para una toma de decisiones más informada y efectiva (Ludwig, 2015).

⁵ EPM: Empresas Públicas de Medellín E.S.P.

⁶ CREG: Comisión de Regulación de Energía y Gas.

Planteamiento del problema

El problema se centra en cómo mejorar la gestión de los activos a lo largo de todo su ciclo de vida, desde la adquisición hasta la desincorporación. Esto implica optimizar el desempeño y los costos, mitigar los riesgos, y garantizar la seguridad de las personas y la protección del medio ambiente, todo ello con el fin de alcanzar los objetivos estratégicos (Amendola, Activos Físicos, 2015).

La pregunta que surge es: ¿Cómo se pueden mejorar las buenas prácticas mediante metodologías actuales para proporcionar información más íntegra, confiable, disponible y oportuna de los activos?

Preguntas del problema secundarias

¿Qué metodologías actuales son más efectivas para la gestión del ciclo de vida de los activos?

¿Cómo se puede optimizar el desempeño y los costos de los activos?

¿Qué estrategias son efectivas para mitigar los riesgos asociados con la gestión de activos?

¿Cómo se puede garantizar la seguridad de las personas y la protección del medio ambiente?

¿Cómo se puede mejorar la integridad, confiabilidad, disponibilidad y oportunidad de la información de los activos?

Justificación

La Organización Internacional de Normalización -ISO⁷- y sus organismos nacionales, como el Instituto Colombiano de Normas Técnicas -ICONTEC⁸- en el caso de Colombia, fomentan la estandarización de procesos en diversas áreas. Para las organizaciones que desean ser altamente competitivas, es esencial implementar procesos y adherirse a las normas establecidas por estos organismos, incluyendo aquellas que buscan estandarizar la gestión de activos.

En cualquier empresa, ya sea pequeña, mediana o grande, es crucial reconocer y valorar tanto los activos físicos como los intangibles. Esto permite un mejor control de los procesos y una optimización de los recursos disponibles. Actualmente, la norma NTC⁹ ISO 55001¹⁰ aplicable en Colombia, certifica la gestión de activos de una organización conforme a estándares internacionales (Perez Peña, 2019).

Esta norma cubre desde la adquisición hasta la desactivación de los activos, considerando aspectos como la seguridad, mitigación de riesgos e impacto ambiental. analiza cómo las empresas pueden optimizar la gestión de sus activos para mejorar eficiencia y rentabilidad (Lloyd & Corcoran, 2019).

Explican cómo las empresas pueden optimizar la gestión de sus activos para mejorar la eficiencia y rentabilidad, alineando estos procesos con los objetivos estratégicos.

⁷ ISO - International Organization for Standardization.

⁸ ICONTEC - Instituto Colombiano de Normas Técnicas.

⁹ NTC - Norma Técnica Colombiana.

¹⁰ ISO 55001 - Norma internacional que define los requisitos para un sistema de gestión de activos, 2014.

Destaca el impacto de la digitalización y tecnologías emergentes en la transformación de la gestión de activos, mejorando la toma de decisiones y la eficiencia operativa. También aborda la adaptación de prácticas para enfrentar desafíos de sostenibilidad y cambio climático, y su papel en el desarrollo de infraestructuras en ciudades inteligentes (Lipsey, 2018).

La Planta de Enriquecimiento de Biogás PTAR San Fernando enfrenta importantes desafíos en la gestión de sus activos, lo que afecta tanto la toma de decisiones como la sostenibilidad del negocio de gas. A pesar de los esfuerzos previos, persisten dificultades para proporcionar información completa, confiable, disponible y oportuna sobre los activos. Para abordar este problema, es fundamental optimizar la gestión de los activos a lo largo de su ciclo de vida, desde la adquisición hasta la desincorporación, mediante el diseño de estrategias de buenas prácticas y la aplicación de metodologías de gestión de activos (Gabriel & Sierra, 2017).

Objetivos

General

Mejorar la gestión de los activos en la Planta de Enriquecimiento de Biogás PTAR San Fernando a lo largo de todo su ciclo de vida, desde la adquisición hasta la desincorporación, optimizando el desempeño y los costos, mitigando los riesgos, y garantizando la seguridad de las personas y la protección del medio ambiente, de acuerdo con la norma NTC ISO 55001 (Ortega & Salvo, 2022).

Específicos

UNO - Metodologías efectivas

Identificar y evaluar las metodologías actuales más efectivas para la gestión del ciclo de vida de los activos.

DOS - Optimización y mitigación

Implementar y aplicar estrategias que optimicen el desempeño y los costos de los activos a lo largo de su ciclo de vida, y que mitiguen eficazmente los riesgos asociados con la gestión de activos.

TRES - Seguridad y protección

Diseñar un sistema que garantice la seguridad de las personas y la protección del medio ambiente en todas las fases de la gestión de activos.

CUATRO - Mejora de información

Mejorar la integridad, confiabilidad, disponibilidad y oportunidad de la información de los activos mediante la implementación de buenas prácticas y tecnologías adecuada.

Marco teórico

Desde los albores de la humanidad, las personas han cuidado de sus activos, comenzando con la invención de herramientas. A lo largo del tiempo, las organizaciones han perfeccionado disciplinas y funciones especializadas para crear, utilizar y mantener tanto activos tangibles como intangibles, definiendo estas actividades como acciones sobre los activos (Harari, 2014).

En las últimas dos décadas, la gestión de activos ha emergido como un enfoque integral que une diversas actividades con el objetivo de maximizar el valor total generado para la organización. Este enfoque busca la utilización eficiente de los activos durante todo su ciclo de vida, gestionando simultáneamente los riesgos asociados. La gestión de activos alinea los objetivos y metas de la organización con el portafolio de activos bajo su administración, permitiendo así alcanzar dichos objetivos de manera más efectiva (Empresas Públicas de Medellín E.S.P., 2024).

Principios fundamentales y normas en la gestión de activos

Las normas en la gestión de activos guían la toma de decisiones y administración de recursos. Incluyen la valoración de activos, evaluación de riesgos y estrategias de diversificación para maximizar el rendimiento. Es esencial un seguimiento y revisión periódica de los activos para alinearlos con los objetivos de la organización. Además, las regulaciones promueven la transparencia en los informes, mejorando la comunicación y confianza.

Estas directrices optimizan el rendimiento financiero y fomentan una gestión responsable y sostenible de los activos, proporciona una guía para que las empresas de servicios públicos

optimicen la gestión de sus activos, alineándose con los objetivos estratégicos de la organización (Deadman, 2016).

Explora estrategias para maximizar el valor de los activos durante su ciclo de vida, destacando la identificación y mitigación de riesgos y el uso de tecnologías avanzadas. Enfatiza la alineación de la gestión de activos con los objetivos estratégicos, mejora la eficiencia operativa y asegura la continuidad y seguridad. Discute el uso de sistemas ciberfísicos y gemelos digitales, e incluye estudios de caso prácticos que ilustran la aplicación de las teorías discutidas (Mejía, Nuñez, Villanueva, & Jaraba, 2024).

La norma internacional ISO 55000¹¹:2014: titulada Gestión de activos: titulada, Gestión de activos: Aspectos generales, principios y terminología, proporciona una visión integral de la gestión de activos y los sistemas de gestión de activos (International Organization for Standardization, 2014). Define términos clave y principios relacionados con la gestión de activos, abarcando todo su ciclo de vida. Esta norma establece las bases para las normas ISO 55001 e ISO 55002 (Ramos & Reales Villa, 2023).

La NTC ISO 55000 define la gestión de activos como la actividad coordinada de una organización para obtener valor de los activos. En este contexto, un activo se refiere a un ítem, objeto o entidad con valor real o potencial para una organización. La actividad incluye aspectos como enfoque, planificación e implementación (International Organization for Standardization, 2014). La gestión de activos busca apoyar el logro de los objetivos organizacionales y maximizar

¹¹ ISO 55000 - Norma internacional que proporciona una visión general, principios y terminología para la gestión de activos, 2014.

el valor generado por los activos. Por lo tanto, las decisiones tomadas deben equilibrar el desempeño de los activos, los costos asociados y los riesgos, considerando el entorno operativo y sus limitaciones (The Institute of Asset Management, 2015).

La norma NTC ISO 55001 proporciona directrices específicas para la gestión de activos, y su numeral 6.2 se enfoca en la toma de decisiones y la priorización de actividades y recursos. La organización debe definir y documentar métodos y criterios para tomar decisiones relacionadas con los activos, basándose en buenas prácticas y metodologías de gestión de activos (Ang, 2014).

Aunque no es una norma ISO, la especificación pública PAS 55¹² también se centra en la optimización de la gestión de activos físicos e infraestructura. Al igual que la ISO 55000, la PAS 55 considera el ciclo de vida completo del activo, desde su creación o adquisición hasta su disposición final. Proporciona directrices para la gestión de activos empresariales, abarcando etapas como planeación, diseño, compras, almacenes, construcción, operación, mantenimiento y disposición final. El número y nombre de las etapas varían según la organización y la naturaleza de los activos (Crouch, 2012).

La gestión del ciclo de vida de los activos es crucial para mantener su funcionamiento eficiente y sostenible a lo largo del tiempo. Estas normas ofrecen valiosa orientación para implementar buenas prácticas y estrategias en este ámbito (International Organization for Standardization, 2014).

¹² PAS 55 - Norma internacional que proporciona una guía para la gestión de activos. Fue desarrollada por la *Publicly Available Specification (PAS)* del *Institute of Asset Management (IAM)*.

Modelo de gestión de activos según ISO 55000

La serie ISO 55000 (55000, 55001 y 55002) establece un conjunto de buenas prácticas de clase mundial en la gestión de activos, facilitando la alineación con los objetivos estratégicos y el manejo controlado de riesgos, lo que impacta positivamente en la competitividad organizacional. Implementar estas metodologías y buenas prácticas permite optimizar el uso de recursos, maximizar el valor de los activos y contribuir al logro de los objetivos estratégicos.

Aplicar buenas prácticas y metodologías sólidas en la gestión de activos es fundamental para garantizar la eficiencia, seguridad y sostenibilidad a lo largo de su ciclo de vida. Una gestión adecuada es crucial para optimizar costos, prolongar la vida útil de los activos y reducir riesgos. Entre las metodologías específicas utilizadas se encuentran la taxonomía, el análisis de criticidad, el mantenimiento predictivo, la gestión de riesgos, el manejo del cambio, el costo del ciclo de vida y la planificación estratégica (Dhillon, 2006).

Estrategias de gestión de activos

El diseño de estrategias de gestión de activos en la planta de enriquecimiento de Biogás PTAR San Fernando se fundamenta en metodologías y buenas prácticas internacionales, con el objetivo de optimizar el rendimiento y la sostenibilidad de la planta. Estas estrategias comprenden la evaluación y selección de intervenciones de renovación, mantenimiento y disposición, garantizando el mejor valor total mediante la consideración de costos, riesgos, desempeño y sostenibilidad (Moble, Maintenance Engineering, 2007).

Las actividades organizacionales destinadas a equilibrar los costos y beneficios de intervenciones como la renovación, el mantenimiento mayor y la disposición, buscan asegurar el

mejor valor total. Esto se logra al considerar la interacción entre las actividades del ciclo de vida y al definir la combinación óptima de estrategias, lo que incluye los efectos en costos, riesgos, desempeño y sostenibilidad. Por lo general, el valor total se evalúa tanto a nivel del sistema de activos como del portafolio de activos (The Institute of Asset Management, 2015).

Metodologías y normativas en la gestión de activos

Las metodologías empleadas pueden abarcar el Análisis de Modos de Fallas y Efectos - FMEA¹³-, el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad -RCM¹⁴- y la Inspección Basada en Riesgos -RBI¹⁵-, todas ellas alineadas con las directrices de la ISO 31000¹⁶ (International Organization for Standardization, 2018) e ISO 31010¹⁷ (Organización Internacional de Normalización (ISO) y la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), 2019) para una gestión de riesgos efectiva. Este enfoque integral asegura que el valor total se considere tanto a nivel del sistema de activos como del portafolio de activos, promoviendo la eficiencia operativa y la sostenibilidad a largo plazo (Moubray, 1997).

La ISO 31000 y la ISO 31010 proporcionan directrices adicionales sobre buenas prácticas para la evaluación y gestión de activos. La ISO 31000 (International Organization for Standardization, 2018) establece los principios y directrices generales para la gestión de riesgos, mientras que la ISO 31010 (Organización Internacional de Normalización (ISO) y la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), 2019) complementa esta norma proporcionando técnicas

¹³ FMEA - Análisis de Modos de Fallas y Efectos.

¹⁴ RCM - Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

¹⁵ RBI - Inspección Basada en Riesgos

¹⁶ ISO 31000 - Norma internacional que proporciona directrices y principios para la gestión de riesgos, ayudando a las organizaciones a identificar, evaluar y gestionar los riesgos de manera efectiva

¹⁷ ISO 31010 - Norma que ofrece técnicas y recomendaciones para la evaluación de riesgos, complementando la ISO 31000 y proporcionando herramientas específicas para la identificación y evaluación de riesgos en diversas situaciones

específicas para la identificación, evaluación y tratamiento de riesgos. Estas normas son fundamentales para cualquier organización que busque optimizar sus procesos de gestión de riesgos y asegurar la sostenibilidad y el desempeño de sus activos (Hull, 2018).

Eficiencia y sostenibilidad en plantas de biogás

Para garantizar la eficiencia y sostenibilidad de una planta de biogás, es esencial aplicar buenas prácticas y metodologías probadas. Estas prácticas no solo mejoran la eficiencia operativa, sino que también promueven la sostenibilidad ambiental y económica de la planta (García A. J., 2015).

Tabla 1

Prácticas y sus descripciones

Práctica	Descripción
Inspecciones regulares	Realizar inspecciones periódicas para identificar y corregir problemas antes de que se conviertan en fallos mayores.
Plan de mantenimiento	Implementar un plan de mantenimiento preventivo y correctivo para asegurar el funcionamiento continuo y eficiente de la planta.
Balance de masa	Calcular el balance de masa para identificar pérdidas y optimizar el proceso de producción.
Análisis del digestato	Evaluar el potencial de metano residual en el digestato para maximizar la producción de biogás.
Control de emisiones	Implementar medidas para controlar las emisiones de gases y minimizar el impacto ambiental.
Eficiencia energética	Optimizar el uso de energía dentro de la planta para reducir costos y mejorar la sostenibilidad.
Gestión de residuos	Gestionar adecuadamente los residuos generados para minimizar el impacto ambiental y cumplir con las normativas locales.

Nota: Realizado (Bran Quiroz & Berdugo Corredor, 2024)

Directrices para la gestión de activos

Para diseñar estrategias eficientes y sostenibles en la gestión de activos de la planta de enriquecimiento de Biogás PTAR San Fernando, es esencial seguir las directrices y requisitos establecidos por las normas ISO 55000, ISO 55001 e ISO 55002¹⁸. Estas normas proporcionan un marco comprensivo de buenas prácticas que optimizan el rendimiento y aseguran el alineamiento con los objetivos estratégicos de la organización (Romero Rojas, 1999).

ISO 55000: Aspectos generales y principios

A continuación, se presentan los aspectos generales y principios de la ISO 55000, que son fundamentales para la gestión de activos y abordan aspectos claves del ciclo de vida de los activos y la gestión del riesgo.

Tabla 2

Aspectos generales y principios

Aspectos generales y principios de ISO 55000	Descripción
Enfoque en el ciclo de vida de los activos	<p>Adquisición: Selección de equipos y tecnologías que maximicen la eficiencia y minimicen los costos operativos.</p> <p>Operación y mantenimiento: Implementación de programas de mantenimiento preventivo y correctivo para asegurar la continuidad operativa.</p> <p>Desmantelamiento: Planificación para la disposición final de los activos de manera segura y sostenible.</p>
Gestión del riesgo	<p>Identificación y evaluación: Identificar riesgos asociados con los activos y evaluar su impacto potencial en la operación de la planta.</p> <p>Mitigación: Desarrollar planes de contingencia y estrategias de mitigación para reducir la probabilidad y el impacto de los riesgos.</p>

Nota: Realizado (Bran Quiroz & Berdugo Corredor, 2024)

¹⁸ ISO 55002 - Norma internacional que proporciona las directrices para la aplicación de ISO 55001

ISO 55001: Requisitos del sistema de gestión de activos

Los siguientes requisitos del sistema de gestión de activos de ISO 55001 son fundamentales para asegurar una gestión efectiva y alineada con los objetivos estratégicos de la organización (Amendola & Depool, 2018).

Tabla 3

Requisitos del sistema de gestión de activos

Requisitos del sistema de gestión de activos de ISO 55001	Descripción
Política de gestión de activos	Definición y comunicación: Establecer una política clara de gestión de activos y comunicarla a todos los niveles de la organización. Alineación con los objetivos organizacionales: Asegurar que la política de gestión de activos esté alineada con los objetivos estratégicos de la planta.
Planificación y control	Plan Estratégico de Gestión de Activos: Desarrollar un PEGA ¹⁹ que incluya objetivos, metas y planes de acción específicos. Monitoreo y Medición: Implementar sistemas de monitoreo y medición para evaluar el desempeño de los activos y ajustar las estrategias según sea necesario.

