

**Diseño de un modelo dashboard para la integración y el análisis de información para el
área de mantenimiento del sistema matriz acueducto de EPM¹**

Deiner Alberto Rojas Pérez

Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle

2026

Nota del autor

Deiner A. Rojas; Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la
Universidad del Valle.

Este documento cuenta con la dirección de Trabajo de Profundización de proyecto de
tesis del Doctor Alberto Mora.

Trabajo de Profundización para para optar por el título de Magister en Gestión de
Activos y Mantenimiento.

Agradecimientos al departamento de Mantenimiento Sistema Matriz acueducto de EPM,
Medellín, Antioquia.

Cualquier mensaje con respecto a este trabajo debe ser enviado a la Escuela de
Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniera de la Universidad del Valle, Cali, Colombia.

E-mail: deiner.rojas@correounivalle.edu.co

¹ EPM: Empresas Públicas de Medellín

Resumen

La gestión de activos es un componente estratégico para garantizar sostenibilidad, confiabilidad y mantenibilidad en organizaciones con alta dependencia de infraestructura. La norma ISO 55001:2024 orienta la evaluación del desempeño y la gestión de información, lo que resalta la importancia de contar con métricas estandarizadas que respalden la toma de decisiones en mantenimiento (NTC-ISO 55001, 2024).

El proyecto consiste en diseñar un *dashboard* que integre datos provenientes de EAM-MAXIMO, con el propósito de consolidar indicadores críticos de mantenimiento que actualmente no se calculan de forma automática. Para ello se definen pasos metodológicos que abarcan la identificación de necesidades de los grupos de interés, la selección de métricas relevantes y la modelación de una arquitectura de datos que soporte procesos de extracción, transformación y carga (ETL) (Troyansky et al., 2015).

La solución consiste en un desarrollo en *Qlik Sense*, el cual utiliza las etapas de la analítica de datos en su dimensión diagnóstica y descriptiva, lo que facilita la visualización de patrones, correlaciones y posibles desviaciones en la gestión de los activos. Se espera así fortalecer la confiabilidad de la información, optimizar el tiempo de consolidación y apoyar decisiones oportunas alineadas con los lineamientos de gestión de activos (Moens et al., 2021)

Palabras clave: gestión de activos, EAM-MAXIMO, ISO 55001:2024, Qlik Sense, dashboards, KPIs, ETL, analítica de datos, toma de decisiones, UN-EN 16646, ISO-55013.

Abstract

Asset management is a strategic component to ensure sustainability, reliability, and maintainability in organizations with a high dependence on infrastructure. The ISO 55001:2024 standard guides performance evaluation and information management, which highlights the importance of having standardized metrics that support decision-making in maintenance (NTC-ISO 55001, 2024).

The project consists of designing a dashboard that integrates data from EAM-MAXIMO, with the purpose of consolidating critical maintenance indicators that are currently not calculated automatically. To achieve this, methodological steps are defined, including the identification of stakeholder needs, the selection of relevant metrics, and the modeling of a data architecture that supports extraction, transformation, and loading (ETL) processes (Troyansky et al., 2015).

The solution consists of a development in Qlik Sense, which applies the stages of data analytics in its diagnostic and descriptive dimensions, facilitating the visualization of patterns, correlations, and potential deviations in asset management. In this way, it is expected to strengthen the reliability of information, optimize consolidation time, and support timely decisions aligned with asset management guidelines (Moens et al., 2021).

Keywords: asset management, EAM-MAXIMO, ISO 55001:2024, Qlik Sense, dashboards, KPIs, ETL, data analytics, decision-making, UN-EN 16646, ISO-55013.

Contenido

Resumen	2
Abstract	3
Contenido	4
Ecuaciones	7
Tablas	8
Introducción y Contexto Operacional	9
Oportunidad.....	13
Límites de la oportunidad.....	14
Justificación	17
Objetivos.....	22
General	22
Específicos	22
UNO - Necesidades.....	22
DOS - Métricas.....	22
TRES - Dashboard.	22
CUATRO - Resultados.	23
CINCO – Puesta en operación.	23
SEIS – Conclusiones.	23
Marco Teórico	24
Fundamentos de la gestión de activos y marco normativo.....	24
Fundamentos desde la formación académica	27
Antecedentes del proyecto	29
Estado del arte	29
Gestión de activos y marco normativo	29
Sistemas EAM: capacidades y limitaciones (IBM Maximo)	29
ETL y arquitecturas de datos para mantenimiento	29
Analítica de datos aplicada al mantenimiento: niveles y métricas.....	30
Diseño y usabilidad de dashboards en mantenimiento	30
Validación, consistencia y métricas de confianza	30
Estudios de caso y aplicaciones reales	30
Brechas y oportunidades de investigación	30
Marco Metodológico.....	31
Métodos teóricos	31
Métodos empíricos.....	32
Tipo de estudio y de análisis a desarrollar	33
Fases del proyecto.....	34
Fase 1. Diagnóstico y levantamiento de información.....	34
Fase 2. Definición de requerimientos y KPIs.....	34
Fase 3. Integración y modelado de datos (ETL)	34
Fase 4. Desarrollo del dashboard	34
Fase 5. Validación y confiabilidad de resultados	35
Fase 6. Capacitación y adopción por usuarios	35
Fase 7. Conclusiones y recomendaciones	35
Desarrollo	36
Objetivo 1 – Necesidades.....	36
Objetivo 2 – Métricas	42

<i>Alineación con la guía corporativa de monitoreo de desempeño de EPM</i>	45
<i>Definición y cálculo de las métricas seleccionadas</i>	47
<i>Objetivo 3 – Dashboard</i>	52
<i>Arquitectura y entorno de desarrollo en Qlik Sense</i>	52
<i>Extracción de datos</i>	53
<i>Transformación de los datos</i>	56
<i>Normalización y depuración de datos</i>	56
<i>Validación cruzada y trazabilidad</i>	58
<i>Estandarización de unidades y nomenclaturas</i>	60
<i>Carga de datos (Load)</i>	61
<i>Visualización de la información</i>	63
<i>Implementación del dashboard en Qlik Sense</i>	64
<i>Objetivo 4 – Resultados</i>	66
<i>Prueba de consistencia (Coeficiente Alfa de Cronbach)</i>	66
<i>Contexto de los datos para la validación</i>	67
<i>Validación general de indicadores</i>	68
<i>Resultados del cálculo manual</i>	69
<i>Validación por indicador</i>	72
<i>Indicador MTBF</i>	73
<i>Indicador MTTR</i>	73
<i>Indicador de disponibilidad</i>	74
<i>Indicador de Backlog</i>	74
<i>Indicador de costos de mantenimiento</i>	74
<i>Objetivo 5 – Puesta en operación</i>	77
<i>Objetivo 6 – Conclusiones</i>	84
<i>Recomendaciones</i>	87
<i>Descripción de cómo se alcanza el logro de objetivos</i>	90
<i>UNO - Identificación de necesidades de los grupos de interés internos y externos</i>	90
<i>DOS - Definición de indicadores y estructura del dashboard</i>	90
<i>TRES – Dashboard</i>	91
<i>CUATRO – Validación de los indicadores del dashboard</i>	92
<i>CINCO – Puesta en operación y socialización del dashboard</i>	92
<i>Resultados más relevantes</i>	94
<i>Referencias</i>	95

Figuras

Figura 1 - Relación entre las asignaturas y el proyecto.....	28
Figura 2 - Grupos de Interés internos de EPM.....	38
Figura 3 - Indicadores de Gestión de activos y su alineación con el direccionamiento estratégico.....	46
Figura 4 - Arquitectura de datos para métricas de mantenimiento y gestión de activos	51
Figura 5 - Arquitectura ETL.....	52
Figura 6 - Solicitud y aprobación de acceso a bases de datos institucionales en EPM	54
Figura 7 - Campos útiles para la construcción del Dashboard en Qlik Sense	55
Figura 8 - Métodos más comunes en la transformación de datos	56
Figura 9 - Transformaciones aplicadas a campos de fecha, hora y duración de las órdenes de trabajo.....	57
Figura 10 - Datos originales de órdenes de trabajo en EAM-MAXIMO.....	59
Figura 11 - Resultados de validación cruzada en SQL Developer	60
Figura 12 - Homologación y estandarización de campos en la base de datos de mantenimiento.....	61
Figura 13 - Proceso de carga de datos al entorno analítico de Qlik Sense	62
Figura 14 - Diseño preliminar del dashboard de métricas de mantenimiento	64
Figura 15 - Dashboard de métricas de mantenimiento implementado en Qlik Sense....	65
Figura 16 - Esquema del proceso de validación de resultados	67
Figura 17 - Validación de indicadores mediante hoja de cálculo del Doctor Mora	69
Figura 18 - Resultados manuales comparativos de MTBF, MTTR y Disponibilidad	71
Figura 19 - Resultados automáticos de MTBF, MTTR y Disponibilidad en Qlik Sense..	72
Figura 20 - Solicitud creación de Stream del Área de Mantenimiento Sistema Matriz Acueducto	78
Figura 21 - Visualización del Stream del Área de Mantenimiento Sistema Matriz de Acueducto	79
Figura 22 - Capacitación a ingenieros gestores y tecnólogos del Área de Mantenimiento Sistema Matriz Acueducto	80
Figura 23 - Socialización del dashboard con técnicos de mantenimiento en sedes	82

Ecuaciones

Ecuación 1 - Tiempo medio entre mantenimientos	43
Ecuación 2 - Tiempo medio de mantenimiento	44
Ecuación 3 - Disponibilidad alcanzada	44
Ecuación 4 - Métrica tiempo promedio entre fallas	47
Ecuación 5 - Métrica tiempo promedio para reparar	48
Ecuación 6 - Métrica Cumplimiento del plan de mantenimiento	49
Ecuación 7 - Formula de Alfa de Cronbach	66

Tablas

Tabla 1 - Línea de tiempo de hitos relevantes de EPM.	11
Tabla 2 - Costos por horas-hombre, con base en los valores de referencia de EPM.....	19
Tabla 3 - Frecuencia de Informes.....	19
Tabla 4 - Grupos responsables Área Mantenimiento Sistema Matriz Acueducto.....	39
Tabla 5 - Clasificación de indicadores de mantenimiento según niveles jerárquicos definidos por la UNE-EN 15341:2020	45
Tabla 6 - Resultados manuales de MTBF, MTTR y Disponibilidad	70
Tabla 7 - Resultados Alfa de Cronbach por indicador	75

Introducción y Contexto Operacional

La gestión de activos requiere información estructurada, confiable y analizada oportunamente para asegurar la continuidad y eficiencia de los servicios públicos. La NTC-ISO 55001:2024 subraya que la calidad y gobernanza de los datos son determinantes para la planificación, priorización de inversiones y la toma de decisiones estratégicas en mantenimiento (NTC-ISO 55001, 2024).

EPM: Origen e Historia

Empresas Públicas de Medellín (EPM) nace el 6 de agosto de 1955 como empresa industrial y comercial del Estado, de propiedad municipal (Medellín). Es una empresa pública al 100 %, lo que significa que su propiedad y control corresponden al Estado (en este caso al Municipio de Medellín), con objetivos tanto de prestación de servicios públicos domiciliarios como de desarrollo social, ambiental y económico (EPM, 2024).

Desde su inicio, EPM ofrece servicios como energía eléctrica, acueducto, alcantarillado, y con el tiempo ha añadido gas por red, gestión de aguas residuales, residuos sólidos, distribución, generación eléctrica etc.

Área de Mantenimiento en una empresa pública como EPM

El área de mantenimiento en EPM no tiene una fecha precisa de creación, pero su desarrollo institucional muestra cómo se consolidan sus funciones y su importancia dentro de la organización.

El diccionario de servicios públicos de EPM define mantenimiento como el conjunto de acciones que se ejecutan en las instalaciones y redes de los servicios públicos para prevenir daños y repararlos cuando se produzcan. Además, reconoce variantes como mantenimiento preventivo y predictivo (EPM, 2025)

Sistema de Gestión de Activos

EPM implementa un Sistema de Gestión de Activos (SGA) en los negocios de transmisión y distribución de energía, agua y gas. Este sistema cubre los procesos de planeación, construcción, operación y mantenimiento, con el objetivo de optimizar rendimientos, costos, riesgos de falla y desempeño de los activos (Cifuentes Luz, 2017).

Esta certificación refleja una institucionalización bastante avanzada del mantenimiento (y la gestión del ciclo de vida del activo) como componente integral del negocio.

Operación y Mantenimiento en filiales y servicios específicos

Algunas filiales de EPM tienen la estructura organizativa que incluye explícitamente gerencias / áreas de Operación y Mantenimiento de redes e infraestructura, algunas de estas son: Empresa de Aguas del Oriente Antioqueño S.A. E.S.P., Aguas de Malambo S.A. E.S.P., entre otras.

Mantenimiento Preventivo

EPM programa interrupciones del servicio para ejecutar actividades preventivas en su infraestructura. Estas tareas se encuentran formalizadas y planificadas, y forman parte del servicio al usuario.

Importancia del Área de Mantenimiento

Las funciones y beneficios del mantenimiento en la empresa pública EPM se expresan en los siguientes aspectos:

- Garantiza continuidad y calidad del servicio público (agua, energía, gas) al prevenir fallas o interrupciones no planificadas.
- Reduce costos a largo plazo al evitar deterioros severos o reparaciones mayores derivados de fallas no atendidas.
- Aumenta la vida útil de los activos (plantas, redes y equipos).
- Cumple normativas regulatorias, ambientales y de calidad del servicio.

- Mejora la satisfacción de los usuarios al prevenir cortes e inconvenientes en la prestación.
- Mejorar la satisfacción de usuarios al evitar molestias, cortes del servicio, etc.

Empresas Públicas de Medellín (EPM) es una empresa multi-negocio con reconocimiento regional, su sistema matriz de acueducto abarca captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución primaria del agua. La operación involucra equipos especializados en embalses, tanques, estaciones de bombeo y redes de conducción. Esta infraestructura presenta una alta complejidad y requiere decisiones técnicas y estratégicas fundamentadas en evidencia (Féry et al., 2022).

EPM es una organización intensiva en activos. Su crecimiento se caracteriza por la expansión de redes, la incorporación de infraestructura y la atención de un número creciente de usuarios.

El servicio de acueducto alcanza aproximadamente a 1.446.315 clientes-usuarios, lo que representa cerca del 98,18 % de universalización en el Valle de Aburrá y Rionegro. La tabla 1 presenta los principales hitos que explican este crecimiento.

Tabla 1

Línea de tiempo de hitos relevantes de EPM

Año	Hito
1955	Creación de Empresas Públicas de Medellín (EPM).
1960	Inicio de operación del sistema de acueducto metropolitano.
1985	Expansión de redes de acueducto y alcantarillado en el Valle de Aburrá.
2019	Inauguración de la planta de tratamiento de aguas residuales Aguas Claras.
2020	EPM asume la prestación de acueducto y alcantarillado en Rionegro.
2020	Llegada al Caribe colombiano con la filial de energía Afinia.
2022	Entrada en operación comercial de las unidades 1 y 2 de Hidroituango.
2023	Operación de la primera planta de biometano del país.
2023	Entrada en operación comercial de las unidades 3 y 4 de Hidroituango.
2024	Producción de hidrógeno en piloto de la planta Aguas Claras.
2024	Inauguración del parque solar fotovoltaico Tepuy.

Nota. Esta tabla presenta de manera histórica la entrada en operación de las líneas comerciales de los negocios de energía, agua y gas de (EPM, 2024) .

Este creciente número de usuarios, producto de la expansión de redes y mejoramiento de infraestructura, genera una intensificación proporcional en las actividades de operación y mantenimiento. Esta dinámica aumenta la complejidad y eleva la demanda de intervenciones técnicas (EPM, 2024) .

EPM genera un alto volumen de información operativa: aproximadamente 50.000 órdenes de trabajo mensuales a nivel organizacional, de las cuales alrededor de 1.800 corresponden al sistema matriz del acueducto. Estas órdenes, registradas en EAM-MAXIMO2, incluyen datos sobre mantenimiento preventivo y correctivo, intervenciones operativas y condiciones de los activos.

El modelo de trabajo actual exige exportaciones manuales a Excel y análisis fragmentados, y dificulta la construcción de indicadores de desempeño al mismo tiempo que limita la capacidad de aplicar modelos predictivos.

EAM-MAXIMO en EPM funciona como el módulo corporativo de gestión de mantenimiento (Enterprise Asset Management). El sistema centraliza el registro de activos, controla órdenes de trabajo, gestiona inventarios y programa mantenimientos. Su propósito es garantizar la trazabilidad y consolidar un historial único por activo. Sin embargo, la dependencia de procesos manuales y la ausencia de métricas calculadas automáticamente reducen el potencial del sistema como fuente única de información analítica (IBM, 2021).

La transición hacia analítica avanzada e interacción visual representa una oportunidad estratégica para EPM. El proyecto implementa un *dashboard* que consolida información dispersa, automatiza procesos ETL³, habilita minería de datos y presenta KPIs⁴ actualizados para gestores e ingenieros. Esta herramienta facilita la detección de patrones, la priorización de intervenciones y la anticipación de riesgos operacionales (Bokrantz et al., 2020).

² EAM-MAXIMO: Módulo de Mantenimiento EPM

³ ETL: Proceso de Extracción Transformación y Carga.

⁴ KPIs: Indicadores clave de rendimiento

El presente proyecto transforma datos en conocimiento accionable, fortalece la confiabilidad del sistema matriz de acueducto y promueve una cultura organizacional orientada a decisiones con base en evidencia, eficiencia y sostenibilidad. La propuesta articula los objetivos operacionales con los requerimientos de la NTC-ISO 55001:2024 y con normas técnicas relacionadas con métricas y tratamiento de la información.

Oportunidad

La gestión de activos en Empresas Públicas de Medellín (EPM), especialmente en el sistema matriz de acueducto, enfrenta desafíos derivados de la complejidad operativa y del volumen creciente de información en sus procesos de mantenimiento y operación.

Este sistema abastece a más de 1,4 millones de usuarios en el Valle de Aburrá y Rionegro. Su funcionamiento intensivo en activos genera alrededor de 1.800 órdenes de trabajo mensuales, registradas en el sistema corporativo de gestión de mantenimiento EAM-MAXIMO (IBM, 2021).

EAM-MAXIMO constituye una herramienta robusta para registrar y administrar órdenes de trabajo. Sin embargo, presenta limitaciones significativas al momento de consolidar y analizar la información.

En la práctica, los gestores deben realizar exportaciones manuales a hojas de cálculo en Excel, aplicar filtros y elaborar reportes fragmentados. Este procedimiento consume tiempo, reduce la eficiencia analítica y retrasa la generación de indicadores clave de desempeño (KPIs). Como consecuencia, el modelo de gestión limita la capacidad de identificar patrones, anticipar riesgos y aplicar analítica avanzada que respalde decisiones estratégicas oportunas (Yigitbasioglu & Velcu, 2012).

La situación descrita impacta de forma directa la confiabilidad, la eficiencia y la sostenibilidad de las operaciones del sistema matriz de acueducto. La ausencia de métricas críticas calculadas de manera automática, como el backlog real de mantenimiento, la clasificación

de costos por intervención o la eficiencia en la atención de solicitudes, dificulta la priorización de recursos y la planeación efectiva de las actividades de mantenimiento.

La oportunidad de diseñar e implementar un *dashboard* interactivo en *Qlik Sense* se plantea como respuesta a este escenario. La propuesta integra los datos de EAM-MAXIMO mediante procesos automáticos de extracción, transformación y carga (ETL), lo que disminuye la dependencia de procedimientos manuales, agiliza la consolidación de información y fortalece la confiabilidad de los datos utilizados por gestores e ingenieros (Souibgui et al., 2019).