Nota: Realizado (Bran Quiroz & Berdugo Corredor, 2024)

ISO 55002: Directrices para la aplicación de ISO 55001

Se describen aspectos claves de la aplicación de la ISO 55001 (ISO 55002), destacando la implementación de buenas prácticas y el cumplimiento de sostenibilidad y normativas (Rosique & Crespo - Márquez, 2016).

¹⁹ PEGA - Plan Estratégico de Gestión de Activos.

Tabla 4

Directrices para la aplicación de ISO 55001

Directrices para la aplicación de ISO 55001 - ISO 55002	Descripción
Implementación de buenas prácticas	Capacitación y Desarrollo: Proveer capacitación continua a los empleados para asegurar que estén al tanto de las mejores prácticas y tecnologías emergentes.
Sostenibilidad y Cumplimiento Normativo	Mejora Continua: Implementar un ciclo de mejora continua basado en los datos recolectados y el análisis de desempeño. Cumplimiento Ambiental: Asegurar que todas las operaciones cumplan con las normativas ambientales locales e internacionales. Eficiencia Energética: Optimizar el uso de energía y recursos para reducir el impacto ambiental y los costos operativos.

Nota: Realizado (Bran Quiroz & Berdugo Corredor, 2024)

Estrategias para la gestión eficiente y sostenible

Las siguientes estrategias están basadas en las normas ISO 55000, 55001 y 55002, y abordan la optimización del proceso de digestión anaeróbica y la gestión de residuos y emisiones en la Planta de Enriquecimiento Biogás PTAR San Fernando (Barlow, 2006).

Tabla 5

Estrategias de gestión basadas en normas ISO

Estrategias basadas en las normas ISO 55000, 55001 y 55002	Descripción
Optimización del proceso de digestión anaeróbica	Monitoreo de Parámetros Críticos: Implementar sistemas de monitoreo en tiempo real para parámetros como temperatura, pH y concentración de nutrientes. Control de Calidad del Digestato: Asegurar que el digestato producido cumpla con los estándares de calidad para su uso como fertilizante.
Gestión de residuos y emisiones	Tratamiento de Residuos: Implementar tecnologías avanzadas para el tratamiento de residuos y minimizar las emisiones de gases.

Estrategias basadas en las normas ISO 55000, 55001 y 55002	Descripción
	Reciclaje y Reutilización: Promover el reciclaje y la reutilización de subproductos del proceso de Biogás.

Nota: Realizado (Bran Quiroz & Berdugo Corredor, 2024)

Eficiencia y eficacia a través de sistemas integrados de gestión

En un entorno competitivo, las empresas deben ser eficaces y eficientes, ofreciendo productos de alta calidad y optimizando recursos. La toma de decisiones informada equilibra costos, riesgos y desempeño. La innovación y unificación de procesos mediante sistemas integrados de gestión eliminan redundancias, reduciendo esfuerzo, tiempo y costos (Sánchez C. , 2011).

Un sistema de gestión coordina elementos interrelacionados dentro de una organización para alcanzar objetivos establecidos. Incluye estructura organizativa, roles, responsabilidades, planificación y operación. Los sistemas integrados de gestión abarcan calidad, medio ambiente, gestión de activos, riesgos y seguridad en un solo modelo. Gestionarlos por separado puede duplicar procesos y generar trabajo adicional (The Institute of Asset Management, 2015).

Fundamentos y prácticas esenciales en la gestión de activos

La gestión de activos maximiza el valor de los activos de una organización equilibrando costos, riesgos y beneficios. Se integra con otros sistemas de gestión como calidad, medio ambiente, riesgos, y salud y seguridad. Sus fundamentos son valor, alineación, liderazgo y aseguramiento, con un enfoque en todo el ciclo de vida del activo y toma de decisiones informada.

La integración se guía por el anexo SL²⁰ de la ISO y la serie de normas ISO 55000, creando un sistema de gestión integrado (Lloyd & Corcoran, 2019).

La gestión de activos requiere buenas prácticas en planificación, programación, implementación, ejecución y evaluación para crear sistemas integrados alineados con las necesidades organizacionales. Utiliza herramientas como Lean²¹, Six Sigma²² y mantenimiento centrado en confiabilidad para mejorar la toma de decisiones y actividades operativas. La toma de decisiones efectiva es crucial en todas las etapas del ciclo de vida de los activos: adquisición, operación, mantenimiento y fin de la vida útil, influyendo en el rendimiento y costos futuros (Moubray, 1997).

Los aspectos tangibles como los activos físicos, el liderazgo y la cultura organizacional son esenciales para el éxito y la sostenibilidad. Sin liderazgo y comportamientos adecuados, una organización no puede alcanzar sus objetivos.

²⁰ Anexo SL - *Simplified Layout*, es una estructura de alto nivel que define la organización de las normas ISO de sistemas de gestión.

²¹ *Lean* - Se centra en mejorar el flujo de trabajo y eliminar actividades que no agregan valor.

²² *Six Sigma* - Utiliza un enfoque basado en datos y técnicas estadísticas para identificar y eliminar causas de variabilidad.

Estado del arte

A continuación, se enumeran algunos conceptos destacados por la comunidad científica que respaldan el campo de la gestión de activos físicos desde diversas perspectivas. Estos trabajos abordan aspectos cruciales como la integración global, la eficacia y eficiencia en el mantenimiento y la planificación, las competencias necesarias, y el cumplimiento normativo. La gestión de activos físicos es fundamental para maximizar el valor de los activos a lo largo de su ciclo de vida, optimizando recursos y garantizando la sostenibilidad y la responsabilidad social empresarial.

Estrategias de ingeniería y gestión de activos para la eficiencia operativa y sostenibilidad

La ingeniería de mantenimiento asegura la disponibilidad y eficiencia operativa de equipos a lo largo de su ciclo de vida, combinando ingeniería, gestión y tecnología para minimizar inactividad y costos. Utiliza técnicas predictivas, preventivas y correctivas para identificar y planificar intervenciones efectivas. Además, mejora continuamente los procesos mediante herramientas de gestión de datos y análisis, contribuyendo a la productividad y sostenibilidad de la organización (Márquez & Crespo - Marquez, 2012).

La integración de activos físicos en los procesos empresariales asegura que cada componente funcione de manera óptima y esté alineado con los objetivos estratégicos. Una estrategia global de gestión de activos mejora la competitividad y sostenibilidad mediante prácticas de ingeniería de mantenimiento, enfocándose en la prevención de fallos y optimización del ciclo de vida de los activos. Destaca el uso de tecnologías avanzadas y metodologías innovadoras para maximizar el valor de los activos y mejorar el desempeño general (Rodríguez Á. S., 2010).

La gestión del mantenimiento requiere una planificación adecuada, alineación con objetivos estratégicos y asignación de recursos para diseño, implementación y seguimiento del mantenimiento. Estas prácticas incluyen la formación del personal y la implementación de tecnologías avanzadas, asegurando la eficiencia operativa, sostenibilidad a largo plazo y optimización del ciclo de vida de los activos (Rodríguez J. A., 2008) (Hernández, Martínez Pérez, Vilalta Alonso, García Fenton, & Basile Wilson, 2022).

Gestión integral de activos: Enfoques, estrategias y tecnologías avanzadas

La gestión de activos maximiza el valor de los recursos a lo largo de su ciclo de vida. Abarca la planificación, adquisición, operación, mantenimiento y disposición, alineándose con los objetivos organizacionales. Utiliza análisis de costos y beneficios, gestión de riesgos y tecnologías avanzadas para optimizar rendimiento y eficiencia. Además de aspectos financieros, incluye sostenibilidad y responsabilidad social, promoviendo un uso consciente de los recursos y contribuyendo al desarrollo a largo plazo de la organización y la comunidad (Campbell & Jardine, Asset Management Excellence, 2010).

Un marco conceptual para la gestión de activos se centra en la eficiencia y eficacia de las instalaciones, integrando sistemas de gestión y tecnologías emergentes como sistemas ciberfísicos y gemelos digitales para optimizar la gestión de activos (Rosique & Crespo - Márquez, 2016).

La importancia de gestionar todo el ciclo de vida de los activos, desde la adquisición hasta la disposición final. Aseguran que una gestión óptima en cada etapa permite maximizar el valor y minimizar los costos asociados. Subrayan la necesidad de decisiones basadas en el valor a largo plazo y la sostenibilidad, mejorando la confiabilidad, disponibilidad y rendimiento de los activos,

y contribuyendo a una mayor competitividad y eficiencia operativa (Márquez & Crespo - Marquez, 2012).

La planificación del mantenimiento es crucial en la gestión de activos físicos, proponiendo aplicaciones prácticas para mejorar la capacidad y continuidad de los medios de trabajo. Se propone una metodología que incluye la observación directa, entrevistas y análisis de documentos para la captación y procesamiento de datos primarios. Los resultados obtenidos permiten una mejor definición de los elementos necesarios para la planificación del mantenimiento, contribuyendo así a la mejora de la capacidad efectiva y la continuidad operativa de los activos (Hernández, Martínez Pérez, Vilalta Alonso, García Fenton, & Basile Wilson, 2022).

Gestión de activos físicos: estrategias y beneficios según ISO 55001:2014

La gestión de activos físicos según ISO 55001:2014 se centra en reducir riesgos y optimizar el valor de los activos. Abarca diagnóstico, mejora del rendimiento, reducción de riesgos, planificación estratégica y uso de indicadores, mejorando la eficiencia y competitividad a largo plazo. Además, subraya la importancia de la planificación estratégica, la implementación de estrategias efectivas y el uso de indicadores de rendimiento. Todo esto promueve transparencia, responsabilidad y una cultura de mejora continua, aumentando la confianza y reputación de la organización (International Organization for Standardization, 2014).

Se centran en el diseño de un sistema de gestión de activos físicos según la norma ISO 55001:2014. Su objetivo es diagnosticar y mejorar el rendimiento, optimizar el valor y aumentar la rentabilidad, reduciendo riesgos y costos innecesarios mediante la implementación de prácticas de gestión de activos basadas en esta norma (Ganchozo, Valero Yarlequé, & Vera Macías, 2020).

Mientras tanto enfatizan que la planificación estratégica e implementación de estrategias efectivas son esenciales para alinear los objetivos de la gestión de activos con los objetivos estratégicos de la organización. El uso de indicadores de rendimiento permite medir y evaluar continuamente la eficacia de las prácticas de gestión de activos, facilitando la toma de decisiones informada (Sánchez C. , 2011).

Desarrollo Metodológico

Las metodologías no solo mejoran la eficiencia operativa, sino que también contribuyen significativamente a la sostenibilidad y la rentabilidad de la planta de enriquecimiento Biogás PTAR San Fernando. Al implementar una taxonomía de activos, se facilita la organización y gestión sistemática de los equipos, lo que reduce el tiempo de inactividad y optimiza el uso de recursos (Mobley, Mantenimiento, 2007).

El análisis de criticidad permite priorizar los activos más importantes, asegurando que los esfuerzos de mantenimiento se concentren en los puntos más críticos, lo que minimiza el riesgo de fallos catastróficos. El análisis de causa raíz -RCA²³- ayuda a identificar y corregir problemas recurrentes, mejorando la confiabilidad y prolongando la vida útil de los activos. Los planes de mantenimiento, tanto preventivo como predictivo, aseguran que los equipos se mantengan en condiciones óptimas, reduciendo costos a largo plazo y mejorando la eficiencia operativa (Graves, 2014).

El manejo del cambio en la gestión de activos es esencial para asegurar que las modificaciones en sistemas, procesos o estructuras no introduzcan nuevos riesgos, y que estas se implementen de manera eficiente y efectiva. Finalmente, la toma de decisiones basada en datos y análisis robustos garantiza que las inversiones en mantenimiento y reemplazo de activos se realicen de manera informada y estratégica, maximizando el retorno de inversión y contribuyendo a la sostenibilidad económica y ambiental de la planta de Biogás (U.S. Department of Energy, 1992).

²³ RCA - *Inglés Root Cause Analysis*, Castellano Análisis de Causa Raíz.

Taxonomía

La norma ISO 14224:2016²⁴ clasifica elementos en grupos genéricos por ubicación, uso y subdivisión, aplicada en industrias del petróleo, petroquímica y gas natural. Facilita la recolección de datos de confiabilidad y mantenimiento durante el ciclo de vida de los equipos, mejorando su gestión y la toma de decisiones sobre activos proporciona una guía para la gestión eficaz de activos, maximizando rendimiento y vida útil mientras minimiza costos y riesgos. Aborda planificación de mantenimiento, gestión de riesgos y decisiones basadas en datos. Incluye métodos para mantenimiento preventivo y predictivo, técnicas para mitigar riesgos, y estudios de caso prácticos (Campbell & Jardine, Asset Management Excellence, 2010).

La norma establece una jerarquía taxonómica de nueve niveles para la recolección y análisis de datos, desde el tipo de industria hasta la subdivisión de partes. Detalla las acciones para vincular los activos productivos a la organización, usando el sistema de información EAM²⁵ para asegurar la trazabilidad y gestión adecuada de los activos.

Jerarquía

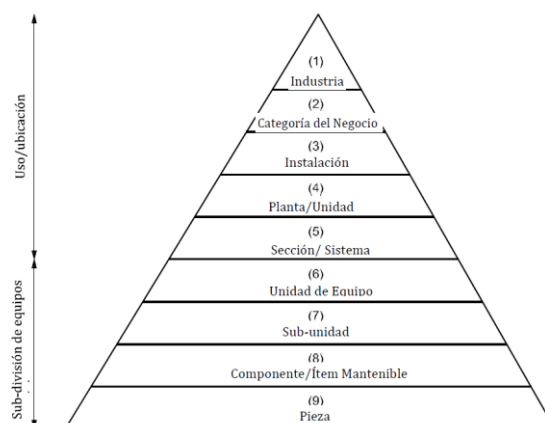
Es una estructura de datos enlazada, similar a un árbol genealógico, que organiza registros de activos desde el nivel más bajo hasta el más general. Según la norma ISO 14224:2016, la jerarquía tiene nueve niveles, con una definición específica para cada uno (Wireman, 2004).

²⁴ ISO 14224:2016 - Norma internacional que se aplica a las industrias del petróleo, petroquímica y gas natural.

²⁵ EAM – Inglés *Enterprise Asset Management*, Castellano Gestión de Activos Empresariales.

Ilustración 3

Modelo de taxonomía que adopta el Grupo Epm



Nota: Tomado (International Organization for Standardization, 2016)

Los niveles 1 al 5 en la norma ISO 14224:2016 representan una categorización de alto nivel en relación con la aplicación en la industria y las plantas, incluyendo datos de uso y ubicación para cada equipo. Los niveles 6 al 9 se centran en el inventario del equipo y su subdivisión jerárquica, permitiendo la recolección de datos de confiabilidad y mantenimiento a nivel de unidad de equipo nivel 6 y subunidades. El número de niveles de subdivisión depende de la complejidad del equipo y del uso de los datos (Moubray, 1997).

Para análisis de disponibilidad, la confiabilidad a nivel de unidad puede ser suficiente, pero un análisis de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad -RCM- y de causa raíz puede requerir datos más detallados sobre los componentes o ítems mantenibles (International Electrotechnical Commission (IEC), 2015) . A continuación, se presenta la clasificación de la taxonomía con sus respectivos niveles taxonómicos (Smith, 2004).

Ilustración 4

Clasificación de la taxonomía con niveles

Categoría Principal	Nivel Taxonómico	Jerarquía de Taxonomía	Definición
Datos de uso/ ubicación	1	Industria	Tipo de industria principal
	2	Categoría del Negocio	Tipo de negocio o flujo de procesos
	3	Categoría de Instalación	Tipo de instalación
	4	Categoría de Planta/ Unidad	Tipo de planta/unidad
	5	Sección/ Sistema	Sección/sistema principal de la planta
Subdivisión de equipos	6	Clase de equipo/ unidad	Clase de equipos similares. Cada clase de equipo contiene unidades de equipos comparables (ej. compresores).
	7	Sub-unidad	Un subsistema necesario para la función del equipo
	8	Componente/ Ítem Mantenible (MI) ^a	El grupo de piezas del equipo que comúnmente se mantienen (se reparan/se restauran) como un todo
	9	Pieza ^b	Una parte individual del equipo

Nota: Tomado (International Organization for Standardization, 2016)

La Planta de Enriquecimiento de Biogás PTAR San Fernando está compuesta por 10 unidades en el nivel 4 y 26 secciones o sistemas en el nivel 5. A continuación, se propone la siguiente codificación para los niveles 1, 2, 3, 4 y 5, correspondientes a las ubicaciones. La codificación de los activos en los niveles 6 al 8 es numérica y se genera automáticamente a través del aplicativo EAM MÁXIMO²⁶, proporcionando un ID único utilizado por la empresa (Crouch, 2012).

Tabla 6

Codificación taxonomía planta Biogás PTAR San Fernando

NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4	NIVEL 5	CODIGO
GAS_	BIO_	PRET_	DESH	GAS_BIO_PRET_DESH
		COMPR_	COBIO	GAS_BIO_COMPR_COBIO
		PTAEN_	PSA	GAS_BIO_PTAEN_PSA
		GAESC_	SIVAC	GAS_BIO_GAESC_SISVAC
		ERM_	FIL	GAS_BIO_ERM_FIL
		PERI_	ACOM	GAS_BIO_PERIF_ACOMET
		SIELE_	SIPOT	GAS_BIO_SISELE_SISLOT
		COCOM_	TABL	GAS_BIO_CTRLCOM_TABL
		COINC_	SISBOM	GAS_BIO_COINC_SISDETNOT
		OBCIV_	CONSCIV	GAS_BIO_OBRACIV_CONSCIV
GAS	BIO_	PRETRATAMIENTO	DESHUMIFICADOR	
		COMPRESIÓN	COMPRESIÓN BIOGÁS	
		PLANTA ENRIQUECIMIENTO	PSA	
		GASES DE ESCAPE	SISTEMA DE VACIO	
		ERM	FILTRACIÓN	
		PERIFERICOS	ACOMETIDA	
		SISTEMA ELÉCTRICO	SISTEMA DE POTENCIA	
		CONTROL Y COMUNICACIONES	TABLEROS	
		CONTRAINCENDIO	SISTEMA DE DETECCIÓN Y NOTIFICACIÓN	
		OBRA CIVIL	CONSTRUCCIÓN CIVIL	

Nota: Realizado (Bran Quiroz & Berdugo Corredor, 2024)

²⁶ EAM MÁXIMO - Solución integral o aplicativo de Gestión de Activos Empresariales.

Pasos para implementar un proceso de taxonomía de activos

Se presenta los pasos detallados para implementar un proceso de taxonomía de activos, destacando cada etapa y sus acciones específicas. Este enfoque sistemático permite mejorar la eficiencia y efectividad de la gestión de activos, optimizando el uso de recursos y asegurando la sostenibilidad y continuidad operativa de la organización (Ganchozo, Valero Yarlequé, & Vera Macías, 2020).

Tabla 7

Pasos para implementar un proceso de taxonomía de activos

Pasos	Descripción
Definir los criterios de parametrización, clasificación, codificación y descripción	Establecer criterios claros para la parametrización, clasificación, codificación y descripción de los activos, asegurando uniformidad y consistencia.
Concretar la información técnica a recopilar	Determinar la información técnica a recopilar para cada activo, como especificaciones, manuales, historial de fallas y datos de desempeño.
Realizar el inventario físico de los activos	Realizar un inventario físico exhaustivo de todos los activos, identificando y registrando cada activo en su ubicación actual.
Elaborar los diagramas de bloques de activos e instalaciones	Elaborar diagramas de bloques que representen la disposición y conexión de los activos e instalaciones.
Registrar y actualizar los datos en el sistema de información	Registrar y actualizar toda la información recopilada en el sistema de información de gestión de activos.
Identificar físicamente los activos	Identificar físicamente los activos utilizando etiquetas o códigos de barras correspondientes con la información registrada.
Elaborar los Despieces	Elaborar los despieces de los activos, desglosándolos en sus componentes y subcomponentes.
Recopilar la información técnica de los activos	Recopilar la información técnica de los activos, como manuales de operación y mantenimiento, especificaciones y datos de desempeño.
Identificar los activos padres y activos hijo o componentes mayores	Identificar los activos padres y los activos hijo o componentes mayores, facilitando una gestión jerárquica y estructurada.

Nota: Realizado (Bran Quiroz & Berdugo Corredor, 2024)

A través de la taxonomía, es posible obtener y generar información decisiva para llevar a cabo los procesos de mantenimiento de manera efectiva y eficiente. La taxonomía, en este contexto, se refiere a la clasificación y organización sistemática de los activos, facilitando una gestión más estructurada y accesible de la información (Amendola & Depool, 2018).

Criticidad

La criticidad se refiere a las consecuencias de las fallas funcionales, considerando su frecuencia o probabilidad de ocurrencia. Un activo crítico es aquel que, según la norma ISO 55000, tiene un impacto potencial y significativo en los logros y objetivos de la organización (International Organization for Standardization, 2014). La criticidad es el término utilizado para determinar la importancia de una máquina o activo en el proceso productivo o en la prestación del servicio (Davidow, 2017).

Objetos de impacto

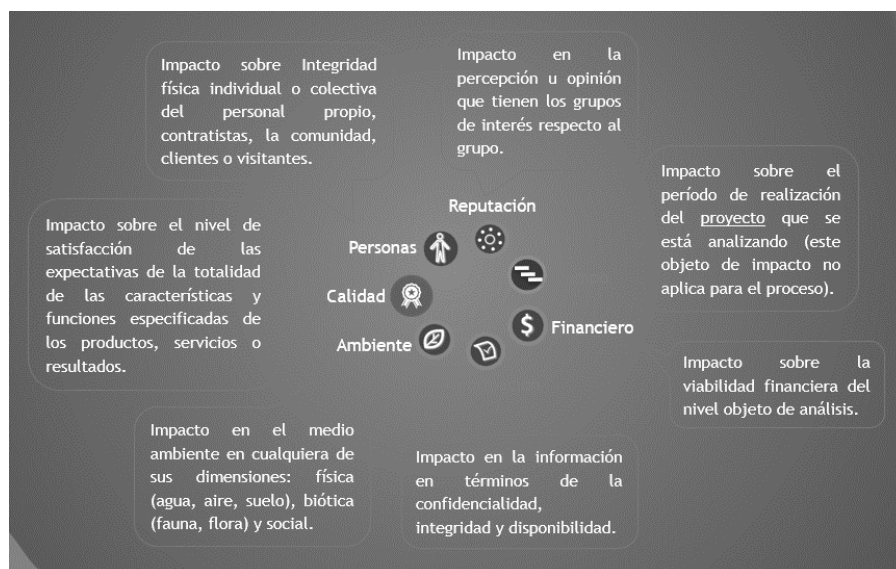
Se refiere a los elementos específicos afectados por una acción o proyecto durante una evaluación de impacto. Cada uno de estos objetos de impacto debe ser evaluado cuidadosamente para comprender las consecuencias potenciales y tomar decisiones informadas que minimicen los riesgos negativos y maximicen los beneficios, subrayan la importancia de integrar la gestión de riesgos en los procesos organizativos para apoyar los objetivos estratégicos (Coleman, 2016).

Coleman detalla métodos para identificar y evaluar riesgos potenciales, estrategias para mitigarlos y asegura la continuidad operativa a lo largo del ciclo de vida de los activos, presentando estudios de caso prácticos. Por su parte, explica los conceptos básicos de la gestión de riesgos, su relevancia en la toma de decisiones estratégicas y el impacto de la tecnología y el análisis de datos en la gestión de riesgos. Además, discute tendencias futuras y enfatiza la necesidad de equilibrar riesgo y recompensa, ilustrando estos conceptos con estudios de caso (Lam, 2014).

La combinación de estos enfoques proporciona una visión integral y práctica de la gestión de riesgos, mejorando la capacidad organizacional para anticipar y mitigar riesgos, optimizar recursos y asegurar la sostenibilidad a largo plazo.

Ilustración 5

Objetos de impacto



Nota: Tomado (Empresas Públicas de Medellín E.S.P., 2018)

Matriz de criticidad

Una matriz de criticidad es una herramienta esencial en la gestión de mantenimiento y activos, que permite evaluar y priorizar equipos o componentes según su importancia y el impacto de sus fallas en el proceso productivo. La matriz clasifica los equipos en niveles de criticidad basándose en dos dimensiones principales: probabilidad de falla e impacto de las fallas (Sánchez J. L., 2010).

Tabla 8

Dimensiones principales

Concepto	Descripción
Probabilidad de falla	La frecuencia con la que un equipo puede fallar.
Impacto de la falla	Las consecuencias que tendría la falla de ese equipo en los objetos de impacto.

Nota: Realizado (Bran Quiroz & Berdugo Corredor, 2024)

La matriz de criticidad de equipos se utiliza para evaluar y priorizar los equipos en función de su importancia y el impacto que su posible falla podría tener en la operación de una planta o sistema. Esta herramienta es esencial para identificar cuáles equipos son críticos y, por lo tanto, deben recibir atención prioritaria en términos de mantenimiento y asignación de recursos (Wireman, Maintenance Strategy, 2004).

Ilustración 6

Matriz de criticidad



Nota: Tomado (Empresas Públicas de Medellín E.S.P., 2018)

Pasos para realizar la criticidad de activos

Para realizar un análisis de criticidad de activos efectivo en la planta de enriquecimiento Biogás PTAR San Fernando, es fundamental seguir una serie de pasos estructurados que permiten evaluar de manera integral la función y los posibles fallos de cada activo. A continuación, se presenta un cuadro con los pasos claves que deben seguirse en este proceso (Mobley, Maintenance Engineering, 2007).

Tabla 9

Pasos claves para análisis de criticidad

Pasos para realizar la criticidad de activos	Descripción
Información del activo	Taxonomía, fallas asociadas a cada activo, información técnica, contexto operativo y estudios previos.
Talleres de Análisis	Grupo multidisciplinario.
Construcción de tablas de valoración	Frecuencia/probabilidad y consecuencias.
Para cada equipo	Determinar la función principal.
Cálculo de la criticidad	Modo de falla de la función principal y frecuencia x consecuencia.
Resultado de criticidad	Toma el máximo valor de los 5 impactos.

Nota: Realizado (Bran Quiroz & Berdugo Corredor, 2024)

Este análisis permite clasificar los activos según su nivel de criticidad, facilitando la toma de decisiones al enfocar los esfuerzos en los activos más críticos. Esto optimiza los recursos como mano de obra, costos y eficiencia en los planes. Además, apoya la planificación de inversiones, ampliaciones o renovaciones, fortaleciendo la toma de decisiones para garantizar y mejorar la calidad y confiabilidad de los procesos, y considerando los posibles impactos (Salazar, 2018).

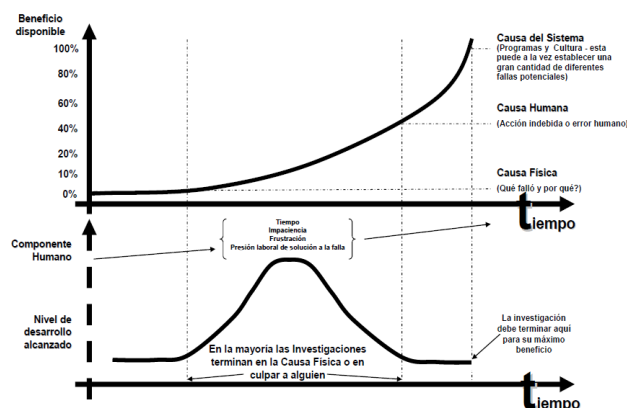
Análisis de causa raíz de fallas

El análisis de causa raíz de fallas -RCFA²⁷- (*Root Cause and Failure Analysis*) es un método riguroso para la solución de problemas en cualquier tipo de falla, se basa en un proceso lógico y en la utilización de árboles de causas de fallas, consiste en una representación visual de los eventos de una falla, en el cual por razonamiento deductivo y mediante la verificación de los hechos que ocurren se puede llegar de una manera fácil y fluida a las causas originales de las fallas (Mora Gutiérrez, 2023).

Las ventajas que presenta el método son: permite establecer un patrón de fallas en elementos o máquinas, aumenta la motivación del recurso humano del grupo caza-fallas ya que en la mayoría de los casos es muy exitoso en la búsqueda de causas raíz, mejora las condiciones ambientales de trabajo, como también las de seguridad industrial y reduce sustancialmente los tiempos de no funcionalidad y de no disponibilidad en los equipos (Mobley, RCFA, 2002).

Ilustración 7

Actuaciones en el RCFA



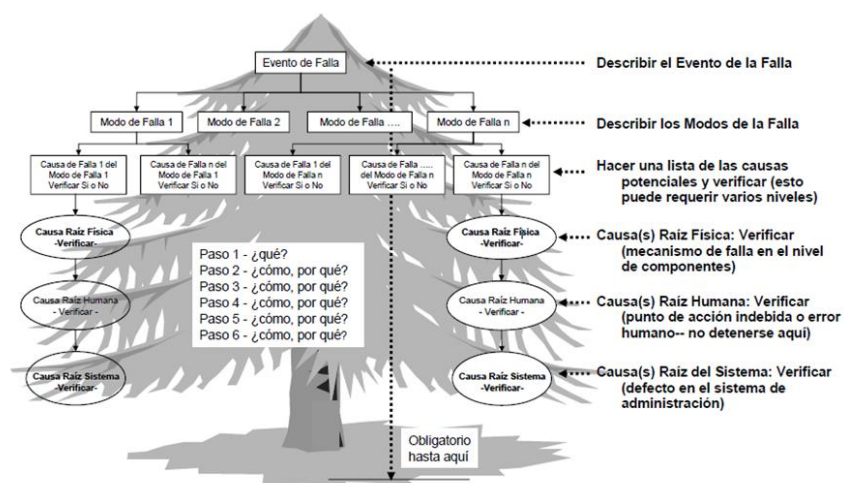
Nota: Tomado (Mora Gutiérrez, 2023)

²⁷ RCFA - Inglés *Root Cause and Failure Analysis*, Castellano Análisis de Causa Raíz y Fallas

El árbol lógico en el contexto del RCFA (*Root Cause and Failure Analysis*) se utiliza para estructurar y visualizar el proceso de identificación de causas raíz de un problema o falla. Este método ayuda a identificar sistemáticamente las posibles causas y sus relaciones, facilitando la identificación de la causa raíz subyacente (Latino, 2015).

Ilustración 8

Árbol lógico en el RCFA



Nota: Tomado (Mora Gutiérrez, 2023)

Su principal objetivo es determinar cómo y por qué ocurrió un problema para eliminar la causa raíz y evitar su repetición. Además de resolver problemas actuales, el RCFA contribuye a la mejora continua de procesos y sistemas, fortaleciendo la capacidad de la organización para prevenir futuros incidentes (Moble, Maintenance Engineering, 2011).

Etapas y acciones del análisis de causa raíz

El siguiente cuadro resume las etapas y acciones específicas necesarias para realizar un análisis de causa raíz de manera efectiva. Este proceso sistemático es fundamental para identificar

y abordar las causas subyacentes de los problemas, asegurando la implementación de soluciones eficaces y sostenibles (Barsalou, 2014).

Tabla 10

Etapas y acciones del análisis de causa Raíz

Etapas	Acciones específicas
Definición del problema	Describir claramente el problema o falla. Identificar el alcance y los impactos iniciales.
Recolección de datos	Recopilar datos relevantes sobre el problema. Utilizar fuentes como registros históricos, informes de mantenimiento y observaciones directas.
Formación del equipo de análisis	Reunir un equipo multidisciplinario con conocimientos sobre el problema y el sistema afectado. Asignar roles y responsabilidades dentro del equipo.
Generación de hipótesis	Formular hipótesis sobre las posibles causas del problema. Utilizar herramientas como el diagrama de Ishikawa o espina de pescado, los 5 Porqués y el árbol causal para visualizar las causas potenciales.
Verificación de hipótesis	Realizar pruebas y análisis para confirmar o descartar cada hipótesis. Utilizar técnicas como inspecciones visuales, pruebas de laboratorio y análisis de datos.
Identificación de la causa raíz	Determinar la causa raíz del problema basada en la evidencia recopilada. Estas causas raíz se clasifican según su naturaleza: física, humana o latente. Asegurar que la causa identificada sea la que realmente está generando el problema.
Desarrollo de soluciones	Proponer soluciones para eliminar o mitigar la causa raíz. Evaluar la viabilidad y el impacto de cada solución propuesta.
Implementación de soluciones	Ejecutar las acciones necesarias para implementar las soluciones. Asignar recursos y establecer un cronograma para la implementación.
Seguimiento y evaluación	Monitorear el impacto de las soluciones implementadas. Evaluar si las soluciones han resuelto el problema y prevenir su recurrencia.
Documentación y comunicación	Documentar todo el proceso de análisis y las acciones tomadas. Comunicar los hallazgos y las soluciones a todas las partes interesadas.

Nota: Realizado (Bran Quiroz & Berdugo Corredor, 2024)

Beneficios del análisis de causa raíz

Los beneficios descritos a continuación ilustran cómo fomentar la mejora continua para incrementar la eficiencia operativa y prevenir problemas futuros (Graves, 2014).

Tabla 11

Beneficios del análisis de causa raíz

Beneficios	Descripción
Prevención de problemas futuros	Al abordar las causas subyacentes, se reduce la probabilidad de recurrencia.
Mejora continua	Fomenta una cultura de mejora continua dentro de la organización.
Eficiencia operativa	Ayuda a optimizar procesos y recursos, mejorando la eficiencia general.