La propuesta tiene valor al superar la simple automatización de reportes y alinear la gestión de información de mantenimiento con los principios de la Norma ISO 55001:2024. Estos lineamientos se reflejan en la confiabilidad, trazabilidad, disponibilidad y calidad de los datos necesarios para la toma de decisiones. Con este enfoque, EPM no solo resuelve una limitación operativa, sino que también avanza en la madurez de su Sistema de Gestión de Activos y se consolida como referente regional en prácticas sostenibles y eficientes en el sector de servicios públicos.

Límites de la oportunidad

El alcance del proyecto se define por condiciones específicas que determinan el marco de acción y las restricciones de la propuesta. Estas limitaciones resultan claves para establecer un escenario realista de implementación y evitar expectativas que excedan las capacidades actuales de la organización (Kerzner, 2017).

Ámbito organizacional

El proyecto se limita al área de mantenimiento del sistema matriz de acueducto de EPM y excluye procesos de potabilización y negocios como energía, gas o saneamiento. Esta delimitación responde a la necesidad de concentrar los esfuerzos en un sistema crítico e intensivo en activos, cuya operación requiere un control riguroso de métricas de mantenimiento (Marcial-Rojas & Alfonso-Llanes, 2024).

No obstante, fases posteriores pueden aprovechar la experiencia adquirida y aplicarla en otros segmentos de la organización.

Fuente de información

La solución se fundamenta en los datos registrados en el sistema corporativo EAM-MAXIMO. Esta plataforma centraliza gran parte de la información de mantenimiento, pero presenta limitaciones en la calidad de los registros, con errores de captura, subregistros e inconsistencias en la trazabilidad de las órdenes de trabajo. El proyecto no contempla integraciones con plataformas externas de gestión ni con sistemas de monitoreo en tiempo real, lo que restringe la amplitud de las fuentes de información (IBM, 2021).

3. Dimensión analítica

El *dashboard* se centra en la construcción de reportes descriptivos y diagnósticos que mejoran la visualización de patrones históricos y actuales en la gestión de mantenimiento. No incluye, en esta fase, capacidades de analítica avanzada como predicción de fallas, análisis prescriptivo o simulación de escenarios, ya que estas requieren modelos estadísticos y de inteligencia artificial más sofisticados. Estos niveles de análisis representan una oportunidad de evolución futura del proyecto (Mikalef et al., 2018).

4. Cobertura temporal

El análisis considera únicamente la información histórica y actual registrada en EAM-MAXIMO. Los resultados dependen de la calidad y completitud de estos datos. En esta etapa inicial, el alcance excluye proyecciones de series temporales o modelos predictivos, debido a la falta de integración con datos en tiempo real y a las limitaciones de las capacidades analíticas del *dashboard* (Bokrantz et al., 2020).

5. Recursos tecnológicos y humanos

La propuesta depende de la infraestructura tecnológica disponible en EPM y del uso de Qlik Sense como plataforma de desarrollo. La disponibilidad de licencias, la capacidad de

procesamiento y los conectores existentes determinan el alcance técnico del proyecto (Troyansky et al., 2015).

El plano humano requiere la participación de ingenieros de mantenimiento y especialistas en analítica de datos. El éxito del proyecto depende de la disponibilidad de tiempo, la formación y la disposición de los usuarios para adoptar la nueva herramienta en sus procesos de gestión (Yigitbasioglu & Velcu, 2012).

Los límites del proyecto representan condiciones que orientan la factibilidad y definen el campo de aplicación. La identificación temprana de estas restricciones permite establecer un plan realista y concentrado en generar impactos inmediatos y escalables en el área de mantenimiento del sistema matriz de acueducto de EPM.

Justificación

La propuesta plantea el diseño de un dashboard que integra y analiza la información del sistema matriz de acueducto de EPM. Su desarrollo responde a factores estratégicos, operativos y académicos que le otorgan pertinencia, necesidad y alto valor agregado.

La gestión de activos en EPM constituye un eje central para garantizar sostenibilidad y confiabilidad en los servicios públicos. La Norma ISO 55001:2024 resalta la necesidad de procesos estandarizados de captura, organización y análisis de la información para respaldar decisiones efectivas (International Organization for Standardization, 2024).

Un *dashboard* especial constituye una herramienta estratégica para consolidar la gobernanza de datos, garantizar la trazabilidad de las intervenciones y alinear la planeación del mantenimiento con los objetivos corporativos.

El área de mantenimiento del sistema matriz de acueducto maneja un alto volumen de información dispersa que requiere consolidación manual en hojas de cálculo. Este modelo resulta ineficiente, incrementa el riesgo de errores y retrasa la generación de indicadores clave de desempeño (Bhadani & Jothimani, 2016).

La implementación del *dashboard* reduce los tiempos de procesamiento de la información, disminuye la intervención manual y eleva la calidad y coherencia de los datos analizados. Estos avances generan beneficios tangibles como la mitigación de riesgos operativos, la detección temprana de desviaciones, la priorización de actividades críticas y la mejora en la prestación del servicio a más de un millón de usuarios del acueducto metropolitano (Ocampo Parra & Morón Santamaría, 2024).

El proyecto aporta un valor académico y científico al constituir un caso aplicado en la intersección de tres disciplinas: gestión de activos, ingeniería de mantenimiento y analítica de datos. El diseño metodológico se fundamenta en procesos ETL y en la definición de métricas críticas de mantenimiento, lo que lo convierte en un referente de buenas prácticas replicable en organizaciones intensivas en infraestructura.

De forma complementaria, la propuesta contribuye al debate académico sobre el uso de herramientas de *business intelligence* en la gestión de servicios esenciales. Este aporte fortalece el vínculo entre teoría y práctica y abre la posibilidad de nuevas aplicaciones en contextos públicos y privados (Maldonado Romero, 2024).

La viabilidad del proyecto se respalda en factores institucionales, tecnológicos y metodológicos que aseguran su factibilidad en el corto y mediano plazo. EPM dispone del sistema corporativo EAM-MAXIMO como repositorio central de datos de mantenimiento y de la plataforma Qlik Sense como herramienta de analítica y visualización.

La compatibilidad entre ambas tecnologías facilita la implementación del *dashboard* sin requerir inversiones adicionales significativas en software o infraestructura. Además, el proyecto cuenta con el apoyo del área de mantenimiento del sistema matriz de acueducto de EPM y con la dirección académica de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle, lo que garantiza pertinencia técnica y práctica (Layman Lucas, 2024).

Uno de los beneficios más relevantes de la implementación del *dashboard* consiste en optimizar el tiempo y los costos operativos asociados a la consolidación manual de informes en el área de mantenimiento del sistema matriz de acueducto. Actualmente, la elaboración de reportes demanda entre 8 y 16 horas de trabajo de varios profesionales y técnicos, lo que genera un alto consumo de recursos humanos y financieros.

El cálculo de los costos por horas-hombre, se presenta con base en los valores de referencia de EPM, se presenta a continuación:

Tabla 2

Costos por horas-hombre, con base en los valores de referencia de EPM

Cargo	Valor HH	Cantidad	Horas Hombre 8	Horas Hombre 16
Profesional C – Gestión de Proyectos	\$ 96.956	2	\$ 1.551.296	\$ 3.102.592
Profesional B – Operaciones Negocio	\$ 63.230	4	\$ 2.023.360	\$ 4.046.720
Profesional A – Operaciones Negocio	\$ 45.930	2	\$ 734.880	\$ 1.469.760
técnico o técnica de la Operación	\$ 21.000,00	6	\$ 1.008.000	\$ 2.016.000
Total			\$ 5.317.536	\$ 10.635.072

Nota Esta tabla presenta los costos por horas-hombre, con base en los valores de referencia de EPM. Fuente: elaboración propia a partir de datos de la intranet corporativa de EPM.

Tabla 3 *Frecuencia de Informes*

Frecuencia de Informes

Frecuencia de informes	8 horas	16 horas
Mensual	\$ 5.317.536	\$ 10.635.072
Trimestral	\$ 15.952.608	\$ 31.905.216
Semestral	\$ 31.905.216	\$ 63.810.432

Nota: Esta tabla presenta la frecuencia de los informes, con base en los valores de referencia de EPM. Fuente: elaboración propia a partir de datos de la intranet corporativa de EPM.

La implementación del *dashboard* automatiza entre el 80 % y el 90 % de las tareas de consolidación, lo que reduce los costos actuales de hasta \$127,6 millones anuales a una fracción destinada únicamente a validación y análisis de datos. En un escenario conservador de 8 horas, el ahorro anual asciende a \$63,8 millones, mientras que en un escenario de 16 horas el ahorro se duplica y alcanza los \$127,6 millones.

Además del impacto económico, el proyecto genera beneficios operativos relevantes. La solución asegura informes inmediatos al reducir los tiempos de espera de varios días a pocas horas y disminuye los errores humanos en el procesamiento de datos. El talento humano se optimiza porque los profesionales pueden concentrarse en análisis estratégico en lugar de tareas repetitivas. Finalmente, la herramienta mejora la capacidad de respuesta ante eventos críticos y garantiza continuidad y calidad en el servicio de acueducto (Layman Lucas, 2024).

Los factores de soporte tecnológico, institucional, metodológico y de aplicabilidad demuestran que la propuesta resulta técnica, económica y operativamente viable. La implementación del *dashboard* responde a una necesidad actual de EPM y, al mismo tiempo, abre una oportunidad estratégica para fortalecer la madurez del Sistema de Gestión de Activos. De igual forma, el proyecto aporta conocimiento aplicable al ámbito académico y empresarial (Angulo Morris et al., 2022).

Más allá del ahorro directo en tiempo administrativo asociado a la automatización de informes, el uso sistemático de información confiable en la gestión de activos tiene implicaciones económicas de mayor alcance. En el contexto de EPM, se han presentado eventos de rotura de tubería cuya atención ha implicado reparaciones de alta complejidad y procesos de indemnización que superan ampliamente los costos anuales asociados a la gestión manual de información, alcanzando valores del orden de miles de millones de pesos.

En análisis posteriores de estos eventos, se ha identificado la concurrencia de factores como la presencia de corrientes parásitas, la antigüedad elevada de la tubería superior a 36 años y la ausencia de planes de reposición soportados en información consolidada sobre la vida útil de los activos. Este tipo de situaciones pone de manifiesto la relevancia de contar con indicadores actualizados y trazables que apoyen la priorización de intervenciones y la toma de decisiones, reduciendo la probabilidad de impactos económicos y operativos significativos.