Nota: Realizado (Bran Quiroz & Berdugo Corredor, 2024)

Técnicas sugeridas para el análisis de causa raíz

Existen diferentes métodos y técnicas de análisis de causa raíz. Cada una de ellas se selecciona de acuerdo con la complejidad y naturaleza del problema. Todos los métodos son buenos y efectivos cuando se usan dentro del alcance para el cual fueron diseñados. En EPM se sugiere el uso de los siguientes tres métodos de análisis:

Método de 5 por qué

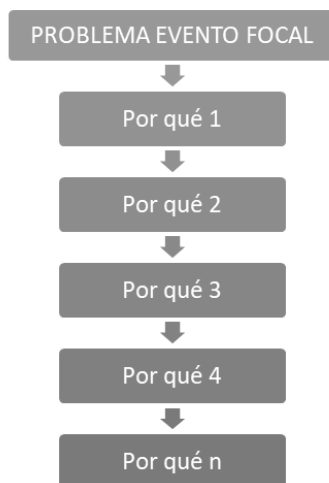
Utiliza un proceso de preguntas directo para llegar a las causas raíz. Las preguntas comienzan con una declaración de la situación y pregunta por qué ocurrió. La respuesta a esta pregunta se convierte en una segunda pregunta de por qué y la respuesta a esta en una tercera pregunta (Mobley, Maintenance Engineering, 2007).

El cuestionamiento cesa cuando se identifica una causa raíz a la que se le plantea una acción para eliminarla y sobre esta la organización tiene control. En general, esto

requiere aproximadamente 5 niveles de preguntas, por lo tanto, el método a veces se conoce como los 5 por qué (Latino, 2015).

Ilustración 9

Proceso método 5 por qué



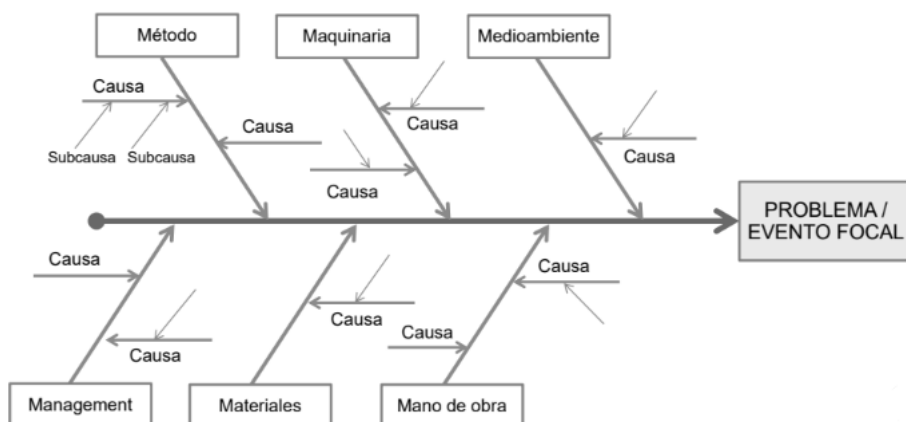
Nota: Realizado (Bran Quiroz & Berdugo Corredor, 2024)

Técnica de espina de pescado o diagrama de Ishikawa

Es una técnica que ayuda a identificar, analizar y presentar las posibles causas de un evento focal/problema. La técnica ilustra la relación entre el evento focal y todos los factores que pueden influir en él agrupándolos por categorías. Las categorías comúnmente usadas incluyen: 6M's: método, maquinaria-equipos, management -gestión-administración-, materiales-materias primas, mano de obra, medioambiente -entorno (Gulati, 2015).

Ilustración 10

Técnica de espina de pescado o diagrama de Ishikawa



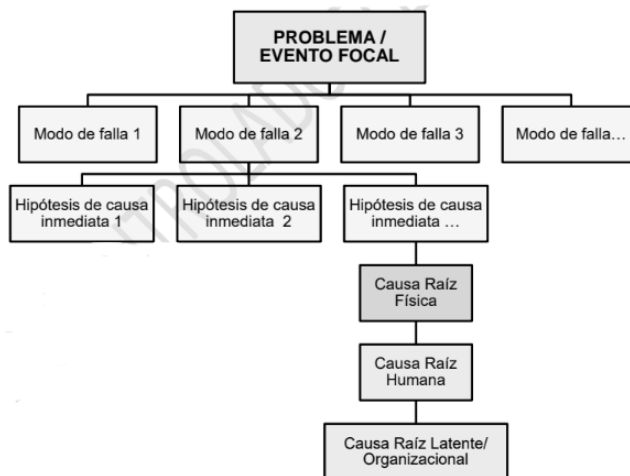
Nota: Tomado (Kaoru, 1943)

Método de árbol causal

Permite analizar y representar gráficamente los eventos y condiciones que contribuyeron a un evento focal. El método examina todos los componentes del sistema asociados con el evento focal. La investigación comienza estableciendo los hechos tangibles, sin interpretarlos o expresar una opinión sobre ellos. Considera explícitamente factores causales físicos, humanos y organizacionales. Cada antecedente o factor causal identificado se prueba para verificar que es un factor causal inmediato y necesario del anterior (Moubray, 1997).

Ilustración 11

Problema /evento focal



Nota: Tomado (Empresas Públicas de Medellín E.S.P., 2021)

El equipo de análisis establece acciones para evitar o mitigar la recurrencia del problema, prevenir su aparición en otros activos o sistemas similares, y mejorar el desempeño de los activos.

Se considera que una acción es efectiva si:

- Previene la ocurrencia y/o recurrencia del problema.
- Es viable técnica y económicamente costo-beneficio.
- No crea nuevos problemas.
- Contribuye al logro de las metas y objetivos de la organización.
- Su ejecución está bajo el control de la organización.

Se recomienda que las acciones definidas sean evaluadas cuantitativa o cualitativamente usando herramientas como la relación beneficio-costos o la matriz impacto-esfuerzo. En los casos

que involucren inversiones, se sugiere realizar un análisis de toma de decisiones utilizando la metodología CRD²⁸ (Amendola & Depool, 2018).

Cuando se realice el análisis de causa raíz de fallas, se procede con la elaboración del informe, que será revisado por el equipo de análisis. Una vez aprobado el informe final, se convocará al comité operativo de análisis de fallas. Posteriormente, se elaborará y divulgará la lección aprendida, se implementarán las acciones correctivas y preventivas, y se proporcionarán las recomendaciones pertinentes. Finalmente, se llevará a cabo la evaluación y seguimiento de las acciones implementadas (Graves, 2014).

²⁸ CRD – Costo-Riesgo-Desempeño

Planes de mantenimiento

Es un conjunto de procedimientos y actividades programadas que tienen como objetivo garantizar la operatividad y prolongar la vida útil de los equipos y sistemas de una organización. Este plan incluye tareas de inspección, limpieza, ajuste, reparación y reemplazo de componentes, realizadas de manera periódica y sistemática, resalta la importancia de ajustar las estrategias de mantenimiento a las necesidades específicas de los activos y su entorno operativo. Utiliza el Análisis de Modos y Efectos de Fallos -FMEA- para identificar y mitigar fallos potenciales (Palmer, 2008).

Desarrolla estrategias de mantenimiento que optimizan la confiabilidad y eficiencia de los activos, incluyendo tareas preventivas y predictivas. Estas estrategias garantizan la operación eficiente y segura de los activos, reduciendo el tiempo de inactividad y los costos de mantenimiento. El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad -RCM- es una herramienta clave para la gestión de activos y mantenimiento. Aplicar sus principios mejora significativamente la seguridad, eficiencia y sostenibilidad de las operaciones (Moubray, 1997).

Componentes claves de un plan de mantenimiento

Para implementar un plan de mantenimiento efectivo en la planta de enriquecimiento Biogás PTAR San Fernando, es fundamental considerar varios componentes claves que garantizan la operatividad y eficiencia de los equipos. A continuación, se presenta un cuadro con los elementos esenciales que deben ser identificados y gestionados dentro de un plan de mantenimiento (Ochoa Martínez, 2015).

Tabla 12

Componentes claves

Componentes claves de un plan de mantenimiento	Descripción
Inventario de equipos	Listado detallado de todos los equipos y sistemas que requieren mantenimiento, incluyendo información técnica como marcas, modelos, números de serie y ubicación.
Frecuencia de mantenimiento	Determinación de intervalos de tiempo específicos para realizar las actividades de mantenimiento, basados en las recomendaciones del fabricante y la experiencia operativa.
Procedimientos de mantenimiento	Descripción detallada de las tareas a realizar, incluyendo instrucciones paso a paso, herramientas necesarias y medidas de seguridad.
Registro y seguimiento	Documentación de todas las actividades de mantenimiento realizadas, incluyendo fechas, responsables y resultados obtenidos, para asegurar un seguimiento adecuado y la mejora continua del plan.

Nota: Realizado (Bran Quiroz & Berdugo Corredor, 2024)

Aspectos claves en la gestión y cobertura de mantenimiento

Para establecer un plan de mantenimiento efectivo y estructurado, es fundamental identificar ciertos aspectos claves. Estos aspectos no solo aseguran la eficiencia operativa de los activos, sino que también optimizan los recursos y mejoran la seguridad. A continuación, se presenta un cuadro con los principales elementos a considerar en la gestión de mantenimiento y la cobertura de tareas de mantenimiento a los activos en la planta de enriquecimiento Biogás PTAR San Fernando (Hernández, Martínez Pérez, Vilalta Alonso, García Fenton, & Basile Wilson, 2022).

Tabla 13

Aspectos claves plan de mantenimiento

Categoría	Aspectos que identificar/beneficios
Beneficios de un plan de mantenimiento	Mejora de la confiabilidad: Reduce la probabilidad de fallos inesperados y aumenta la disponibilidad de los equipos. Optimización de costos: Minimiza los costos asociados a reparaciones de emergencia y prolonga

Categoría	Aspectos que identificar/beneficios
	la vida útil de los activos. Seguridad operativa: Asegura que los equipos funcionen dentro de los parámetros de seguridad establecidos, protegiendo a los trabajadores y el entorno.
Estructura para la gestión de mantenimiento	La estructura administrativa de la dependencia responsable de la instalación, unidad o planta. Los miembros del equipo de mantenimiento. La distribución de las funciones de planeación, programación y ejecución de mantenimiento.
Estrategia de cobertura de tareas de mantenimiento a los activos	El número de grupos de ejecución de mantenimiento y sus miembros. El alcance de los servicios tercerizados, si existen. La logística requerida para desarrollar las actividades de mantenimiento en la instalación, unidad o planta.

Nota: Realizado (Bran Quiroz & Berdugo Corredor, 2024)

Para realizar un análisis exhaustivo del activo o sistema en cuestión, es fundamental recopilar la mayor cantidad de información y documentación técnica disponible. A continuación, se detalla la información necesaria:

Tabla 14

Información y documentación técnica necesaria

Información y documentación técnica necesaria
FMEA o análisis RCM previos.
Planes e instructivos de mantenimiento actuales.
Históricos de fallas.
Históricos detallados de mantenimiento - costo, duración, alcance -.
Manuales de operación y mantenimiento suministrados por los fabricantes.
Esquemas de distribución de planta, diagramas de proceso, diagramas unifilares, diagramas de tubería e instrumentación.
Parámetros de operación - presión, caudal, temperatura, velocidad, entre otros -.
Listado de repuestos por equipo y su costo.
Conformación del grupo de análisis para la aplicación de la metodología.

Nota: Realizado (Bran Quiroz & Berdugo Corredor, 2024)

Para aplicar la metodología, se debe formar un grupo multidisciplinario con un líder, un facilitador y personal técnico especializado en diversas áreas mecánica, eléctrica, instrumentación, etc. que tenga experiencia y conocimiento sobre los activos y procesos analizados (García Serrano, 2015).

Ruta e implementación planes de mantenimiento

Para asegurar una implementación efectiva de los planes de mantenimiento y su configuración, se deben seguir las siguientes rutas y etapas claves:

Tabla 15

Ruta y configuración e implementación de planes de mantenimiento

Ruta para establecer e implementar planes de mantenimiento	Configuración e implementación
Identificar las causas de falla.	Agrupar las tareas en actividades.
Evaluar el impacto causado por la falla.	Asignar los recursos a cada tarea de las actividades definidas.
Analizar cómo ocurre la causa de falla en el tiempo.	Generar OT, rutas, hojas de inspección y verificación.
Determinar la tarea o acción para manejar las causas de falla.	Alinear las actividades.
Establecer las frecuencias de las tareas.	Generar la demanda planeada de recursos.

Nota: Realizado (Bran Quiroz & Berdugo Corredor, 2024)

Una vez finalizado el análisis, las nuevas y revisadas tareas para cada activo deben organizarse en el plan de mantenimiento de la planta de enriquecimiento Biogás PTAR San Fernando, considerando las frecuencias establecidas, el personal y los recursos requeridos. El grupo de análisis debe definir el método más efectivo para atender el plan, teniendo en cuenta las limitaciones operativas, de producción, logísticas y de recursos (Ajay, 2018).

Este paso puede implicar la transferencia de responsabilidades entre los equipos de mantenimiento y operación para mejorar la eficiencia y productividad (The Institute of Asset Management, 2015).

El equipo de análisis debe presentar el plan de mantenimiento resultante a las dependencias responsables para su revisión y aprobación. Una vez aprobado, se formaliza en el EAM para iniciar su implementación. La revisión y actualización del plan de mantenimiento deben realizarse ante cambios en los activos, en su contexto operacional, o desviaciones en los objetivos de gestión de activos. Esta revisión debe considerar los resultados de ejecución del plan, el desempeño de los activos, la aparición de nuevos modos de falla debido a cambios operativos, y la implementación de nuevas tecnologías (Michael, 2021).

Manejo del Cambio

El manejo del cambio es el conjunto de métodos usados para evaluar los impactos potenciales de un cambio propuesto, ya sea temporal o permanente, de manera que los riesgos se mantengan en niveles tolerables. El manejo de cambio en la ISO 55001 es un proceso esencial para asegurar que cualquier modificación en los activos, la gestión de activos o el sistema de gestión de activos se evalúe adecuadamente antes de su implementación (Ang, 2014).

Importancia del manejo de cambio

El manejo del cambio es crucial para mantener la eficiencia y efectividad de la gestión de activos. Al evaluar y gestionar adecuadamente los cambios, las organizaciones pueden minimizar riesgos, optimizar el uso de recursos y mejorar el desempeño financiero. Además, un manejo de cambio efectivo permite a las organizaciones adaptarse a nuevas tecnologías y cambios en el entorno operativo, asegurando la continuidad y sostenibilidad de sus operaciones (Bravo, 2015).

Clases de cambio

Cambio de emergencia

Es el que se requiere efectuar inmediatamente para garantizar la seguridad de las personas, el medio ambiente o las instalaciones, debido a condiciones imprevistas (Rodríguez J. L., 2018).

Cambio permanente

Es todo cambio de duración indefinida.

Cambio temporal

Es el realizado por un periodo de tiempo limitado y específico que se realiza con base en pruebas o para asegurar que las operaciones continúen siendo seguras hasta que se realice un cambio permanente o hasta que las condiciones previas a un cambio puedan ser restablecidas.

Pasos claves para un cambio efectivo

Para asegurar que cualquier cambio en activos, procesos o entorno se evalúe y ejecute de manera adecuada y segura (Empresas Públicas de Medellín E.S.P., 2017). Cada fase es crucial para implementar el cambio sin contratiempos, minimizando riesgos y optimizando recursos (Perez Peña, 2019).

Tabla 16

Pasos claves para un cambio efectivo

Pasos	Descripción
Reconocimiento del cambio	Identificación de la necesidad de cambio. Documentación inicial del cambio.
Revisión inicial por el propietario del cambio	Evaluación preliminar del cambio. Identificación de posibles impactos. Asignación de recursos iniciales.
Revisión por el aprobador del cambio	Validación de la revisión inicial. Evaluación de la viabilidad del cambio. Comunicación con partes interesadas.
Evaluación detallada del riesgo del cambio	Análisis profundo de riesgos. Planificación de mitigaciones. Documentación de evaluaciones.
Aprobación	Firma de aprobaciones. Verificación de cumplimiento de requisitos previos. Registro formal de la aprobación.
Implementación	Ejecución del plan de cambio. Monitoreo y control del proceso. Registro de actividades y resultados.

Pasos	Descripción
Verificación y cierre	Revisión final del cambio implementado. Evaluación de resultados y documentación. Cierre formal del proceso de cambio.

Nota: Realizado (Bran Quiroz & Berdugo Corredor, 2024)

Etapas y acciones

Se detallan las etapas y acciones específicas que se deben seguir en el proceso de manejo del cambio para asegurar su correcta implementación. Este enfoque sistemático es esencial para garantizar la continuidad operativa y la eficiencia en la gestión de activos dentro de una organización (Lloyd & Corcoran, 2019).

Tabla 17

Etapas y acciones

Etapas del manejo del cambio	Descripción de la acción específica
Revisión inicial por el propietario del cambio	Evaluación preliminar de la necesidad del cambio, justificando por qué es necesario y definiendo su alcance específico.
Justificación y alcance	Definir el propósito del cambio y el alcance que abarca, asegurando que todos los aspectos relevantes estén cubiertos.
Evaluación preliminar de impactos	Analizar los posibles impactos iniciales del cambio en los activos, las operaciones y la producción.
Plan de implementación	Desarrollar un plan detallado para implementar el cambio, incluyendo los recursos necesarios, el cronograma y las responsabilidades asignadas.
Revisión por el aprobador del cambio	Evaluación y revisión del cambio por parte de los aprobadores designados, asegurando que el cambio cumple con todos los criterios necesarios.
Evaluación detallada del riesgo	Realizar un análisis exhaustivo de los riesgos asociados al cambio, identificando posibles problemas y desarrollando estrategias de mitigación.
Aprobación	Obtener la aprobación final de las partes interesadas relevantes, confirmando que el cambio puede proceder según lo planificado.

Etapa del manejo del cambio	Descripción de la acción específica
Implementación	Ejecutar el plan de cambio de acuerdo con las especificaciones establecidas, asegurando que todas las acciones necesarias se llevan a cabo correctamente.
Documentación	Registrar todos los detalles del proceso de cambio para referencia futura, incluyendo cualquier ajuste realizado durante la implementación.
Comunicación y capacitación	Informar a todos los involucrados sobre el cambio y proporcionar la capacitación necesaria para asegurar que el cambio se implemente eficazmente.
Ejecución	Realizar las acciones según el plan de implementación, asegurando que se siguen todos los procedimientos y se cumplen todas las especificaciones.
Verificación y Cierre	Monitorear el impacto del cambio, verificar los resultados y cerrar el proceso de cambio, asegurando que se han cumplido todos los objetivos y que el cambio ha sido exitoso.

Nota: Realizado (Bran Quiroz & Berdugo Corredor, 2024)

Tipos de cambio

Equipos

Se presenta los distintos tipos de cambios en equipos, destacando las modificaciones que pueden ocurrir en un entorno de gestión de activos. Esta categoría está dirigida a los cambios en equipos o tecnología (Lam, 2014).

Tabla 18

Cambios en equipos

Tipos de cambios en equipos
<p>Nuevos equipos.</p> <p>Reemplazo o modificación de equipos - equipo, componentes, configuración, infraestructura, incluyendo cambios de emergencia, protecciones, válvulas de seguridad, instrumentación-.</p> <p>Modificación de software - lógica, enclavamientos, control, alarmas, instrumentación-.</p> <p>Bypass alrededor de equipos que están normalmente en servicio.</p> <p>Inhabilitación de sistemas críticos para prueba, calibración, reparación o reemplazo, si no están cubiertas por un procedimiento.</p>

Tipos de cambios en equipos

Modificación o retiro de equipos de seguridad - sistemas de detección de fuego y gas, válvulas de seguridad, sistemas contraincendios, equipos de primeros auxilios, vías de escape o evacuación, equipos de protección personal-.

Cambios en soporte estructural, diseño o configuración.

Cambio o adición en efluentes sólidos, líquidos o gaseosos provenientes del proceso productivo - fluidos de proceso, residuos-.

Cambios en la utilización de un equipo.

Cambios resultantes de recomendaciones originadas en no conformidades, análisis de fallas, análisis de riesgos, auditorías internas y externas.

Nota: Realizado (Bran Quiroz & Berdugo Corredor, 2024)

Operacionales

Se presentan las posibles modificaciones o desviaciones en los aspectos operacionales, destacando los cambios que pueden impactar la gestión de los activos. Los cambios en los controles administrativos o los sistemas de gestión que definen la manera como los procesos se realizan a través de la organización (Ang, 2014).

Tabla 19

Cambios operacionales

Cambios operacionales

Modificación o desviación en el mantenimiento preventivo o programado.

Modificación o desviación en los programas de inspección o frecuencia de pruebas.

Modificación o desviación en los métodos de prueba.

Modificación o desviación en procedimientos operacionales y prácticas de trabajo seguro.

Respuesta a circunstancias externas que no está definida en los procedimientos estándares.

Cambios a documentos controlados.

Implementación de nuevos procedimientos.

Operación por fuera de los procedimientos y parámetros normales.

Nota: Realizado (Bran Quiroz & Berdugo Corredor, 2024)

Organizacionales

Esta categoría incluye los cambios en el personal tales como cambios en cuadrillas, organigrama, administración de turnos, políticas de toda la empresa, regulaciones, líneas de reporte, eliminación de cargos y reestructuración. En estos casos el control de cambios es necesario para verificar que la reasignación de responsabilidades es claramente evaluada y documentada (García Serrano, 2015).

Tabla 20

Cambios organizacionales

Cambios organizacionales
Cambios, incrementos o disminución en las cuadrillas o equipos de trabajo en un porcentaje superior al 50%.
Creación de nuevas cuadrillas o equipos de trabajo en la organización.
Cambios / nuevos contratistas o proveedores.
Nuevas regulaciones.
Adquisiciones.
Eliminación de cargos o reestructuración.

Nota: Realizado (Bran Quiroz & Berdugo Corredor, 2024)

Se detallan los cambios que NO están cubiertos por la metodología para el manejo del cambio.

Tabla 21

Cambios no cubiertos

Cambios no cubiertos por la metodología para el manejo del cambio
Reemplazos en los que no hay cambio en las especificaciones originales.
Cambios que son rutinarios y que tienen procedimientos y estándares definidos.
Cambios rutinarios de personal controlados por procedimientos operacionales.
Reemplazo por personas de similares competencias, dentro de un mismo proceso de la organización.
Cambios que deben manejarse con procedimientos administrativos o la gerencia de proyectos.

Nota: Realizado (Bran Quiroz & Berdugo Corredor, 2024)

El manejo del cambio es un componente fundamental en la gestión de activos, asegurando que cualquier modificación en los activos, sus procesos o su entorno se realice de manera controlada y eficaz, siguiendo una serie de pasos bien definidos. No solo minimiza los riesgos asociados a los cambios, sino que también optimiza los recursos disponibles, mejora la eficiencia operativa y fortalece la capacidad de la organización para adaptarse a nuevas condiciones y tecnologías (Amendola & Depool, 2018).

En definitiva, un manejo del cambio bien ejecutado es esencial para la continuidad y sostenibilidad de las operaciones, contribuyendo significativamente al éxito a largo plazo de la organización.

Toma de decisiones

Según el numeral 6.2 de la norma ISO 55001, la organización debe definir y documentar el método y los criterios para la toma de decisiones y la priorización de actividades y recursos necesarios para cumplir su plan de gestión de activos y alcanzar sus objetivos (International Organization for Standardization, 2014). La metodología de toma de decisiones busca resolver problemas que a menudo surgen durante la planificación (Rodríguez C. M., 2018).

Beneficios toma de decisiones

Proporciona un marco sólido para optimizar los recursos, reducir riesgos y mejorar la eficiencia operativa. Además, fomenta la transparencia, la colaboración y la mejora continua, contribuyendo de manera significativa al éxito y la sostenibilidad a largo plazo de la organización. Ofrece múltiples ventajas que son esenciales para la optimización de los activos en una organización (Campbell & Jardine, Asset Management Excellence, 2010).

Tabla 22

Beneficios toma de decisiones

Beneficio	Descripción
Optimización de Recursos	Implementar una metodología estructurada permite asignar eficientemente los recursos disponibles, maximizando el valor obtenido de cada uno de ellos. Esto asegura que los recursos se utilicen de manera efectiva, reduciendo desperdicios y costos innecesarios.
Reducción de Riesgos	La identificación y mitigación de riesgos asociados con las decisiones tomadas es un beneficio crucial. Al evaluar los riesgos de manera sistemática, se puede asegurar una mayor estabilidad y predictibilidad en las operaciones, minimizando el impacto negativo de posibles fallas.
Mejora en la Toma de Decisiones	Proporcionar un enfoque estructurado y sistemático facilita la toma de decisiones bien fundamentadas. Esto significa que las decisiones se basan en datos concretos y análisis detallados, en lugar de suposiciones o intuiciones, lo que mejora la calidad y efectividad de las decisiones.

Beneficio	Descripción
Aumento de la Transparencia	Documentar cada etapa del proceso de toma de decisiones aumenta la transparencia y la responsabilidad dentro de la organización. Esta práctica no solo fortalece la confianza entre los miembros del equipo, sino que también facilita la auditoría y el seguimiento de las decisiones tomadas.
Fomento de la Colaboración	Involucrar a diferentes partes interesadas y expertos en el proceso de toma de decisiones promueve una cultura de colaboración y consenso. Esto asegura que se consideren múltiples perspectivas y que las decisiones sean más inclusivas y equilibradas.
Mejora Continua	Establecer un ciclo de mejora continua basado en la evaluación constante y el aprendizaje de las decisiones pasadas es otro beneficio significativo. Esto permite a la organización adaptarse y evolucionar constantemente, mejorando sus procesos y prácticas a lo largo del tiempo.

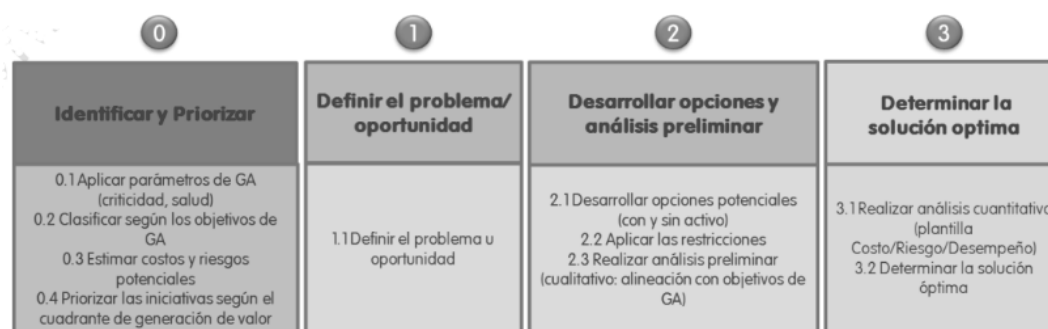
Nota: Realizado (Bran Quiroz & Berdugo Corredor, 2024)

Etapas toma de decisiones

El desarrollo de la metodología para la toma de decisiones se lleva a cabo en cuatro etapas, las cuales se muestran a continuación, teniendo en cuenta que el paso 0 responde al primer objetivo asociado con la planeación y los pasos 1, 2 y 3 responden al segundo objetivo, asociado con la formulación de proyectos (Coleman, 2016).

Ilustración 12

Etapas toma de decisiones



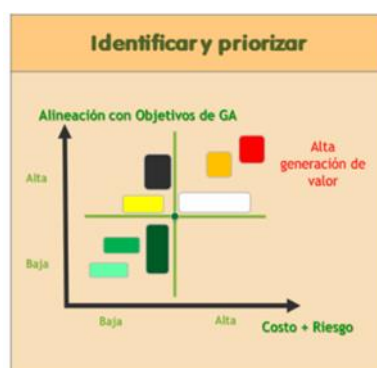
Nota: Tomado (Empresas Públicas de Medellín E.S.P., 2023)

Identificar y priorizar - Paso 0

Consiste en la priorización dentro de un número de iniciativas/proyectos/ideas que están en consideración. Se busca priorizar de forma óptima dados unos parámetros y recursos limitados, las iniciativas que más valor pueden generar para planta de enriquecimiento Biogás y que pueden consideradas para un análisis con mayor profundidad (Arellano, y otros, 2017).

Ilustración 13

Alineación con objetivos GA²⁹



Nota: Tomado (Empresas Públicas de Medellín E.S.P., 2023)

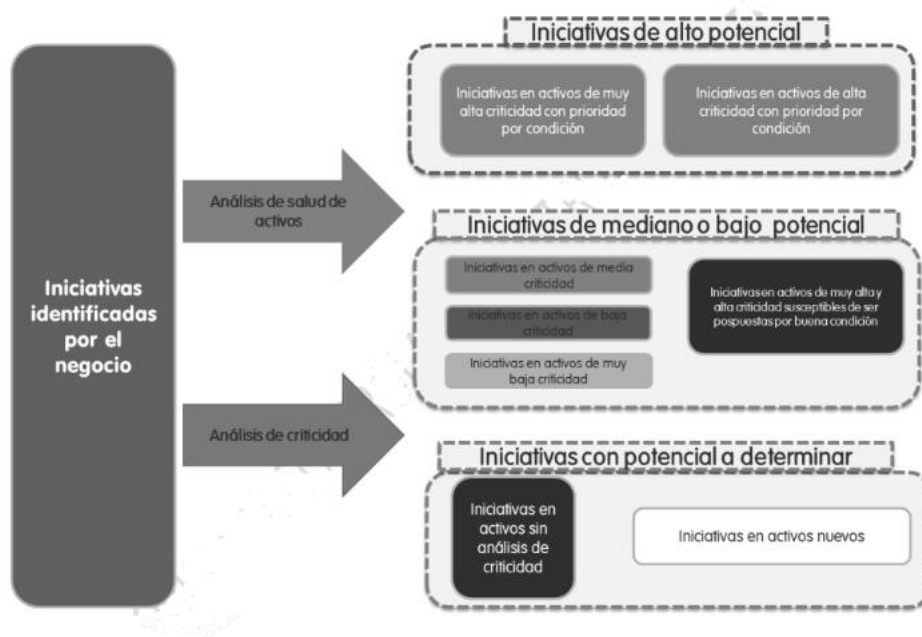
Para priorizar las iniciativas en la gestión de activos, se pueden utilizar parámetros clave como la criticidad de los activos y su estado de salud. Las iniciativas asociadas con activos de alta criticidad, es decir, aquellos que al fallar afectarían significativamente al menos uno de estos cinco objetos de impacto, se consideran de alto potencial de generación de valor. Por otro lado, un activo crítico con baja probabilidad de falla podría justificar posponer su intervención (Mora Gutiérrez, 2023).

²⁹ GA – Gestión de activos

Esto también ayuda a identificar iniciativas con mediano o bajo potencial de generación de valor a corto plazo. Si existen iniciativas relacionadas con activos que no han sido analizados en términos de criticidad y salud, se agrupan como iniciativas con potencial de generación de valor por determinar (Martin, 2017).

Ilustración 14

Resultados esperados luego de aplicar criticidad y salud de activos



Nota: Tomado (Empresas Públicas de Medellín E.S.P., 2023)

Definir el problema u oportunidad - Paso 1

Entendimiento del caso o problemática inicial, se evalúan tanto problemas como las oportunidades que se quieren llevar a cabo (Institute of Public Works Engineering Australasia (IPWEA), 2020). Para determinar la potencial generación de valor (Wireman, Maintenance Strategy, 2004).

Tabla 23

Problemas por resolver

Problemas por resolver
Proveer justificación para renovación de activos.
Alcanzar eficiencias y reducir costos operacionales.
Considerar todos los impactos de la organización (ver impactos definidos por Gestión Integral de Riesgos).
Cerrar brechas en los niveles de servicios.
Gestionar el riesgo.
Cumplir requerimientos legislativos o regulatorios.
Responder a una solicitud política o de la alta dirección.

Nota: Realizado (Bran Quiroz & Berdugo Corredor, 2024)

Desarrollar opciones y análisis preliminar - Paso 2

Se busca el desarrollo de alternativas y opciones y determinar rápidamente su viabilidad antes de realizar un análisis cuantitativo de las opciones. Con la participación de diferentes áreas del conocimiento y roles relacionados con el tema, se deberá generar una lista de opciones donde generalmente deben aparecer los siguientes escenarios (Coleman, 2016).

Tabla 24

Escenarios toma de decisiones

Escenario	Descripción
No hacer nada	Dejar de hacer lo que estoy haciendo hoy, retirar todas las intervenciones, acciones, inversiones y recursos dedicados hoy al problema/iniciativa.
Mantener Status Quo	Hacer lo que siempre se ha hecho en estos casos.
Menor Costo Posible	Cumple los requerimientos o necesidad con el menor costo posible.
Mejor Desempeño	Mejora algunos de los 5 objetos de impacto: Ingresos, imagen, calidad del servicio, seguridad de las personas y cuidado del medio ambiente.

Nota: Realizado (Bran Quiroz & Berdugo Corredor, 2024)

Las posibles opciones también pueden incluir soluciones con activos físicos y sin activos físicos (Crouch, 2012).

Tabla 25

Soluciones con activos físicos

Soluciones con activos físicos o infraestructura
No hacer nada.
Mantener el status quo.
Hacer más mantenimiento.
Hacer menos mantenimiento.
Rehabilitar el activo.
Reemplazar con un activo similar/igual.
Reemplazar con un activo diferente que preste el mismo servicio.
Reemplazar con un activo diferente que preste mejor servicio o que cumpla otros servicios requeridos.
Construir un nuevo activo.

Nota: Realizado (Bran Quiroz & Berdugo Corredor, 2024)

Es posible que el problema o iniciativa pueda ser atendido sin activos ni infraestructura (Dhillon, 2006).

Tabla 26

Soluciones sin activos ni infraestructura

Soluciones sin activos ni infraestructura
Revisar la necesidad del usuario/sistema/servicio.
Gestionar la demanda (plantear nuevos esquemas de trabajo).
Cambios en los procesos.

Nota: Realizado (Bran Quiroz & Berdugo Corredor, 2024)

Se aborda posibles restricciones que deben considerarse en la gestión de activos y la planificación de infraestructuras (Institute of Public Works Engineering Australasia (IPWEA), 2020). Entre las restricciones más comunes están:

Tabla 27

Posibles restricciones

Restricciones	Descripción
Legales	Cumplimiento de leyes y regulaciones específicas.
Ambientales	Consideraciones sobre el impacto ambiental y la sostenibilidad.
Protección de bosques	Políticas de conservación y gestión forestal.
POT (Ordenamiento Territorial)	Directrices del Plan de Ordenamiento Territorial.
Tecnológicas	Limitaciones tecnológicas existentes y nuevas innovaciones.
Logísticas	Desafíos en el transporte y distribución.
Presupuestales	Limitaciones financieras y de presupuesto.