El dashboard propuesto contribuye a reducir la probabilidad y la severidad de este tipo de eventos al consolidar indicadores como backlog, criticidad de activos, historial de intervenciones y costos asociados, facilitando la identificación temprana de activos envejecidos o con comportamiento anómalo. De este modo, la herramienta refuerza la capacidad de priorizar reposiciones y mantenimientos preventivos en línea con los principios de la ISO 55001, que exige equilibrar costo, riesgo y desempeño a lo largo del ciclo de vida de los activos.

Adicionalmente, la visibilidad integrada de costos de materiales y del backlog de órdenes ofrece insumos para optimizar el inventario de repuestos críticos asociados a los tramos de red y equipos más vulnerables. Esta optimización contribuye a disminuir el capital inmovilizado, reducir el riesgo de desabastecimiento ante fallas de alto impacto y mejorar la capacidad de respuesta, aspectos coherentes con la sostenibilidad económica y operativa planteada en la (International Organization for Standardization, 2024).

Objetivos

General

Diseñar un *dashboard*, basado en la información de EAM-MAXIMO que permita integrar, analizar y visualizar datos, que respalden decisiones oportunas y confiables en el mantenimiento del sistema matriz acueducto de EPM, en concordancia con el Sistema de Gestión de Activos, y las normas internacionales relacionadas.

Específicos

Se describen de forma secuencial, con el fin de comprender mejor la dimensión del alcance del proyecto.

UNO - Necesidades.

Identificar las necesidades de los grupos de interés para la toma de decisiones oportunas y confiables en la gestión de mantenimiento, conforme a la norma UNE-EN 16646, incluyendo solicitudes, backlog, costos e intervenciones, en el área de mantenimiento del sistema matriz acueducto de EPM. **Nivel 1 – Conocimiento Escala de Benjamín Bloom y Robert Gagné.**

DOS - Métricas.

Reconocer los registros y reportes generados por EAM-MAXIMO, así como sus limitaciones para la construcción del *dashboard*, con el fin de determinar las métricas críticas no calculadas automáticamente e identificar la arquitectura de datos y la herramienta tecnológica a utilizar, en coherencia con la norma ISO 55013. **Nivel 2 - Comprensión de la Escala de Benjamín Bloom y Robert Gagné.**

TRES - Dashboard.

Desarrollar el *dashboard* en la herramienta definida, utilizando la arquitectura modelada que incorpora los roles de acceso y los mecanismos que garantizan la calidad y trazabilidad de la información, a través de procesos automáticos de extracción, transformación y carga (ETL),

con el propósito de minimizar la intervención manual y reducir el tiempo de consolidación. **Nivel**

3 - Aplicación de la Escala de Benjamín Bloom y Robert Gagné.

CUATRO - Resultados.

Contrastar los resultados del *dashboard*, mediante pruebas de consistencia como el coeficiente Alfa de Cronbach, entre la información generada manual y la automática, para asegurar la calidad, coherencia y trazabilidad de los datos generados en el *dashboard*. **Nivel 4**

- Análisis de la Escala de Benjamín Bloom y Robert Gagné.

CINCO – Puesta en operación.

Implementar el *dashboard*, mediante la socialización a los gestores e ingenieros acerca de su uso, con el propósito de asegurar los usuarios puedan tomar decisiones oportunas basados, en información confiable relacionadas con la intervención de los activos, en coherencia con los lineamientos de la norma ISO 55001. **Nivel 5 - Sintetizar - Escala de**

Bloom & Gagné

SEIS – Conclusiones.

Relacionar las principales conclusiones del proyecto y lecciones aprendidas, así como su posibilidad de escalamiento

Marco Teórico

Fundamentos de la gestión de activos y marco normativo

La gestión de activos físicos en el contexto de EPM se fundamenta en marcos normativos internacionales que definen principios de gobernanza, medición del desempeño y trazabilidad de la información. La Norma ISO 55001:2024 orienta el sistema de gestión de activos hacia la confiabilidad y sostenibilidad organizacional, mientras que la ISO 55013:2024 establece lineamientos específicos para la gestión de datos e información.

De manera complementaria, la UNE-EN 16646:2015 integra el mantenimiento dentro del ciclo de vida de los activos, y la UNE-EN 15341:2020 propone indicadores clave de desempeño (KPI) para medir la eficiencia de los procesos de mantenimiento. Estos referentes constituyen la base para garantizar que los datos gestionados en EAM-MAXIMO se conviertan en información confiable y útil para la toma de decisiones estratégicas y operativas.

Las normas de la serie ISO 55000 establecen lineamientos internacionales para estructurar sistemas de gestión de activos. En este marco, la ISO 55001 define requisitos de implementación y mejora continua, mientras que la ISO 55013 precisa directrices sobre gestión de datos e información. En Colombia, la NTC-ISO 55001:2024 constituye referencia normativa para organizaciones intensivas en infraestructura, como EPM, que requieren procesos estandarizados y métricas confiables para respaldar decisiones de mantenimiento (International Organization for Standardization, 2024).

La norma UNE-EN 16646 establece directrices para integrar la función de mantenimiento en la gestión de activos y resalta su papel en la disponibilidad y la seguridad operacional. Por su parte, la ISO 55013 enfatiza la necesidad de contar con datos trazables y de calidad. En conjunto, estas normas respaldan el diseño de *dashboards* que transforman la

información dispersa en conocimiento útil para la toma de decisiones (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2015)

Los sistemas de Enterprise Asset Management (EAM) constituyen herramientas que centralizan y administran datos de activos físicos. Sus funciones principales abarcan la gestión de órdenes de trabajo, la planificación de mantenimientos, el control de inventarios y la trazabilidad del ciclo de vida de los activos (IBM, 2021).

EPM adopta IBM Maximo como sistema corporativo y repositorio central de datos de mantenimiento. Sin embargo, diversos estudios advierten que estos sistemas presentan limitaciones en el cálculo automático de métricas críticas, lo que genera dependencia de procesos manuales en Excel y aumenta el riesgo de errores (Yigitbasioglu & Velcu, 2012).

El reto principal se centra en transformar los registros transaccionales de EAM-MAXIMO en indicadores analíticos confiables y accesibles. Este proceso exige arquitecturas de datos capaces de procesar y visualizar la información en tiempo real, lo que facilita decisiones ágiles (IBM, 2021).

El tratamiento de grandes volúmenes de información exige procesos ETL. Estos procesos comprenden la extracción, transformación y carga de datos, y aseguran la depuración, estandarización y consolidación de información en repositorios centrales como data warehouses o data lakes (Kimball & Ross, 2013).

La arquitectura de datos resultante organiza registros y garantiza calidad, consistencia y trazabilidad de la información. En el ámbito del mantenimiento, este modelo consolida datos sobre órdenes de trabajo, costos, disponibilidad y planes preventivos, lo que conforma un sistema confiable (Souibgui et al., 2019).

La incorporación de reglas específicas de mantenimiento, como la clasificación de criticidad o el cálculo de backlog, agrega valor a los análisis de datos. Estos procesos ETL constituyen pilares metodológicos que permiten construir *dashboards* automatizados y confiables.

La analítica de datos en mantenimiento se clasifica en cuatro niveles: descriptiva, diagnóstica, predictiva y prescriptiva. En la práctica, organizaciones como EPM priorizan los niveles descriptivo y diagnóstico para consolidar indicadores básicos como MTBF, MTTR, disponibilidad, backlog de mantenimiento y costos de intervención. Estas métricas facilitan la medición del desempeño, la priorización de recursos y la anticipación de riesgos (Bokrantz et al., 2020).

La evolución hacia niveles predictivos y prescriptivos requiere modelos estadísticos, técnicas de inteligencia artificial e integración con sistemas de monitoreo en tiempo real. Esta transición constituye una oportunidad de desarrollo futuro para ampliar las capacidades analíticas del área de mantenimiento.

Los *dashboards* constituyen sistemas interactivos que integran indicadores clave de desempeño para monitorear procesos, facilitar la detección de patrones y apoyar decisiones estratégicas; su diseño debe priorizar claridad, jerarquización de la información y navegación intuitiva. Herramientas como Qlik Sense aportan modelos asociativos y visualizaciones dinámicas que facilitan hallazgos operativos relevantes (Few, 2006a); (Moens et al., 2021).

La confiabilidad de los indicadores depende de la calidad de los datos y de la coherencia entre procesos manuales y automatizados. La literatura especializada recomienda el uso de métodos estadísticos de validación, como el coeficiente Alfa de Cronbach, para garantizar consistencia en los resultados (Cronbach, 1951).

En ingeniería de mantenimiento, la aplicación de pruebas de consistencia y concordancia entre diferentes fuentes de datos fortalece la confianza de los usuarios en los *dashboards*. Al mismo tiempo, asegura que la información resulte útil para la toma de decisiones.

La implementación de *dashboards* requiere un proceso estructurado de gestión del cambio organizacional. Factores como la capacitación, la documentación de procesos y la

definición clara de roles inciden directamente en la adopción efectiva de la herramienta (Bokrantz et al., 2020).

La socialización mediante talleres y entrenamientos facilita que gestores e ingenieros integren el *dashboard* en su práctica diaria. La experiencia adquirida permite escalar la solución a otros negocios de EPM y replicarla en empresas de servicios públicos de la región (Moens et al., 2021).

Fundamentos desde la formación académica

Además del marco normativo, el proyecto se fundamenta en las competencias desarrolladas en la maestría, que aportan metodologías, criterios técnicos y herramientas de análisis aplicables al diseño del *dashboard*.

La asignatura de Gestión de Activos alineada a ISO 55000 aporta el marco normativo y de gobernanza necesario para el diseño del *dashboard*. Este marco asegura que las métricas y procesos se ajusten a los requisitos de la NTC ISO 55001 y a la guía de datos de la ISO 55013.

Esta base normativa orienta la definición de políticas, la asignación de roles y la trazabilidad de la información en Maximo. Además, convierte los registros transaccionales en indicadores estandarizados y confiables que apoyan la toma de decisiones estratégicas en el sistema matriz de acueducto de EPM (Cifuentes Luz, 2017).

La materia de Análisis del ciclo de vida del activo incorpora criterios técnicos y económicos para evaluar el desempeño de los activos a lo largo de su vida útil. Con esta perspectiva, el *dashboard* integra variables de CAPEX, OPEX, criticidad y condición.

Este enfoque facilita la priorización de inversiones, la coordinación entre operación y mantenimiento y el cálculo del costo total de propiedad. Dichos elementos constituyen un insumo clave para decisiones de reposición en redes y tanques (Cifuentes Luz, 2017).

La asignatura de Análisis de Causa Raíz provee la metodología para identificar patrones de fallas y los llamados malos actores en los activos, apoyándose en la consolidación de órdenes de trabajo y en los indicadores clave de desempeño que incorpora el *dashboard*.

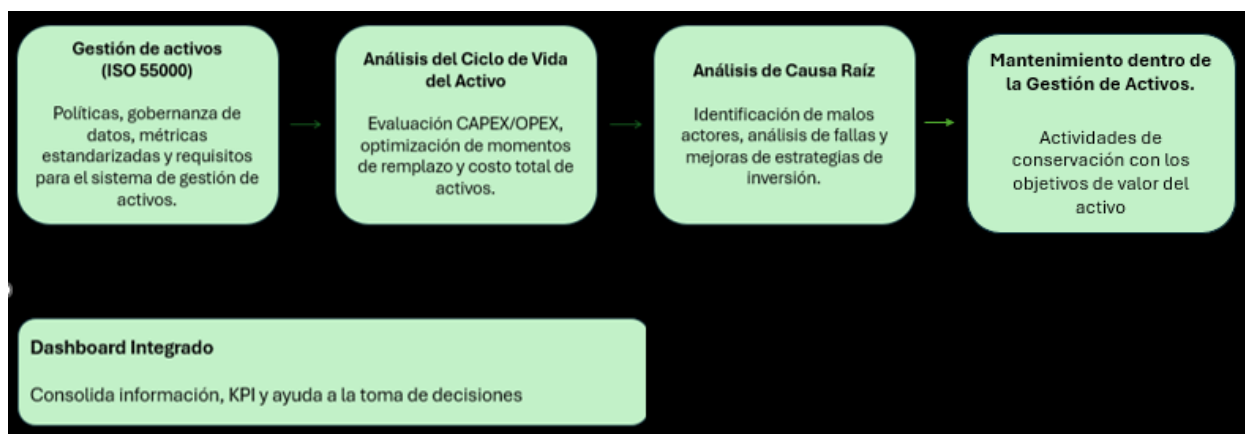
La integración de indicadores consolidados con tiempos reales de reparación facilita las investigaciones de causa raíz, orienta la definición de acciones correctivas y preventivas y permite medir la efectividad de las intervenciones. Con ello se busca reducir la recurrencia de fallas y mejorar la disponibilidad del servicio (Oliveira et al., 2016)

Estos aportes académicos complementan los referentes normativos y fortalecen el marco teórico del proyecto, lo que asegura que la solución combine estándares internacionales con herramientas prácticas derivadas de la formación en la maestría. La figura 1 sintetiza la relación entre las asignaturas y los ejes del proyecto.

La asignatura de Mantenimiento dentro de la Gestión de Activos establece lineamientos estratégicos y metodológicos que articulan las actividades de conservación con los objetivos de valor del activo. Este marco se fundamenta en la norma UNE-EN 16646 y en la ISO 55000, que orientan la planificación, ejecución y evaluación de las intervenciones de mantenimiento a lo largo del ciclo de vida (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2015)

Figura 1

Relación entre las asignaturas y el proyecto



Nota: La figura describe la relación entre las asignaturas de la maestría y el proyecto de profundización. Fuente: elaboración propia a partir de información de la intranet corporativa de EPM.

Antecedentes del proyecto

Estado del arte

El estado del arte aborda investigaciones, marcos normativos y desarrollos tecnológicos organizados en tres ejes: gestión de activos y normativa, sistemas EAM con procesos ETL, y *dashboards* aplicados a la analítica de mantenimiento. Esta revisión sustenta la pertinencia de intervenir en el sistema matriz de acueducto de EPM al evidenciar avances, limitaciones y vacíos en estos campos.

Gestión de activos y marco normativo

La literatura especializada y la normativa internacional consolidan la gestión de activos como una disciplina que integra dimensiones técnicas, financieras y de gobernanza. La norma ISO 55001 establece requisitos de evaluación documentada, la ISO 55013 orienta la gestión de la información y la UNE-EN 16646 resalta la incorporación del mantenimiento en el ciclo de vida de los activos (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2015)

Sistemas EAM: capacidades y limitaciones (IBM Maximo)

Los sistemas de Enterprise Asset Management centralizan órdenes de trabajo, inventarios y activos, pero se limitan a la operación transaccional. Investigaciones señalan que, sin arquitecturas de integración, los EAM no generan KPIs analíticos de forma automática, lo que obliga a exportar la información manualmente a Excel (Troyansky et al., 2015)

ETL y arquitecturas de datos para mantenimiento

Las buenas prácticas en ingeniería de datos proponen procesos ETL robustos y arquitecturas por capas que aseguran la calidad y trazabilidad de los registros. En el ámbito del mantenimiento, estas arquitecturas integran reglas como la normalización de códigos, la imputación de costos y la clasificación de intervenciones. Sin embargo, la falta de estandarización representa una barrera crítica (Souibgui et al., 2019)

Analítica de datos aplicada al mantenimiento: niveles y métricas

La analítica en mantenimiento se clasifica en descriptiva, diagnóstica, predictiva y prescriptiva. En utilities, la madurez inicia en lo descriptivo y progresa hacia niveles predictivos cuando dispone de datos de calidad. Los indicadores clave incluyen MTBF, MTTR, disponibilidad, backlog y costos. Los estudios en smart maintenance recomiendan comenzar con *dashboards* descriptivos (Moens et al., 2021)

Diseño y usabilidad de dashboards en mantenimiento

La investigación en visualización enfatiza la jerarquía informativa, la claridad y el filtrado contextual. Herramientas como Qlik Sense, Power BI y Tableau facilitan la comunicación mediante narrativas visuales, pero el éxito depende del diseño centrado en usuarios y de la capacitación. Casos aplicados reportan mejoras en los tiempos de respuesta y en la detección de desviaciones cuando el diseño es colaborativo (Yigitbasioglu & Velcu, 2012)

Validación, consistencia y métricas de confianza

La validación de indicadores requiere métodos estadísticos y pruebas de consistencia que contrastan procesos manuales y automatizados. El coeficiente Alfa de Cronbach, los análisis de discrepancia y la validación por juicio experto permiten ajustar reglas de imputación y garantizan coherencia en los resultados (Souibgui et al., 2019)

Estudios de caso y aplicaciones reales

La literatura reciente documenta implementaciones exitosas en industrias intensivas en activos, con mejoras en fiabilidad y reducción de tiempos de reporte. En el sector de agua y saneamiento latinoamericano, la evidencia en aplicaciones es limitada, lo que hace del caso de EPM una contribución relevante y replicable (Bokrantz et al., 2020)

Brechas y oportunidades de investigación

El estado del arte identifica cuatro brechas principales: la calidad de los registros en EAM, la falta de integración en tiempo real, la limitada medición del impacto organizacional y la baja adopción normativa. Estas carencias justifican una investigación aplicada en el sistema

matriz de acueducto de EPM, la cual combina enfoques de ingeniería de datos, validación estadística y estudios de adopción (Souibgui et al., 2019)

El consenso académico establece que la efectividad de los *dashboards* depende tanto de la solidez técnica como de la gobernanza de datos y la gestión del cambio. El caso de EPM constituye una oportunidad estratégica para estandarizar registros, implementar procesos ETL reproducibles, validar métricas y medir impacto en un contexto latinoamericano (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2015)

Marco Metodológico

La investigación es de tipo aplicada, con un enfoque exploratorio y descriptivo. El estudio utiliza métodos teóricos y empíricos para abordar la gestión de información en el área de mantenimiento del sistema matriz de acueducto de EPM. Este marco metodológico integra fundamentos conceptuales, normativos y técnicos con la validación práctica de la propuesta en un entorno organizacional real.

Métodos teóricos

El método analítico-sintético descompone la información proveniente de la literatura científica y de referentes académicos en gestión de activos. Los hallazgos se integran en un modelo metodológico que considera la ISO 55001:2024 como marco de gestión, la ISO 55013:2024 como guía para la gestión de datos y la UNE-EN 16646:2015 como referente para integrar el mantenimiento en el ciclo de vida de los activos. La definición de indicadores de desempeño se sustenta en la norma UNE-EN 15341:2020, que establece métricas estandarizadas para evaluar la eficacia del mantenimiento (UNE-EN 15341, 2020).

El método histórico-lógico analiza la evolución de la gestión de mantenimiento en EPM, desde prácticas manuales en hojas de cálculo hasta sistemas actuales de visualización interactiva. Este enfoque identifica las causas de las limitaciones vigentes y aporta bases para estructurar la propuesta metodológica (Yigitbasioglu & Velcu, 2012).

El enfoque inductivo permite generalizar patrones a partir del análisis de órdenes de trabajo, solicitudes y backlog en EAM-MAXIMO. El enfoque deductivo contrasta estas generalizaciones con los requisitos normativos de desempeño y gestión de datos definidos en la ISO 55001 y la ISO 55013.

La modelación teórica representa los procesos de mantenimiento a través de un *dashboard* en *Qlik Sense*. Esta herramienta simplifica la realidad organizacional y facilita la simulación de escenarios para apoyar decisiones basadas en datos (Navinchandran et al., 2022).

Métodos empíricos

La observación directa se emplea para caracterizar los procesos actuales de gestión de órdenes de trabajo y la generación de reportes en Excel. Este método permite identificar brechas en la consolidación y el análisis de la información (Moens et al., 2021).