Nota: Realizado (Bran Quiroz & Berdugo Corredor, 2024)

Una vez propuestas y depuradas las alternativas de solución para la iniciativa/problema priorizado, pasamos a un análisis final cuantitativo para tomar la decisión definitiva (Institute of Public Works Engineering Australasia (IPWEA), 2020). Este paso implica evaluar las alternativas según criterios de costo, riesgo y desempeño, calculando la relación beneficio-costos y el Valor Presente Neto -VPN³⁰- teniendo en cuenta el ciclo de vida del activo (Dhillon, 2006).

³⁰ VPN - Valor Presente Neto.

Esto incluye realizar un flujo de caja que contemple la inversión inicial -CAPEX³¹- y los costos de operación -OPEX³²-, además de identificar y cuantificar los posibles riesgos en términos monetarios (Williams, 2020).

Se considera el desempeño esperado, es decir, los ingresos o beneficios que se espera obtener de la decisión sobre los activos. Debemos considerar lo siguiente:

Tabla 28

Criterios de costo, riesgo y desempeño

Criterio	Descripción
Costo	Inversión inicial CAPEX, WACC costo promedio ponderado del capital, periodo de evaluación. Costos de operación OPEX, costos de mantenimiento, costos de desincorporación, costos de desinstalación, costos de energéticos, costos de mano de obra, costos logísticos, costos de servicios, costos de predios, costos de servidumbre, costos de contingencia, costos de compensación.
Riesgo	Seguridad de las personas, financiero, calidad del servicio, cuidado del medio ambiente, reputación.
Desempeño	Aumentar ingresos, remuneración; aumentar capacidad de producción; maximizar el uso de la capacidad instalada; aumentar rendimientos; aumentar confiabilidad-disponibilidad; aumentar número de clientes; extender la vida útil del activo.

Nota: Realizada (Bran Quiroz & Berdugo Corredor, 2024)

Determinar la solución óptima - Paso 3

La aplicación de una evaluación multicriterio, utilizando criterios de costo, riesgo y desempeño - herramienta de Excel-, permite determinar la solución óptima (Empresas Públicas de Medellín E.S.P., 2023). En esta etapa, se cuenta con la información organizada y evaluada para cada alternativa, proporcionando al tomador de decisiones una visión completa del problema y de las opciones consideradas (Lam, 2014).

³¹ *Capex* - Inglés Capital Expenditure, Castellano Gasto de Capital.

³² *Opex* - Inglés Operational Expenditure, Castellano Gasto Operativo.

Con esta información detallada, es posible seleccionar la solución que representa el mayor beneficio para la organización y maximiza la generación de valor.

La toma de decisiones en la gestión de activos es fundamental para asegurar el máximo beneficio y valor para la planta de enriquecimiento Biogás. Utilizando criterios clave como costo, riesgo y desempeño, se pueden evaluar y seleccionar las mejores soluciones de manera informada y estratégica (Arellano, y otros, 2017).

Buenas prácticas

En la gestión de activos, la implementación de buenas prácticas es fundamental para asegurar la eficiencia operativa, maximizar el rendimiento de los activos y garantizar la sostenibilidad a largo plazo. Estas prácticas permiten a las organizaciones no solo mantener un control riguroso sobre sus activos, sino también optimizar su uso y vida útil. En el contexto de la planta de enriquecimiento de biogás, estas prácticas adquieren una relevancia aún mayor, ya que la eficiencia y la sostenibilidad son esenciales para el éxito y la viabilidad del proyecto (Barlow, 2006).

Trazabilidad: Mantener un registro detallado y actualizado de cada activo, incluyendo su ubicación, estado, historial de mantenimiento y uso. Esto facilita la toma de decisiones informadas y la planificación eficiente de recursos (Deadman, 2016).

Capacitación continua: Asegurar que el personal esté constantemente capacitado en las últimas tecnologías y prácticas de gestión de activos, promoviendo una cultura de mejora continua.

Uso de sistemas de gestión de activos: Implementar software especializado que permita la integración y automatización de procesos, mejorando la eficiencia y la precisión en la gestión de activos (Coleman, 2016).

Auditorías eficientes: Facilitar la realización de auditorías internas y externas para asegurar el cumplimiento de normativas y estándares.

Optimización de recursos: Identificar activos subutilizados o en exceso, optimizando su distribución y uso.

Mejora en la toma de decisiones: Proporcionar datos precisos y actualizados que respalden decisiones estratégicas y operativas.

Uso de biogás: Aprovechar el biogás generado en el tratamiento de lodos para inyectarlo en la red de gas natural, contribuyendo a la reducción de emisiones de CO₂ (Ajay, 2018).

Economía circular: Implementar prácticas que promuevan la reutilización y el reciclaje de recursos dentro del proceso de tratamiento de aguas residuales (U.S. Department of Energy, 1992).

Mantenimiento preventivo: Implementar programas de mantenimiento regular para prevenir fallos inesperados y extender la vida útil de los activos (Mora Gutiérrez, 2023).

Gestión de riesgos: Identificar, evaluar y mitigar los riesgos asociados con los activos, asegurando una operación segura y eficiente.

Sostenibilidad: Incorporar prácticas sostenibles en la gestión de activos, como el uso de energías renovables y la reducción de residuos.

Gestión del ciclo de vida de los activos: Planificar y gestionar cada etapa del ciclo de vida de los activos, desde la adquisición hasta la disposición final (Martin, 2017).

Colaboración interdepartamental: Fomentar la colaboración entre diferentes departamentos o áreas para asegurar una gestión integral y coherente de los activos.

Innovación tecnológica: Adoptar tecnologías emergentes, como el internet de las cosas - IoT- y la inteligencia artificial -IA-, para mejorar la gestión y el monitoreo de los activos (Mejía, Nuñez, Villanueva, & Jaraba, 2024).

Indicadores de rendimiento KPIs: Establecer y monitorear indicadores clave de rendimiento para evaluar la eficiencia y efectividad de la gestión de activos.

Documentación y registros: Mantener una documentación precisa y actualizada de todas las actividades relacionadas con los activos, facilitando la trazabilidad y la toma de decisiones (Hernández, Martínez Pérez, Vilalta Alonso, García Fenton, & Basile Wilson, 2022).

Cronograma

Cronograma del proyecto

Proyecto: Monografía Planta Biogás San Fernando

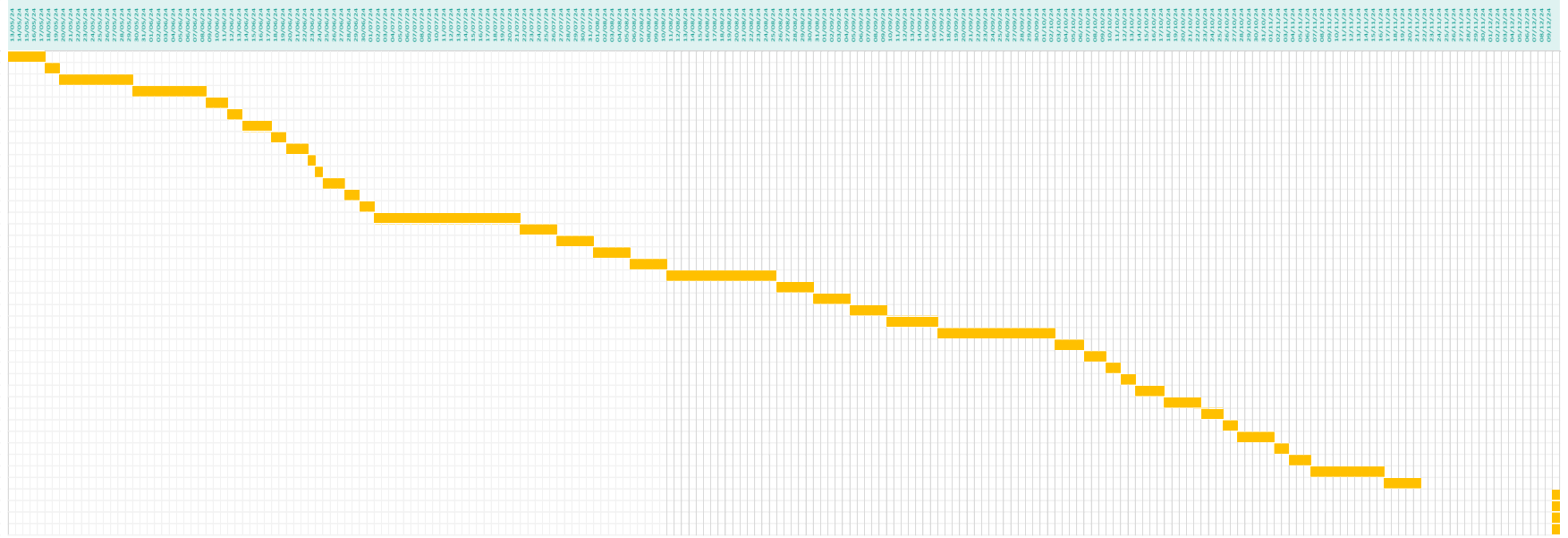
Fecha de inicio: 13/05/2024

Días planeados de trabajo: 200

Fecha de fin: 29/11/2024

N°	Descripción de la etapa	Duración de la etapa (días)	Tarea dependiente	Tipo de Dependencia	Días de dependencia	Comienzo	Fin	Responsable	Estatus	Fecha de finalización
1	Inicio Monografía	5	0	No Aplica	+0	13/05/24	17/05/24		Completado	20/05/24
2	Selección del tema	2	1	FC	+1	18/05/24	19/05/24		Completado	20/05/24
3	Investigación preliminar	10	2	FC	+1	20/05/24	29/05/24		Completado	30/05/24
4	Planteamiento monografía	10	3	FC	+1	30/05/24	08/06/24		Completado	10/06/24
5	Consulta con el asesor	3	4	FC	+1	09/06/24	11/06/24		Completado	15/06/24
6	Definición del alcance	2	5	FC	+1	12/06/24	13/06/24		Completado	15/06/24
7	Elaboración del esquema	4	6	FC	+1	14/06/24	17/06/24		Completado	20/06/24
8	Introducción	2	7	FC	+1	18/06/24	19/06/24		Completado	21/06/24
9	Planteamiento del problema e hipótesis	3	8	FC	+1	20/06/24	22/06/24		Completado	22/06/24
10	Pregunta principal	1	9	FC	+1	23/06/24	23/06/24		Completado	23/06/24
11	Pregunta secundaria	1	10	FC	+1	24/06/24	24/06/24		Completado	24/06/24
12	Justificación	3	11	FC	+1	25/06/24	27/06/24		Completado	28/06/24
13	Objetivo general	2	12	FC	+1	28/06/24	29/06/24		Completado	30/06/24
14	Objetivos específicos	2	13	FC	+1	30/06/24	01/07/24		Completado	02/07/24
15	Marco teórico	20	14	FC	+1	02/07/24	21/07/24		Completado	24/07/24
16	Descripción Normas gestión de activos	5	15	FC	+1	22/07/24	26/07/24		Completado	17/09/24
17	Metodologías para la gestión de activos	5	16	FC	+1	27/07/24	31/07/24		Completado	17/09/24
18	Requisitos para las normas de gestión de activos	5	17	FC	+1	01/08/24	05/08/24		Completado	17/09/24
19	Estrategias basadas en normas de la gestión de activos	5	18	FC	+1	06/08/24	10/08/24		Completado	17/09/24
20	Estado del arte	15	19	FC	+1	11/08/24	25/08/24		Completado	17/09/24
21	Ingeniería mantenimiento	5	20	FC	+1	26/08/24	30/08/24		Completado	17/09/24
22	Gestión de activos	5	21	FC	+1	31/08/24	04/09/24		Completado	17/09/24
23	Normatividad para la gestión de activos	5	22	FC	+1	05/09/24	09/09/24		Completado	17/09/24
24	Papers	7	23	FC	+1	10/09/24	16/09/24		Completado	17/09/24
25	Desarrollo técnico	16	24	FC	+1	17/09/24	02/10/24		Completado	24/09/24
26	Taxonomía	4	25	FC	+1	03/10/24	06/10/24		Completado	24/09/24
27	Criticidad	3	26	FC	+1	07/10/24	09/10/24		Completado	24/09/24
28	Análisis causa raíz	2	27	FC	+1	10/10/24	11/10/24		Completado	24/09/24
29	Planes de mantenimiento	2	28	FC	+1	12/10/24	13/10/24		Completado	02/10/24
30	Manejo del cambio	4	29	FC	+1	14/10/24	17/10/24		Completado	08/10/24
31	Toma de decisiones	5	30	FC	+1	18/10/24	22/10/24		Completado	10/10/24
32	Buenas practicas	3	31	FC	+1	23/10/24	25/10/24		Completado	12/10/24
33	Resultados Esperados	2	32	FC	+1	26/10/24	27/10/24		Completado	15/10/24
34	Conclusiones	5	33	FC	+1	28/10/24	01/11/24		Completado	15/10/24
35	Bibliografía	2	34	FC	+1	02/11/24	03/11/24		Completado	15/10/24
36	Revisión Monografía	3	35	FC	+1	04/11/24	06/11/24		Completado	17/10/24
37	Modificaciones	10	36	FC	+1	07/11/24	16/11/24		Completado	31/10/24
38	Entrega monografía	5	37	FC	+1	17/11/24	21/11/24		En progreso	15/11/24

Diagrama de Gantt



Granos	Perdidos
0	0
0	1
0	2
0	3
0	4
0	5
0	6
0	7
0	8
0	9
0	10
0	11
0	12
0	13
0	14
0	15
0	16
0	17
0	18
0	19
0	20
0	21
0	22
0	23
0	24
0	25
0	26
0	27
0	28
0	29
0	30
0	31
0	32
0	33
0	34
0	35
0	36
0	37
0	38
0	39
0	40
0	41
0	42
0	43
0	44
0	45
0	46
0	47
0	48
0	49
0	50
0	51
0	52
0	53
0	54
0	55
0	56
0	57
0	58
0	59
0	60
0	61
0	62
0	63
0	64
0	65
0	66
0	67
0	68
0	69
0	70
0	71
0	72
0	73
0	74
0	75
0	76
0	77
0	78
0	79
0	80
0	81
0	82
0	83
0	84
0	85
0	86
0	87
0	88
0	89
0	90
0	91
0	92
0	93
0	94
0	95
0	96
0	97
0	98
0	99
0	100

Resultados Esperados

El establecimiento de buenas prácticas en la planta de enriquecimiento de biogás: Diseñar estrategias fundamentadas en metodologías y prácticas específicas para la gestión de activos. Estas estrategias deben incluir estándares reconocidos como ISO 55001, combinados con otros sistemas de gestión como ISO 31000 gestión de riesgos, ISO 14224 industrias de petróleo, petroquímica y gas natural recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos, ISO 9000 gestión de la calidad, ISO 14000 gestión ambiental, ISO 30301 gestión documental e ISO 45001 gestión de la salud y seguridad en el trabajo. Es esencial capacitar al personal en estas buenas prácticas y monitorear su cumplimiento de manera continua (Amendola & Depool, 2018).

Centralización de información en el aplicativo EAM MÁXIMO de la planta de enriquecimiento de biogás: Registrar todos los datos relevantes sobre los activos en el sistema EAM MÁXIMO para la gestión de activos en el grupo EPM. Incluir información sobre adquisición, mantenimiento, vida útil, costos, riesgos y seguridad.

Documentación y seguimiento en la planta de enriquecimiento de Biogás: Documentar cada etapa del ciclo de vida de los activos, desde la adquisición hasta la desincorporación. Realizar un seguimiento riguroso de los procedimientos establecidos (Arellano, y otros, 2017).

Indicadores claves de desempeño (KPI) en la planta de enriquecimiento de biogás: Establecer KPI para evaluar la eficiencia y efectividad de la gestión de activos. Evaluar regularmente el desempeño y ajustar las buenas prácticas según sea necesario.

Auditorías periódicas y mejora continua en la planta de enriquecimiento de biogás: Realizar auditorías periódicas para identificar áreas de mejora y diseñar planes de acción. Ajustar las buenas prácticas según los hallazgos de las auditorías.

Enfoque en sostenibilidad y seguridad en la planta de enriquecimiento de Biogás: Considerar el impacto ambiental y la seguridad en todas las decisiones relacionadas con los activos y las buenas prácticas (Barlow, 2006).

Eficiencia operativa mejorada: La optimización de procesos y recursos resulta en una operación más fluida y eficiente, maximizando la productividad de la planta.

Reducción de costos: Ahorro significativo en costos de mantenimiento y operación debido a una gestión más eficiente y a la eliminación de desperdicios (Salazar, 2018).

Mayor confiabilidad de los activos: Aumento en la vida útil y rendimiento de los activos gracias a un mantenimiento preventivo y predictivo adecuado.

Cumplimiento normativo: Aseguramiento del cumplimiento de todas las normativas y estándares relevantes, reduciendo riesgos legales y financieros (Coleman, 2016).

Sostenibilidad y reducción de emisiones: Contribución a la sostenibilidad ambiental mediante el uso eficiente del biogás y la reducción de emisiones de CO₂.