El diagnóstico se centra en evaluar la calidad de los datos en EAM-MAXIMO y las limitaciones del sistema para generar KPIs confiables. Este análisis constituye la base para diseñar la propuesta de integración en *Qlik Sense* (Isabel Franco María, 2016).

El método de expertos se aplica mediante entrevistas y validaciones con gestores e ingenieros. Esta práctica permite identificar necesidades específicas de información y garantiza que el modelo responda a los requerimientos del área.

La recopilación documental complementa este proceso con la revisión de registros históricos de backlog, costos e intervenciones. Estos datos facilitan la evaluación del desempeño histórico y la definición de líneas base para la medición futura.

La metodología asegura rigor académico y aplicabilidad práctica. El carácter diferenciador radica en tres aspectos: la gestión del dato como activo (ISO 55013), la integración del mantenimiento en el ciclo de vida de los activos (UNE-EN 16646) y la aplicación de analítica de datos mediante *dashboards* como herramienta estratégica para apoyar decisiones.

Tipo de estudio y de análisis a desarrollar

El estudio es de carácter aplicado y se clasifica como exploratorio-descriptivo. Este enfoque busca aprovechar una oportunidad estratégica en la gestión de datos del área de mantenimiento del sistema matriz de acueducto de EPM. El proyecto se orienta a potenciar el uso de la información como activo mediante un *dashboard* interactivo que consolida indicadores clave de desempeño (KPIs).

El análisis es de enfoque mixto. La dimensión cuantitativa procesa registros de órdenes de trabajo en EAM-MAXIMO para calcular indicadores de mantenimiento como backlog, costos, solicitudes e intervenciones. La dimensión cualitativa incorpora entrevistas y validaciones de expertos para identificar las necesidades de los grupos de interés (IBM, 2021).

El análisis utiliza dos fases de la analítica de datos: diagnóstico, que revisa y valida la información disponible, y descriptiva, que visualiza tendencias y métricas de mantenimiento. Ambas fases se alinean con la ISO 55013:2024, que regula la gestión de datos e información, y con la UNE-EN 16646:2015, que orienta la construcción de indicadores clave de mantenimiento (ISO 55013,2024)

Fases del proyecto

El proyecto se organiza en fases secuenciales que estructuran la oportunidad de optimizar la gestión de información en el área de mantenimiento del sistema matriz de acueducto de EPM.

Fase 1. Diagnóstico y levantamiento de información

La etapa inicial revisa los procesos de gestión de órdenes de trabajo en EAM-MAXIMO y los reportes en Excel. El análisis identifica brechas asociadas a la falta de indicadores consolidados y a la dispersión de datos. También se aplican entrevistas a gestores e ingenieros para recoger necesidades de información. Este diagnóstico se alinea con la ISO 55001:2024, que resalta la evaluación del desempeño como base de la mejora continua (International Organization for Standardization, 2024)

Fase 2. Definición de requerimientos y KPIs

La fase selecciona las métricas críticas de mantenimiento: backlog, costos, solicitudes e intervenciones. La norma UNE-EN 16646:2015 define lineamientos para la construcción de indicadores de mantenimiento y orienta la priorización de aquellos que aportan mayor valor en la toma de decisiones. El resultado es un listado de KPIs estandarizados, trazables y enfocados en la confiabilidad operativa (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2015)

Fase 3. Integración y modelado de datos (ETL)

La fase desarrolla procesos de extracción, transformación y carga (ETL) que consolidan la información dispersa de EAM-MAXIMO en un modelo único. Incluye la validación de la calidad de los datos, en coherencia con la ISO 55013:2024, que resalta la importancia de la disponibilidad y confiabilidad de la información para la gestión de activos (Troyansky et al., 2015).

Fase 4. Desarrollo del dashboard

La fase implementa el *dashboard* en Qlik Sense con base en el modelo de datos consolidado. Se diseñan visualizaciones interactivas, filtros dinámicos y reportes descriptivos y

diagnósticos orientados a los indicadores definidos. Esta etapa se centra en garantizar usabilidad, jerarquía informativa y navegación intuitiva para gestores e ingenieros (Few, 2006a)

Fase 5. Validación y confiabilidad de resultados

Los indicadores generados en el *dashboard* se contrastan con los reportes actuales para verificar consistencia y precisión. Se aplica el coeficiente Alfa de Cronbach como prueba estadística de confiabilidad y se incorpora retroalimentación de expertos en mantenimiento, asegurando la utilidad y aplicabilidad de los resultados en el contexto operativo (Cronbach, 1951)

Fase 6. Capacitación y adopción por usuarios

La adopción de la herramienta se apoya en sesiones de capacitación dirigidas a gestores e ingenieros, donde se enfatiza su potencial para la toma de decisiones. La ISO 55001:2024 resalta la competencia y concienciación del personal como requisito clave en la gestión de activos, garantizando el uso efectivo del *dashboard*.

Fase 7. Conclusiones y recomendaciones

La fase presenta los resultados del proyecto, destacando mejoras en eficiencia y capacidad de análisis de la información. Además, formula recomendaciones para escalar la solución a otros procesos de EPM, fortaleciendo la madurez del sistema de gestión de activos e integrando la analítica de datos como práctica organizacional.

Desarrollo

Objetivo 1 – Necesidades

Identificar las necesidades de los grupos de interés para la toma de decisiones oportunas y confiables en la gestión de mantenimiento, conforme a la norma UNE-EN 16646, incluyendo solicitudes, backlog, costos e intervenciones, en el área de mantenimiento del sistema matriz acueducto de EPM.

La identificación de necesidades de los grupos de interés constituye el primer paso para asegurar que los indicadores de mantenimiento generen valor a la organización. En la gestión de activos, los datos adquieren relevancia al transformarse en información que respalda decisiones en los niveles estratégico, táctico y operativo (Au-Yong et al., 2017).

La norma UNE-EN 16646:2015 establece la necesidad de proveer información confiable y oportuna que permita controlar la ejecución, evaluar el desempeño y alinear los resultados con los objetivos organizacionales. Definir métricas como solicitudes, backlog, costos e intervenciones constituye un requisito esencial para convertir la gestión de mantenimiento en un soporte efectivo para la estrategia de gestión de activos (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2015).

Asimismo, la ISO 55001:2024 resalta la necesidad de contar con información documentada y trazable para evaluar el desempeño del sistema de gestión de activos. Este marco normativo refuerza el principio según el cual la calidad de los datos y su correcta interpretación constituyen elementos esenciales para atender las necesidades de los grupos de interés internos y externos (International Organization for Standardization, 2024).

Los grupos de interés en la gestión de activos comprenden los actores que impactan o experimentan los efectos de las decisiones sobre los activos físicos. Identificar a estos grupos

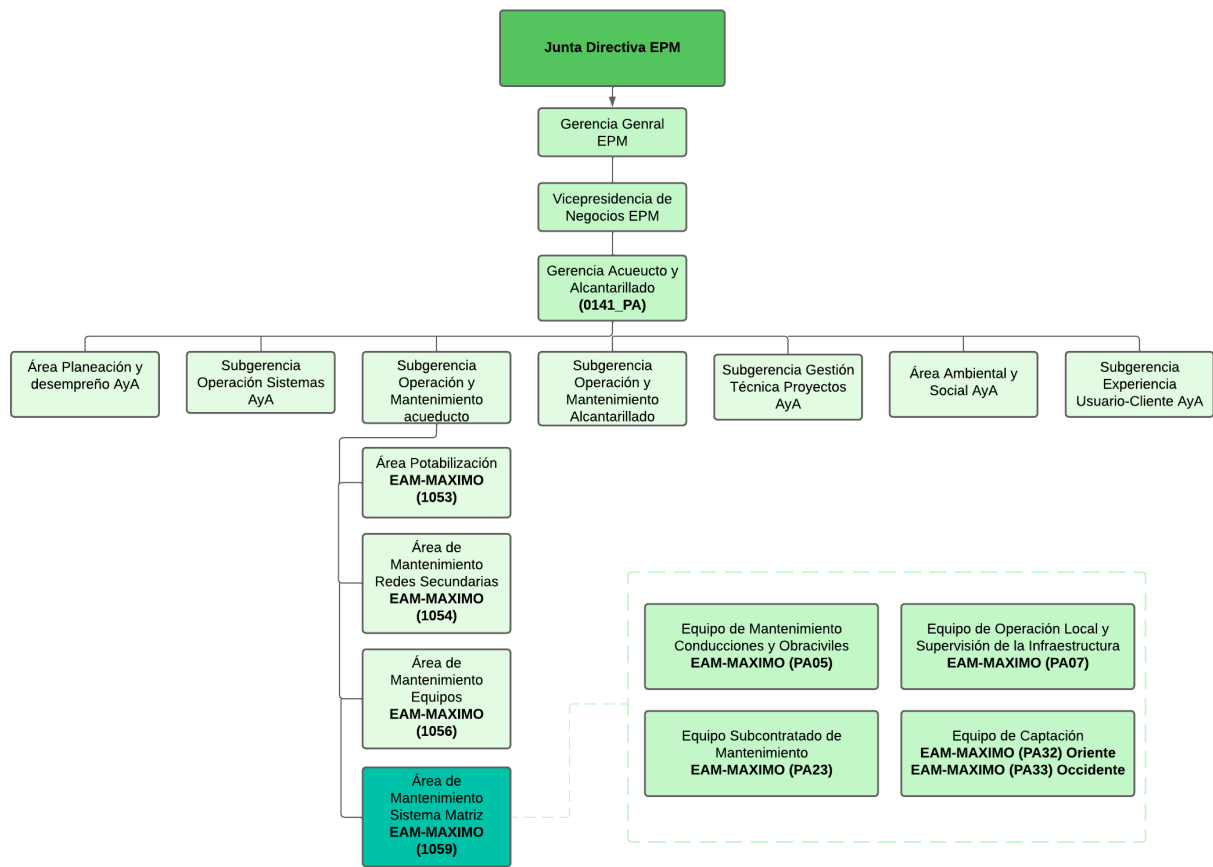
permite alinear los indicadores de mantenimiento con las necesidades reales de quienes utilizan la información (Crespo Márquez & Gupta, 2006)

En el área de mantenimiento del sistema matriz de acueducto de EPM, los grupos de interés comprenden personal interno y externo. Los internos abarcan al jefe de área, profesionales de mantenimiento, gestores, tecnólogos líderes, técnicos y auxiliares. La información que requieren cumple funciones específicas: los jefes de área y gestores demandan indicadores consolidados de backlog y costos, mientras que los tecnólogos y técnicos necesitan métricas operativas que faciliten la ejecución de órdenes preventivas, correctivas y de terceros (EPM, 2024).