Toma de decisiones informadas: Disponibilidad de datos precisos y actualizados que facilitan decisiones estratégicas y operativas bien fundamentadas.

Mejora continua: Promoción de una cultura de mejora continua a través de la capacitación del personal y la adopción de nuevas tecnologías (Deadman, 2016).

Logros y alcance Planta de Enriquecimiento de Biogás PTAR San Fernando

La gestión eficiente de los activos desempeña un papel crucial en el rendimiento y la sostenibilidad de la Planta de Enriquecimiento de Biogás PTAR San Fernando. Este informe presenta un análisis detallado de los logros y alcances de los objetivos planteados, destacando especialmente la implementación de la norma NTC ISO 55001.

Logros y alcance asociados al objetivo general

Uno de los logros más destacados ha sido la implementación de un sistema de gestión de activos. Este sistema ha facilitado un uso más eficiente de los recursos disponibles, resultando en una reducción de los costos operativos y un aumento de la productividad. La optimización de recursos no solo ha mejorado la eficiencia operativa, sino que también ha contribuido de manera sustancial a la sostenibilidad económica y ambiental de la planta.

El establecimiento de un marco integral de gestión de riesgos ha sido fundamental para minimizar los eventos adversos y asegurar la continuidad operativa. Este marco incluye la identificación y evaluación de riesgos potenciales, además de la implementación de estrategias de mitigación proactivas. Gracias a esta iniciativa, la planta ha logrado reducir significativamente la frecuencia y el impacto de incidentes no deseados, mejorando tanto la seguridad como la estabilidad de las operaciones.

La implementación de políticas de seguridad y protección ambiental ha reducido los incidentes de seguridad y ha mejorado el cumplimiento con las normativas ambientales. Estas políticas garantizan que todas las operaciones de la planta se lleven a cabo de manera segura y

sostenible, protegiendo tanto a los trabajadores como al entorno. Este compromiso con la seguridad y el medio ambiente fortalece la reputación de EPM como una entidad responsable y confiable.

Logros y alcances asociados a los objetivos específicos

Se ha realizado un análisis de diversas metodologías de gestión de activos. Esta evaluación ha permitido seleccionar las metodologías que han demostrado ser más eficientes en contextos similares. Como resultado, se han adoptado las mejores prácticas disponibles, lo que ha conducido a una notable mejora en la eficiencia y efectividad de la gestión de activos en todo su ciclo de vida.

La implementación de las mejores prácticas identificadas ha resultado en una mejora en la eficiencia y efectividad de la gestión de activos en todo el ciclo de vida. Este proceso ha optimizado tanto los recursos como los procedimientos empleados, contribuyendo así a una gestión de activos más eficaz y eficiente.

Se han desarrollado e implementado estrategias innovadoras que han optimizado el rendimiento de los activos en todo el ciclo de vida, al mismo tiempo que han reducido los costos operativos y de mantenimiento. Estas estrategias abarcan la utilización de tecnologías y la adopción de enfoques más eficientes para la gestión de activos, logrando así un manejo más efectivo y económico de los recursos disponibles.

La identificación y mitigación proactiva de riesgos mediante un enfoque sistemático ha permitido reducir tanto la frecuencia como el impacto de los eventos adversos. Este método no solo garantiza la continuidad de las operaciones, sino que también mejora la seguridad general de la planta.

La implementación de un sistema integral de seguridad que abarca todas las fases de la gestión de activos ha minimizado los riesgos tanto para los trabajadores como para el medio ambiente. Este sistema incluye protocolos estrictos de seguridad y medidas preventivas diseñadas para proteger a todos los involucrados. Además, el cumplimiento con las normativas de seguridad y medio ambiente ha reducido los incidentes y mejorado la sostenibilidad de las operaciones. Este cumplimiento garantiza que todas las actividades se realicen de acuerdo con las regulaciones vigentes, protegiendo tanto a la planta como a su entorno.

La mejora en la calidad de la información ha incrementado la integridad y confiabilidad de los datos relacionados con los activos, asegurando que la información sea precisa y accesible. Esto facilita la toma de decisiones informadas. Además, la adopción de tecnologías ha garantizado la disponibilidad y puntualidad de la información, permitiendo decisiones basadas en datos precisos y actualizados. Estas tecnologías han mejorado la eficiencia operativa y la capacidad de respuesta de la planta.

Los logros en la gestión de activos en la Planta de Enriquecimiento de Biogás PTAR San Fernando reflejan un compromiso constante con la excelencia operativa y la sostenibilidad. La implementación de un sistema de gestión de activos, la mitigación efectiva de riesgos y el enfoque en la seguridad y la protección ambiental son pilares fundamentales que han contribuido al éxito de la planta. Estos esfuerzos no solo mejoran la eficiencia y reducen los costos, sino que también garantizan un entorno de trabajo seguro y protegido, alineándose con los estándares internacionales de gestión de activos.

Conclusiones

La aplicación de metodologías y buenas prácticas de gestión de activos en la planta de enriquecimiento de biogás PTAR San Fernando no solo mejora la eficiencia operativa en un 80 % y la sostenibilidad, sino que también fortalece la resiliencia y competitividad de la planta en el sector energético.

La optimización de procesos y recursos maximiza la productividad, logrando una reducción significativa de costos en un 20 al 30% gracias a una gestión eficiente y la eliminación de desperdicios. El mantenimiento preventivo y predictivo incrementa la confiabilidad de los activos en un 20 al 30%, garantizando su vida útil en un 100% y minimizando fallos inesperados. La sostenibilidad se ve reforzada con el aprovechamiento eficiente del biogás y prácticas sostenibles que reducen las emisiones de CO₂ en un 100%, apoyando los objetivos ambientales.

La toma de decisiones informadas, basada en datos precisos y actualizados, junto con la promoción de una cultura de mejora continua a través de la capacitación y la adopción de nuevas tecnologías, asegura que la planta se mantenga a la vanguardia en términos de gestión de activos.

La adopción de estándares internacionales como ISO 55001, ISO 31000 gestión de riesgos, ISO 14224 industrias de petróleo, petroquímica y gas natural recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos, ISO 9000 gestión de la calidad, ISO 14000 gestión ambiental, ISO 30301 gestión documental e ISO 45001 gestión de la salud y seguridad en el trabajo, junto con la capacitación continua del personal, permite una gestión más eficiente y efectiva de los activos en un 80%, optimizando el uso de recursos y mejorando la operatividad de la planta.

La implementación de sistemas de gestión de activos como el EAM MÁXIMO facilita la centralización y análisis de datos, lo cual respalda la toma de decisiones estratégicas y operativas bien fundamentadas, promoviendo una cultura de mejora continua dentro de la organización.

La integración de prácticas sostenibles y el aprovechamiento del biogás contribuyen significativamente a la reducción de emisiones de CO₂ y al cumplimiento de normativas ambientales, reafirmando el compromiso de la planta con la sostenibilidad ambiental.

La gestión adecuada del ciclo de vida de los activos y la implementación de programas de mantenimiento preventivo y predictivo incrementan la confiabilidad de los activos, reducen el riesgo de fallos inesperados y optimizan los costos de mantenimiento y operación.

La conformidad con los estándares y normativas relevantes asegura la minimización de riesgos legales y financieros, así como la protección de la salud y seguridad de los trabajadores, creando un entorno de trabajo seguro y regulado.

Bibliografía

- Ajay, S. (2018). *Handbook of Biogas: A Guide to Technology and Applications* (1 ed., Vol. 1). (T. & Group, Ed.) Boca Raton, Florida, Estados Unidos: CRC Press. Recuperado el 08 de 11 de 2024
- Amendola, L. (2015). *Gestión Integral de Activos Físicos* (1st Edition ed., Vol. 1). (P. I. Group, Ed.) Valencia, Valencia, España: PMM Institute for Learning. Recuperado el 09 de 11 de 2024, de <https://pmm-bs.com/libro-gestion-integral-de-activos-fisicos/>
- Amendola, L., & Depool, T. (2018). *ABC de la gestión de activos* (Primera ed., Vol. Uno). (P. I. Learning, Ed.) Madrid, Comunidad autónoma uniprovincial, España: PMM Institute for Learning. Recuperado el 19 de Septiembre de 2024
- Ang, A. (2014). *Asset Management: A Systematic Approach to Factor Investing* (Primera edición ed., Vol. 1). (O. U. Press, Ed.) Oxford, Inglaterra, Reino Unido: Oxford University Press. Recuperado el 09 de 11 de 2024
- Arellano, L., Fortuny, M., Gabriel, D., Gamisan, X., González Sánchez, A., Dorado, A. D., . . . Sierra, H. (2017). *Purification and use of biogas* (Universitat Autònoma de Barcelona ed., Vol. 1). (D. G. Sierra, Ed.) Barcelona, Cataluña, España: Servei de Publicacions de la Universitat Autònoma de Barcelona. Recuperado el 01 de Septiembre de 2024, de <http://publicacions.uab.cat>
- Barlow, P. (2006). *Strategic Asset Management: A Guide for the Public Sector* (1ª Edición ed., Vol. 1). (Routledge, Ed.) London, London, Reino Unido: Routledge. Recuperado el 09 de 11 de 2024
- Barsalou, M. (2014). *Root Cause Analysis: A Step-By-Step Guide to Using the Right Tool at the Right Time* (1ª Edición ed., Vol. 1). (C. Press, Ed.) Milwaukee, Wisconsin, Estados Unidos: CRC Press. Recuperado el 11 de 10 de 2024, de CRC Press

- Bran Quiroz, D. M., & Berdugo Corredor, O. A. (2024). *Diseñar estrategias basadas en metodologías y buenas prácticas de Gestión en la Planta de Enriquecimiento PTAR San Fernando*. Monografía, Universidad de Antioquia, Antioquia, Medellín. Recuperado el 01 de 10 de 2024
- Bravo, J. A. (2015). *Desempeño Financiero: Estrategias para Maximizar el Valor de la Empresa* (1ª Edición ed., Vol. 1). (M.-H. Educación, Ed.) Ciudad de México, Ciudad de México, México: Editorial McGraw-Hill. Recuperado el 10 de 11 de 2024, de McGraw-Hill México
- Campbell, J., & Jardine, A. (2010). *Asset Management Excellence: Optimizing Equipment Life-Cycle Decisions* (Segunda edición ed.). Florida, Boca Ratón, Estados Unidos: CRC Press. Recuperado el 28 de Agosto de 2024, de Google Books
- Campbell, J., & Jardine, A. (2010). *Asset Management Excellence: Optimizing Equipment Life-Cycle Decisions* (Segunda edición ed., Vol. Segunda Edición). (M. Dekker, Ed.) Florida, Boca Ratón, Estados Unidos: CRC Press. doi:10.1201/9781032679600
- Coleman, P. (2016). *Managers, Risk Management for Asset Management: A Practical Guide for Asset* (Primera ed.). Londres, Reino Unido, Inglaterra: Routledge. Recuperado el 29 de Agosto de 2024, de Google Books
- Comisión de Regulación de Energía y Gas. (3 de 12 de 1999). Reglamento único de Transporte de Gas Natural . *Resolución CREG 071 de 1999, Actualizada el 31 de mayo de 2024*, 146. (C. d. Gas, Ed.) Bogotá D.C, Cundinamarca, Colombia: Comisión de Regulación de Energía y Gas. Recuperado el 09 de 09 de 2024, de <https://www.cnogas.org.co/documentos/Resolucion%20CREG-071%20de%201999%20-%20actualizada%20a%2031%20de%20mayo%20de%202024.pdf>
- Comisión de Regulación de Energía y Gas. (21 de 06 de 2007). Resolución 054 de 2007. *Resolución 054 de 2007*, 41. (C. d. Gas, Ed.) Bogotá D.C., Cundinamarca, Colombia: Comisión de Regulación de Energía y Gas. Recuperado el 11 de 09 de 2024, de

https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0054_2007.htm

Comisión de Regulación de Energía y Gas. (06 de 12 de 2016). Resolución 240 de 2016.

Resolución , 17. (C. d. Gas, Ed.) Bogotá D.C., Cundinamarca, Colombia: Comisión de Regulación de Energía y Gas . Recuperado el 23 de 08 de 2024, de

https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0240_2016.htm

Crouch, R. (2012). *Strategic Asset Management: A Guide to Managing the Lifecycle of Infrastructure Assets* (Primera edición ed., Vol. 1). (L. John Wiley & Sons, Ed.)

Chichester, West Sussex, Reino Unido: John Wiley & Sons. Recuperado el 09 de 11 de 2024

Davidow, M. (2017). *The Maintenance Management Framework: A Practical Guide to Reliability-Centered and Risk-Based Maintenance* (Primera edición ed., Vol. 1). (T. & Group, Ed.) Boca Raton, Florida, Estados Unidos: CRC Press. Recuperado el 09 de 11 de 2024, de CRC Press

Deadman, C. (2016). *Strategic Asset Management: The Quest for Utility Excellence* (ilustrada, reimpresión ed., Vol. Uno). (M. Business, Ed.) Londres, Gran Londres, Reino Unido: Routledge. Recuperado el 29 de agosto de 2024, de https://www.google.com.co/books/edition/Strategic_Asset_Management/frj5QwAACAAJ?hl=es-419

Dhillon, B. (2006). *Life Cycle Costing for Engineers* (Primera edición ed., Vol. 1). (C. Press, Ed.) Boca Raton, Florida, Estados Unidos: CRC Press. Recuperado el 09 de 11 de 2024

Empresas Públicas de Medellín E.S.P. (04 de 05 de 2017). Guía metodológica para el manejo del cambio. *Guía metodológica para el manejo del cambio*, 19. (D. G. Activos, Ed.) Medellín, Antioquia, Colombia: Empresas Públicas de Medellín E.S.P. Recuperado el 04 de 10 de 2024

- Empresas Públicas de Medellín E.S.P. (06 de 12 de 2018). Guía Metodológica para el análisis de criticidad de activos EPM. *Guía Metodológica para el análisis de criticidad de activos EPM, 1*, 18. (D. G. Activos, Ed.) Medellín, Antioquia, Colombia: Empresas Públicas de Medellín E.S.P. Recuperado el 13 de 07 de 2024
- Empresas Públicas de Medellín E.S.P. (20 de 11 de 2020). Guía Metodológica para la gestión de planes de mejoramiento. *Guía Metodológica para la gestión de planes de mejoramiento, 9*, 18. (D. G. Activos, Ed.) Medellín, Antioquia, Colombia: Empresas Públicas de Medellín E.S.P. Recuperado el 24 de 09 de 2024
- Empresas Públicas de Medellín E.S.P. (2021). *Anexo técnico 1 del acta de transacción proyecto Biogás*. Empresas Públicas de Medellín E.S.P., Antioquia. Medellín: Empresas Públicas de Medellín E.S.P. Recuperado el 05 de 05 de 2024
- Empresas Públicas de Medellín E.S.P. (22 de 10 de 2021). Guía Metodológica análisis de Causa Raíz. *Guía Metodológica análisis de Causa Raíz, 1*, 22. (D. G. Activos, Ed.) Medellín, Antioquia, Colombia: Empresas Públicas de Medellín E.S.P. Recuperado el 23 de 09 de 2024
- Empresas Públicas de Medellín E.S.P. (2022). *Diseño Planta de Enriquecimiento Biogás PTAR San Fernando*. Empresas Públicas de Medellín E.S.P., Antioquia. Medellín: Empresas Públicas de Medellín E.S.P. Recuperado el 05 de 05 de 2024
- Empresas Públicas de Medellín E.S.P. (08 de 08 de 2023). Guía metodológica para la toma de decisiones. *Guía metodológica para la toma de decisiones, 3*, 34. (D. G. Activos, Ed.) Medellín, Antioquia, Colombia: Empresas Públicas de Medellín E.S.P. Recuperado el 13 de 10 de 2024
- Empresas Públicas de Medellín E.S.P. (14 de 02 de 2024). Guía Metodológica Gestión Integral de Riesgos. *Guía Metodológica Gestión Integral de Riesgos, 10*, 36. (V. Riesgos, Ed.) Medellín, Antioquia, Colombia: Empresas Públicas de Medellín E.S.P. Recuperado el 24 de 09 de 2024