Los grupos internos de EPM se identifican en el sistema EAM-MAXIMO mediante la codificación PA, que corresponde a Provisión de Aguas y se complementa con un número consecutivo asignado automáticamente. Esta estructura facilita la trazabilidad y clasificación de los equipos responsables de las actividades de mantenimiento y operación en el negocio de agua potable. La figura 2 describe estos grupos de interés interno.

Figura 2

Grupos de interés internos de EPM



Nota: La figura describe los grupos de interés internos en EPM y la codificación en EAM-MAXIMO para cada área. Fuente: elaboración propia, adaptada a partir de información de la intranet corporativa de EPM.

En el nivel superior, cada agrupador corresponde a un área de la Gerencia de Aguas. En el caso del área de mantenimiento del sistema matriz de acueducto, el código asignado es 1059, que integra varios grupos responsables. Estos se detallan en la siguiente tabla y conforman la base para garantizar la trazabilidad funcional y la asignación estructurada de tareas dentro de la organización.

Tabla 4*Grupos responsables Área Mantenimiento Sistema Matriz Acueducto*

Grupo responsable	Nombre del Equipo
PA05	Equipo de Mantenimiento conducciones y obras civiles
PA07	Equipo Operación local y Supervisión de la Infraestructura
PA23	Equipo subcontratado Mantenimiento
PA32	Equipo Captación Oriente
PA33	Equipo Captación Occidente

Nota: Esta tabla describe los grupos responsables asignados al área de mantenimiento sistema matriz acueducto de EPM. Fuente: Elaboración propia sacado EAM-MAXIMO.

El sistema incluye grupos de interés externos como entidades regulatorias, contratistas y usuarios que requieren un servicio confiable. La diversidad de estos actores demanda indicadores que integren distintas perspectivas y mantengan trazabilidad a lo largo del ciclo de vida de los activos, en coherencia con la norma UNE-EN 15341:2007, que define indicadores internacionales para medir desempeño y eficiencia en mantenimiento

En este contexto, la identificación de necesidades de información se enfoca en cuatro ejes: solicitudes, backlog, costos e intervenciones. Las solicitudes representan la demanda real de servicios y constituyen el punto de partida del proceso de mantenimiento. Su análisis permite reconocer patrones de solicitud y establecer prioridades de atención.

El backlog corresponde a la acumulación de órdenes de trabajo pendientes en estados como ESPPLAN⁵, ESPPROG⁶, PLAN⁷, PROG⁸ o ESPEVERFI⁹. Este indicador refleja el equilibrio entre la capacidad del mantenimiento y la carga operativa. Su identificación y

⁵ ESPPLAN: Espera de planificación

⁶ ESPPROG: Espera de programación

⁷ PLAN: Planeado

⁸ PROG: Programado

⁹ ESPEVERFI: Espera de verificación

seguimiento permiten evaluar riesgos por retrasos y asegurar la continuidad del servicio (Zohra Berrabah et al., 2022).

Los costos de mantenimiento ofrecen visibilidad sobre la distribución de los recursos financieros. La clasificación en mano de obra, materiales y servicios contratados permite detectar ineficiencias, comparar con los presupuestos establecidos y asegurar coherencia con los objetivos de sostenibilidad de la organización (Litardo-Velásquez & Gorozabel-Chata, 2025).

Las intervenciones ejecutadas representan la evidencia tangible de los planes de mantenimiento. Este registro permite evaluar la confiabilidad de los activos y fortalecer los procesos de mejora continua (Herrera Galán, 2019).

El *dashboard* propuesto busca equilibrar la información estratégica (planeación y costos), táctica (seguimiento del backlog) y operativa (estado de órdenes y disponibilidad de recursos). Esta integración asegura que cada grupo de interés disponga de datos pertinentes para la toma de decisiones, en coherencia con la UNE-EN 16646:2015, que orienta la integración del mantenimiento en la gestión de activos (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2015)

La revisión teórica y normativa demuestra que la identificación de necesidades de información, junto con el análisis de solicitudes, backlog, costos e intervenciones, conforma la base para construir indicadores de mantenimiento alineados con estándares internacionales. En este marco, el proyecto aplica estos fundamentos al área de mantenimiento del sistema matriz de acueducto de EPM, un entorno intensivo en activos donde la confiabilidad y la disponibilidad del servicio dependen de la calidad de los datos y de la capacidad analítica para transformarlos en decisiones oportunas

El sistema EAM-MAXIMO concentra los registros de órdenes de trabajo que respaldan el mantenimiento del sistema matriz de acueducto. La revisión de esta base de datos permite extraer solicitudes, calcular backlog, clasificar costos y organizar las intervenciones. Este levantamiento constituye la fuente primaria de información y garantiza la trazabilidad necesaria

durante los procesos de depuración y validación de datos, en concordancia con estudios sobre Maximo y enfoques data-driven en mantenimiento. (Aljumaili & Al-Chalabi, s. f.).

Las solicitudes de servicio constituyen la entrada principal del proceso de mantenimiento. Su análisis permite identificar las demandas operativas, priorizar intervenciones y asignar recursos de manera eficiente. En el sistema matriz de acueducto, estas solicitudes abarcan desde reparaciones menores en conducciones hasta la atención de contingencias en estaciones de bombeo. La gestión centralizada en EAM-MAXIMO permite construir indicadores de tiempos de respuesta, niveles de criticidad y carga de trabajo.

Los costos asociados a las órdenes de trabajo son un elemento clave para evaluar la eficiencia de la gestión. La clasificación en costos de mano de obra, materiales y servicios contratados permite a los responsables identificar oportunidades de mejora y sustentar decisiones presupuestales. A su vez, las intervenciones ejecutadas representan la evidencia tangible de los planes de mantenimiento, cuya sistematización fortalece la evaluación de la confiabilidad y la mejora continua (Ma et al., 2020).

Más allá de su función operativa, las solicitudes, el backlog, los costos y las intervenciones conforman el núcleo de la inteligencia de mantenimiento. Estos elementos reflejan la capacidad de respuesta, la asignación de recursos y la efectividad de los planes preventivos y correctivos. Su análisis integrado permite avanzar hacia una gestión basada en datos, en la que la información se convierte en un activo estratégico.

El desarrollo de métricas estandarizadas y automatizadas constituye el siguiente paso para fortalecer la toma de decisiones. Esta evolución consolida una cultura de gestión del conocimiento en EPM y alinea la función de mantenimiento con los principios de la gestión moderna de activos.

Objetivo 2 – Métricas

Reconocer los registros y reportes generados por EAM-MAXIMO, así como sus limitaciones para la construcción del *dashboard*, con el fin de determinar las métricas críticas no calculadas automáticamente e identificar la arquitectura de datos y la herramienta tecnológica a utilizar, en coherencia con la norma ISO 55013.

El análisis de métricas en la gestión de mantenimiento del sistema matriz de acueducto exige una definición clara y alineada con los estándares internacionales. Estas métricas guían las decisiones técnicas, operativas y económicas, y constituyen la base para evaluar la eficiencia de los procesos de mantenimiento. Su formulación considera tanto la disponibilidad de información en EAM-MAXIMO como la coherencia con las normas UNE-EN 15341:2020, UNE-EN 16646 e ISO 55013.

La norma UNE-EN 15341:2020 clasifica los indicadores en tres niveles: estratégico, táctico y operativo. Esta jerarquía vincula la gestión del mantenimiento con los objetivos de la organización y propone un conjunto de métricas comparables entre empresas y a lo largo del tiempo. En este marco, las métricas seleccionadas deben reflejar la eficiencia, la efectividad y la sostenibilidad del mantenimiento (Murad et al., 2022)

En EPM, el diagnóstico de las métricas actuales evidencia limitaciones en la automatización de los cálculos. Los indicadores se generan a partir de tablas planas en Excel y se procesan manualmente, lo que incrementa el riesgo de error, retrasa la disponibilidad de la información y reduce la trazabilidad de los resultados. La implementación del *dashboard* busca superar estas limitaciones y asegurar coherencia entre la información técnica y los lineamientos normativos.

El indicador backlog constituye una métrica crítica del nivel operativo, pues mide la capacidad del mantenimiento para responder a la carga de trabajo pendiente (UNE-EN

15341:2020). En EPM, este indicador actualmente incluye órdenes en estado ejecutado y completo, lo que no se ajusta a la guía interna de monitoreo de desempeño. Su corrección permitirá reflejar con precisión el trabajo acumulado y optimizar la planificación de recursos (Zohra Berrabah et al., 2022).

Los indicadores MTBF (Mean Time Between Failures) y MTTR (Mean Time To Repair) se ubican en el nivel operativo y fortalecen el análisis de confiabilidad y mantenibilidad de los activos. El primero evalúa el tiempo promedio de funcionamiento sin fallas, mientras que el segundo mide la rapidez con que se restablece la operación. Ambos proporcionan información esencial para definir estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo.