- Gabriel, D., & Sierra, H. (2017). *Purificación y Usos del Biogas* (1st Edition ed., Vol. 1). (P. d. Barcelona, Ed.) Barcelona, Cataluña, España: Publicaciones de la Universidad Autonoma de Barcelona. Recuperado el 09 de 11 de 2024, de https://books.google.com.co/books/about/Purificaci%C3%B3n_y_usos_del_biog%C3%A1s.html?id=K1loDwAAQBAJ&redir_esc=y
- Ganchozo, M. u., Valero Yarlequé, L. J., & Vera Macías, S. D. (Enero - Diciembre de 2020). Diseño del sistema de gestión de activos físicos según norma ISO 55001:2014. (R. InGenio, Ed.) *Revista InGenio*, 3(1), págs. 81 - 88. Recuperado el 19 de Septiembre de 2024, de <http://revistas.uteq.edu.ec/index.php/ingenio>
- García Serrano, J. A. (2015). *Gestión de Proyectos para Ingenieros* (1ª Edición ed., Vol. 1). (E. Paraninfo, Ed.) Madrid, Madrid, España: Editorial Paraninfo. Recuperado el 10 de 11 de 2024, de Ediciones Paraninfo
- García, A. J. (2015). *Biogás: Tecnologías y aplicaciones* (Primera edición ed., Vol. 1). (M.-H. Interamericana, Ed.) Madrid, Comunidad de Madrid, España: Editorial McGraw-Hill. Recuperado el 09 de 11 de 2024
- García, J. C. (2020). *Biometano: Energía renovable del futuro* (Primera ed., Vol. 1). (P. Sánchez, Ed.) Madrid, Madrid, España: Editorial Técnica. Recuperado el 09 de 11 de 2024
- Graves, W. T. (2014). *Root Cause Analysis: A Guide to Effective Problem Solving* (1ª Edición ed., Vol. 1). (M.-H. Education, Ed.) New York, New York, Estados Unidos: McGraw-Hill Education. Recuperado el 09 de 11 de 2024
- Gulati, R. (2015). *The Certified Maintenance & Reliability Professional (CMRP) Handbook* (1ª Edición ed., Vol. 1). (I. Industrial Press, Ed.) New York, Nueva York, Estados Unidos: Industrial Press. Recuperado el 10 de 11 de 2024, de Industrial Press
- Harari, Y. N. (2014). *Sapiens: De animales a dioses* (1st Edition ed., Vol. 1). (HarperCollins, Ed.) Israel, Israel, Israel: HarperCollins. Recuperado el 09 de 11 de 2024, de

https://books.google.com.co/books?id=qmj7AwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Hernández, R. M., Martínez Pérez, E., Vilalta Alonso, J., García Fenton, V., & Basile Wilson, M. (Julio de 2022). La planificación del mantenimiento, su importancia en la gestión de los activos. (J. Perez, Ed.) *Ingeniería industrial*, 43, págs. 108 - 124. Recuperado el 19 de Septiembre de 2024, de <http://rii.cujae.edu.cu>

Hull, J. C. (2018). *Risk Management and Financial Institutions* (Cuarta edición ed., Vol. 4). (W. & Sons, Ed.) Hoboken, Nueva Jersey, Estados Unidos: Wiley. Recuperado el 09 de 11 de 2024

Institute of Public Works Engineering Australasia (IPWEA). (13 de 10 de 2020). International Infrastructure Management Manual (IIMM) . *International Infrastructure Management Manual (IIMM)* , 6, 500. (I. o. (IPWEA), Ed.) Sydney, Australia: Institute of Public Works Engineering Australasia (IPWEA). Recuperado el 14 de 10 de 2024, de <https://www.ipwea.org/>

International Electrotechnical Commission (IEC). (febrero de 2015). IEC 62740:2015 Root Cause Analysis. *IEC 62740:2015 Root Cause Analysis, versión 2*, 11. (I. E. (IEC), Ed.) Ginebra, Suiza: International Electrotechnical Commission (IEC). Recuperado el 14 de 09 de 2024, de <https://webstore.iec.ch/en/publication/21810>

International Organization for Standardization. (15 de enero de 2014). ISO 55000:2014. Gestión de activos.Aspectos generales, principios y terminología. *ISO 55000:2014. Gestión de activos.Aspectos generales, principios y terminología*, 24. (I. O. Standardization, Ed.) Ginebra, Suiza: International Organization for Standardization. Recuperado el 17 de 09 de 2024, de <https://www.iso.org/es>

International Organization for Standardization. (enero de 2014). ISO 55001: Gestión de activos.Requisitos para un sistema de gestión de activos. *ISO 55001: Gestión de activos.Requisitos para un sistema de gestión de activos*, 24. (I. O. Standardization, Ed.)

- Ginebra, Suiza: International Organization for Standardization. Recuperado el 12 de 09 de 2024, de <https://www.iso.org/es>
- International Organization for Standardization. (31 de 10 de 2016). BS EN ISO 14224:2016. *Industrias de petróleo, petroquímica y gas natural-recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos, Segunda edición*, 289. (I. O. Standardization, Ed.) Ginebra, Suiza: BSI Standards Limited 2016. Recuperado el 24 de 05 de 2024
- International Organization for Standardization. (2018). ISO 31000 Administración de gestión de riesgos y lineamientos guía. *ISO 31000 Administración de gestión de riesgos y lineamientos guía, segunda edición*, 25. Ginebra, Suiza: International Organization for Standardization. Recuperado el 12 de 06 de 2024, de <https://www.iso.org/es>
- International Organization for Standardization. (noviembre de 2018). ISO 55002:2018: Gestión de activos. Directrices para la aplicación de la ISO 55001. *ISO 55002:2018: Gestión de activos. Directrices para la aplicación de la ISO 55001*, 56. (I. O. Standardization, Ed.) Ginebra, Suiza: International Organization for Standardization. Recuperado el 11 de 09 de 2024, de <https://www.iso.org/es>
- Kaoru, I. (1943). Diagrama de Ishikawa. (R. d. Calidad, Ed.) *Revista de la Sociedad Japonesa de Ingeniería de Control de Calidad (Japanese Society for Quality Control, JSQC)*. Recuperado el 13 de 11 de 2024, de safetyculture.com/es/temas/diagrama-ishikawa/
- Lam, J. (2014). *Enterprise risk management: From incentives to controls* (Segunda ed.). New Jersey, Hoboken, Estados Unidos: Wiley. Recuperado el 29 de Agosto de 2024, de *Enterprise Risk Management: From Incentives to Controls, 2nd Edition*
- Latino, R. (2015). *Root Cause Analysis: Improving Performance for Bottom-Line Results* (1ª Edición ed., Vol. 1). (C. Press, Ed.) Boca Raton, Florida, Estados Unidos: CRC Press. Recuperado el 10 de 11 de 2024, de CRC Press
- Lipsey, D. (2018). *Digital Asset Management: Transforming the Business of Managing Digital Assets* (1ª edición ed., Vol. 1). (D. Lipsey, Ed.) New York, New York, Estados Unidos:

Focal Press. Recuperado el 09 de 11 de 2024, de <https://www.routledge.com/Digital-Asset-Management-Transforming-the-Business-of-Managing-Digital-Assets/Lipsey/p/book/9781138195779>

Lloyd, C., & Corcoran, M. (2019). *Asset Management: Transforming Asset Dependent Businesses* (Segunda ed.). (E. P. Limited, Ed.) Florida, Boca Ratón, Estados Unidos: CRC PRESS. Recuperado el 29 de Agosto de 2024, de

https://www.google.com.co/books/edition/Asset_Management/5C3vvQEACAAJ?hl=es

Ludwig, B. S. (2015). *Asset Management: A Systematic Approach to Factor Investing* (1ra edición ed., Vol. 1). (Springer, Ed.) New York, New York, Estados Unidos: Springer. Recuperado el 09 de 11 de 2024

Márquez, C. A.-P., & Crespo - Marquez, A. (2012). *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada a la Gestión de Activos* (Reverté ed., Vol. Primera edición). (Reverté, Ed.) Sevilla, Andalucía, España: INGECON. doi:DOI:10.13140/RG.2.2.29363.66083

Martin, A. (2017). *Gestión de la Salud de los Activos Físicos: Estrategias para la Fiabilidad y el Mantenimiento* (1ª Edición ed., Vol. 1). (E. Science, Ed.) Londres, Londres, Reino Unido: Elsevier. Recuperado el 10 de 11 de 2024, de Elsevier

Mejía, R., Nuñez, M., Villanueva, C. E., & Jaraba, I. (2024). *Administración de riesgos: Un enfoque empresarial* (1st Edition ed., Vol. 1). (E. EAFIT, Ed.) Medellín, Antioquia, Colombia: Editorial EAFIT. Recuperado el 09 de 11 de 2024, de <https://editorial.eafit.edu.co/index.php/editorial/catalog/book/633>

Michael, M. (2021). *The Asset Management Handbook* (1ª edición ed., Vol. 1). (McGraw-Hill, Ed.) Chicago, Illinois, Estados Unidos: McGraw-Hill Education. Recuperado el 08 de 11 de 2024

Mobley, K. (2002). *Root Cause Failure Analysis* (Primera edición ed., Vol. 1). (T. & Group, Ed.) Boca Raton, Florida, Estados Unidos: CRC Press. Recuperado el 09 de 11 de 2024, de CRC Press

Mobley, K. (2007). *Maintenance Engineering Handbook* (Octava edición ed., Vol. 8). (M.-H. Professional, Ed.) New York, New York, Estados Unidos: McGraw-Hill Education.

Recuperado el 09 de 11 de 2024

Mobley, K. (2007). *Mantenimiento: Fundamentos, estrategias y mejores prácticas* (1ª Edición ed., Vol. 1). (McGraw-Hill, Ed.) Madrid, Madrid, España: McGraw-Hill. Recuperado el 09 de 11 de 2024

Mobley, K. (2011). *Maintenance Engineering Handbook* (7ª edición ed., Vol. 8ª Edición). (McGraw-Hill, Ed.) New York, New York, Estados Unidos: McGraw-Hill Education.

Recuperado el 10 de 11 de 2024, de McGraw-Hill

Mora Gutiérrez, A. (2023). *Mantenimiento industrial efectivo* (especial ed.). (C. LTDA, Ed.) Medellín, Antioquia, Colombia: COLDI LTDA. Recuperado el 16 de 10 de 2024, de cimpro@mail.com

Moubray, J. (1997). *Reliability-Centered Maintenance. Industrial Press* (Segunda ed., Vol. 1). (I. Industrial Press, Ed.) New York, Nueva York, Estados Unidos: Industrial Press.

Recuperado el 29 de Agosto de 2024, de Reliability-Centered Maintenance

Ochoa Martínez, J. L. (2015). *Planificación y Programación del Mantenimiento Industrial* (1ª Edición ed., Vol. 1). (E. Paraninfo, Ed.) Madrid, Madrid, España: Ediciones Paraninfo.

Recuperado el 10 de 11 de 2024, de Ediciones Paraninfo

Organización Internacional de Normalización (ISO) y la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC). (2019). ISO 31010 Gestión de riesgos. Técnicas de valoración del Riesgo . *ISO 31010 Gestión de riesgos. Técnicas de valoración del Riesgo , Segunda edición*, 92.

Ginebra, Suiza: Organización Internacional de Normalización (ISO) y la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC). Recuperado el 03 de 06 de 2024, de

<https://www.iso.org/es>

Ortega, A., & Salvo, V. (2022). *Seguridad basada en las personas. Comportamientos, valores y emociones* (3ª. edición ed., Vol. 1). (I. Editores, Ed.) Bogotá, Cundinamarca, Colombia:

Ediciones de la U. Recuperado el 09 de 11 de 2024, de
<https://edicionesdelau.com/producto/seguridad-basada-en-las-personas-comportamientos-valores-y-emociones-3a-edicion/>

Palmer, R. (2008). *Maintenance Planning and Scheduling Handbook* (1ª Edición ed., Vol. 1). (M.-H. Professional, Ed.) New York, Nueva York, Estados Unidos: McGraw-Hill Education. Recuperado el 10 de 11 de 2024, de McGraw-Hill

Perez Peña, R. (2019). *Introducción a los modelos de optimización* (1st Edition ed., Vol. 1). (U. P. Colombia, Ed.) Bogota, Cundinamarca, Colombia: Universidad Piloto de Colombia. Recuperado el 09 de 11 de 2024, de
<https://www.unipiloto.edu.co/descargas/Introduccion-a-Modelos-de-Optimizacion.pdf>

Qasim, S. (2000). *Wastewater Treatment Plants: Planning, Design, and Operation* (1ª edición ed., Vol. 1). (C. Press, Ed.) Boca Raton, Florida, Estados Unidos: CRC Press. Recuperado el 08 de 11 de 2024

Ramos, S. L., & Reales Villa, R. H. (2023). *Manual para la implementación del sistema de gestión de activos en empresas del sector eléctrico en Colombia, según la NTC ISO 55001* (1st Edition ed., Vol. 1). (U. d. Antioquia, Ed.) Medellín, Antioquia, Colombia: Universidad de Antioquia. Recuperado el 09 de 11 de 2024, de
https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/37589/5/RamosSandra_2023_ManualGestionActivos.pdf

Rodríguez, Á. S. (Mayo - Agosto de 2010). The integration of the physical assets in the function of maintenance. (F. d. Habana, Ed.) *Revista Ingeniería Mecánica*, vol. 13(2), págs. 72-78. Recuperado el 19 de Septiembre de 2024, de
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442010000200008&lng=en

Rodríguez, C. M. (2018). *Toma de decisiones en la industria: Enfoques, herramientas y casos prácticos* (1ª Edición ed., Vol. 1). (M.-H. Educación, Ed.) Madrid, Madrid, España: Editorial McGraw-Hill. Recuperado el 10 de 11 de 2024, de McGraw-Hill México

Rodríguez, J. A. (2008). *Gestión del Mantenimiento* (Versión 1 ed., Vol. Uno). (Reverte, Ed.) Madrid, Comunidad autónoma uniprovincial, España: Reverte. Recuperado el 19 de Septiembre de 2024, de <https://issuu.com/nancho62/docs/7497765-gestion-del-mantenimiento>

Rodríguez, J. L. (2018). *Seguridad en el Trabajo: Estrategias para Proteger a las Personas en el Entorno Laboral* (1ª Edición ed., Vol. 1). (E. G. 2000, Ed.) Madrid, Madrid, España: Ediciones Gestión 2000. Recuperado el 10 de 11 de 2024, de Ediciones Gestión 2000

Romero Rojas, J. A. (1999). *Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y principios de diseño* (1st Edition ed., Vol. 1). (E. C. Ingeniería, Ed.) Bogotá, Cundinamarca, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería. Recuperado el 09 de 11 de 2024

Rosique, A. S., & Crespo - Márquez, A. (2016). *Principios y Marcos de referencia de la gestión de activos* (Aenor ed., Vol. Uno). (Aenor, Ed.) Madrid, Comunidad autónoma uniprovincial, España: Aenor Ediciones. Recuperado el 19 de Septiembre de 2024, de <http://www.aenor.es>

Salazar, A. (2018). *Gestión de Mantenimiento: Teoría y Práctica* (Primera edición ed., Vol. 1). (Alfaomega, Ed.) Ciudad de México, CDMX (Ciudad de México), México: Alfaomega Grupo Editor. Recuperado el 09 de 11 de 2024, de Alfaomega

Sánchez, C. (2011). *Costos: Planificación, Control y Toma de Decisiones* (1ª Edición ed., Vol. 1). (E. Ediciones, Ed.) Bogotá, Cundinamarca, Colombia: Ecoe Ediciones. Recuperado el 09 de 11 de 2024

Sánchez, J. L. (2010). *Gestión del Mantenimiento Industrial* (Primera edición ed., Vol. 1). (E. Paraninfo, Ed.) Madrid, Madrid, España: Ediciones Paraninfo. Recuperado el 09 de 11 de 2024, de Ediciones Paraninfo

- Smith, A. (2004). *Reliability-Centered Maintenance* (Primera edición ed., Vol. 1). (T. & Group, Ed.) Boca Raton, Florida, Estados Unidos: CRC Press. Recuperado el 09 de 11 de 2024, de CRC Press
- The Institute of Asset Management. (Diciembre de 2015). Gestión de activos: una anatomía. *Anatomía de la gestión de activos*, 3, 84. (T. I. Management, Ed.) Londres, Inglaterra, Reino Unido: The Institute of Asset Management. Recuperado el 17 de 09 de 2024, de www.theIAM.org/AMA
- U.S. Department of Energy. (febrero de 1992). Root Cause Analysis Guidance Document. *Root Cause Analysis Guidance Document*, 69. (U. D. Energy, Ed.) Washington D.C., Estados Unidos: U.S. Department of Energy. Recuperado el 10 de 09 de 2024, de <https://www.standards.doe.gov/standards-documents/1000/1004-std-1992>
- Wahid, A. (2012). *Natural Gas Engineering Handbook* (1ª edición ed., Vol. 1). (Elsevier, Ed.) Houston, Texas, Estados Unidos: Gulf Professional Publishing. Recuperado el 08 de 11 de 2024
- Wellinger, A., Murphy, J., & Baxter, D. (2013). *The Biogas Handbook: Science, Production and Applications* (Primera edición ed.). Cambridge, Ontario, Reino Unido: Woodhead Publishing. Recuperado el 01 de Septiembre de 2024, de The Biogas Handbook
- Williams, D. (2020). *Capex and Opex: Understanding Financial Strategies for Capital and Operational Expenditures* (1ª Edición ed., Vol. 1). (Wiley, Ed.) Nueva York, Nueva York, Estados Unidos: Wiley Finance. Recuperado el 10 de 11 de 2024, de Wiley
- Wireman, T. (2004). *Maintenance Management and Reliability: Theory and Practice* (Primera edición ed., Vol. 1). (T. & Group, Ed.) Boca Raton, Florida, Estados Unidos: CRC Press. Recuperado el 09 de 11 de 2024, de CRC Press
- Wireman, T. (2004). *Maintenance Strategy* (Primera edición ed., Vol. 1). (T. & Group, Ed.) Boca Raton, Florida, Estados Unidos: CRC Press. Recuperado el 09 de 11 de 2024, de CRC Press