A partir de los indicadores de confiabilidad (MTBF) y mantenibilidad (MTTR), Mora (2009) propone una metodología integral para la medición de la disponibilidad alcanzada (A_a), que supera las formulaciones tradicionales al incorporar los mantenimientos preventivos y correctivos dentro del marco de la síntesis universal de medición CMD (Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad) (Mora Gutiérrez, 2009)

En este modelo, el tiempo medio entre mantenimientos (MTBM) se determina como la relación armónica entre el tiempo medio entre mantenimientos correctivos (MTBM_c) y el tiempo medio entre mantenimientos planeados (MTBM_p):

Ecuación 1 - Tiempo medio entre mantenimientos

$$MTBM = \frac{1}{\frac{1}{MTBM_c} + \frac{1}{MTBM_p}}$$

Fuente: (Mora Gutiérrez, 2009)

El tiempo medio total de mantenimiento (M) integra los tiempos promedios de reparación (MTTR) y de mantenimiento planeado (M_p), ponderados según la frecuencia de ocurrencia de cada tipo de intervención:

Ecuación 2 - Tiempo medio de mantenimiento

$$\bar{M} = \frac{\frac{MTTR}{MTBM_C} + \frac{M_P}{MTBM_P}}{\frac{1}{MTBM_C} + \frac{1}{MTBM_P}}$$

Fuente: (Mora Gutiérrez, 2009)

Finalmente, la disponibilidad alcanzada (A_a) se expresa como:

Ecuación 3 - Disponibilidad alcanzada

$$A_A = \frac{MTBM}{MTBM + \bar{M}}$$

Fuente: (Mora Gutiérrez, 2009)

Esta formulación permite representar con mayor realismo el desempeño operativo de los activos, al considerar la incidencia conjunta de los mantenimientos correctivos y preventivos sobre la continuidad del servicio. Su aplicación resulta coherente con los lineamientos de las normas UNE-EN 15341:2020 e ISO 55013:2024, que recomiendan evaluar la disponibilidad en función del equilibrio entre confiabilidad, mantenibilidad y estrategias proactivas de mantenimiento.

El porcentaje de cumplimiento del plan de mantenimiento y la disponibilidad técnica de los activos se ubican en el nivel táctico. El primero mide la ejecución de las tareas planificadas frente a las programadas, mientras que el segundo refleja la proporción de tiempo en que los activos permanecen operativos. En conjunto, estas métricas evidencian la efectividad del mantenimiento y permiten relacionar su desempeño con los objetivos de continuidad del servicio (Au-Yong et al., 2017)

En el nivel estratégico, se proponen los indicadores de costo total de mantenimiento y costo de mantenimiento por activo. Estas métricas permiten analizar la eficiencia económica y establecer relaciones entre la inversión en mantenimiento y la confiabilidad de los activos. Asimismo, la norma UNE-EN 16646 refuerza esta visión al vincular las actividades de

mantenimiento con la generación de valor a lo largo del ciclo de vida de los activos (Roda et al., 2020)

La clasificación presentada en la tabla 1 resume la relación entre los indicadores de mantenimiento seleccionados y los niveles jerárquicos establecidos por la norma UNE-EN 15341:2020.

Tabla 5

Clasificación de indicadores de mantenimiento según niveles jerárquicos definidos por la UNE-EN 15341:2020

Nivel jerárquico	Indicadores propuestos	Enfoque normativo
Estratégico	Costo total de mantenimiento, Costo de mantenimiento por activo	Medición del desempeño económico y contribución al valor organizacional
Táctico	Cumplimiento del plan de mantenimiento, Disponibilidad técnica	Evaluación del logro de objetivos operativos y continuidad del servicio
Operativo	Backlog, MTBF, MTTR	Análisis de eficiencia técnica, confiabilidad y capacidad de respuesta

Nota: La tabla sintetiza la relación entre los indicadores del proyecto y los niveles jerárquicos de análisis definidos en la norma UNE-EN 15341:2020. Fuente: elaboración propia, adaptada de (UNE-EN 15341, 2020)

Alineación con la guía corporativa de monitoreo de desempeño de EPM

La guía corporativa para el monitoreo de indicadores de gestión de activos en EPM establece lineamientos para medir el desempeño técnico y operativo de los activos. El documento asegura la alineación de los indicadores con el direccionamiento estratégico de la organización, con el sistema de gestión de activos y con los portafolios operativos. Su enfoque se fundamenta en los principios de la ISO 55000 y enfatiza la trazabilidad entre los resultados

operativos y los objetivos estratégicos (EPM & Alberto Edwin, 2021; International Organization for Standardization, 2024).

La Figura 3 representa la jerarquía de los indicadores definidos en la guía corporativa. En la parte superior se ubican los objetivos estratégicos, que orientan la sostenibilidad, la confiabilidad y la eficiencia. En el nivel intermedio se agrupan los indicadores del sistema de gestión de activos, los cuales valoran la madurez, la disponibilidad y los costos de mantenimiento. En la base se encuentran los indicadores operativos, que miden el desempeño técnico mediante métricas como backlog, MTBF, MTTR, cumplimiento del plan de mantenimiento y desviación de costos.

Figura 3

Indicadores de gestión de activos y su alineación con el direccionamiento estratégico



Nota: Alineación de los indicadores clave de desempeño (KPI) del mantenimiento con los niveles de gestión definidos por la ISO 55001:2024. Fuente: elaboración propia, adaptada de (EPM & Alberto Edwin, 2021).

Las métricas seleccionadas en este trabajo corresponden principalmente a los niveles operativo y táctico. Estas métricas alimentan el sistema de gestión de activos al proporcionar información validada sobre la ejecución, la disponibilidad y los costos de mantenimiento. La consolidación de estos datos en el *dashboard* propuesto permitirá alinear la información técnica con los indicadores estratégicos definidos por la organización y fortalecer la toma de decisiones con base en datos, en coherencia con el modelo corporativo de EPM.

Definición y cálculo de las métricas seleccionadas

La definición de cada métrica sigue los criterios establecidos en la guía corporativa de monitoreo de desempeño y en la norma UNE-EN 15341:2020. Cada indicador cuenta con una fórmula de cálculo, una fuente de información y un nivel jerárquico que determina su alcance dentro del sistema de gestión de activos. La formulación y automatización de estas métricas aseguran la trazabilidad de los resultados y una interpretación uniforme en todas las áreas de mantenimiento.

El indicador backlog mide la carga de trabajo pendiente en el área de mantenimiento. Su cálculo se basa en la relación entre el total de horas programadas pendientes y el promedio de horas disponibles por semana. La guía institucional precisa que deben excluirse las órdenes en estado ejecutada, completada, cerrada o cancelada. Este indicador pertenece al nivel operativo y refleja la capacidad de respuesta del mantenimiento.

El indicador MTBF (Mean Time Between Failures) expresa el tiempo medio que transcurre entre dos fallas consecutivas de un activo y representa la confiabilidad del sistema. El MTBF según el modelo matemático de distribución Weibull está dado por:

Ecuación 4 - Métrica tiempo promedio entre fallas

$$MTBF = \eta * \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \text{ donde,}$$

η = Es el parámetro de escala, el cual representa la vida característica del equipo

β = Es el parametro de forma; este representa el comportamiento de la tasa de fallas respecto al tiempo

Fuente: (Mora Alberto, 2018)

El tiempo de inactividad se compone del tiempo perdido por espera (LDT) y del tiempo medio para reparar (MTTR). Cuando el tiempo de espera es despreciable frente al de reparación, se cumple que $DT \cong MTTR$, por lo cual el MTBF se aproxima al tiempo útil de operación ($MTBF \cong UT$). Esta formulación permite interpretar la confiabilidad como una función dependiente tanto del desempeño operativo como de la mantenibilidad del sistema (Mora Gutiérrez, 2009)

El modelo de confiabilidad se expresa mediante la función $R(t) = e^{-\lambda t}$, donde $\lambda = \frac{1}{MTBF}$ corresponde a la tasa de falla. El uso de un promedio simple puede ocultar la variabilidad real de los tiempos entre fallas; por ello, Mora plantea que el MTBF actúa como parámetro característico de una distribución estadística que describe el comportamiento de la confiabilidad a lo largo del tiempo.

El indicador MTTR (Mean Time To Repair) representa el tiempo medio que requiere un activo para recuperar su estado operativo después de una falla. Este valor mide la mantenibilidad del sistema y refleja la eficacia técnica del mantenimiento.

El doctor Mora (2009) define el MTTR como el tiempo efectivo de reparación, calculado desde el inicio de la intervención hasta la restitución completa del servicio. La mantenibilidad se expresa mediante la siguiente ecuación.

Ecuación 5 - Métrica tiempo promedio para reparar

$$MTTR = \beta * \Gamma(1 + \frac{1}{\alpha}) \text{ donde,}$$

β = Es el parametro de escala, la cual determina la dispersión de los datos

α = Determina la forma de la distribución

Fuente: (Mora Alberto, 2018)

El tiempo de inactividad se registra en las órdenes de trabajo al documentar la duración real de cada intervención. El responsable del grupo de mantenimiento verifica la consistencia

de los registros para garantizar la calidad de la información utilizada en el cálculo del indicador. El análisis de los resultados identifica los cinco activos con mayores tiempos de reparación, con el propósito de orientar las acciones correctivas y preventivas hacia los equipos de mayor impacto operativo (EPM & Alberto Edwin, 2021)

El cumplimiento del plan de mantenimiento mide la proporción de órdenes cerradas en la fecha prevista frente al total de órdenes programadas. Este indicador pertenece al nivel táctico y refleja la efectividad de la planificación y ejecución de las tareas de mantenimiento.

Ecuación 6 - Métrica Cumplimiento del plan de mantenimiento

$$A = \sum_{OT=1}^n \left(OT \left(\begin{array}{c} \text{Finalización prevista mes } X, \\ \text{finalización real mes } X, \text{ completada, cerrada,} \\ \text{ejecutado} \end{array} \right) \right)$$

$$B = \sum_{OT=1}^n (OT \text{ (Finalización prevista mes } X))$$

$$\%Plan \text{ de Mantenimiento} = \frac{A}{B}$$

$$\%Cumplimiento \text{ del plan} = \frac{\text{Órdenes finalizadas en la fecha prevista}}{\text{Órdenes programadas en el mes}} * 100$$

Fuente: (EPM & Alberto Edwin, 2021)

El costo total de mantenimiento y el costo de mantenimiento por activo se calculan sumando los valores asociados a mano de obra, materiales, servicios y herramientas. Estos indicadores pertenecen al nivel estratégico y permiten analizar la eficiencia económica del mantenimiento. La integración de estas métricas en un entorno automatizado garantiza la coherencia con la guía institucional de monitoreo de desempeño y con las normas internacionales de gestión de activos (EPM & Alberto Edwin, 2021)

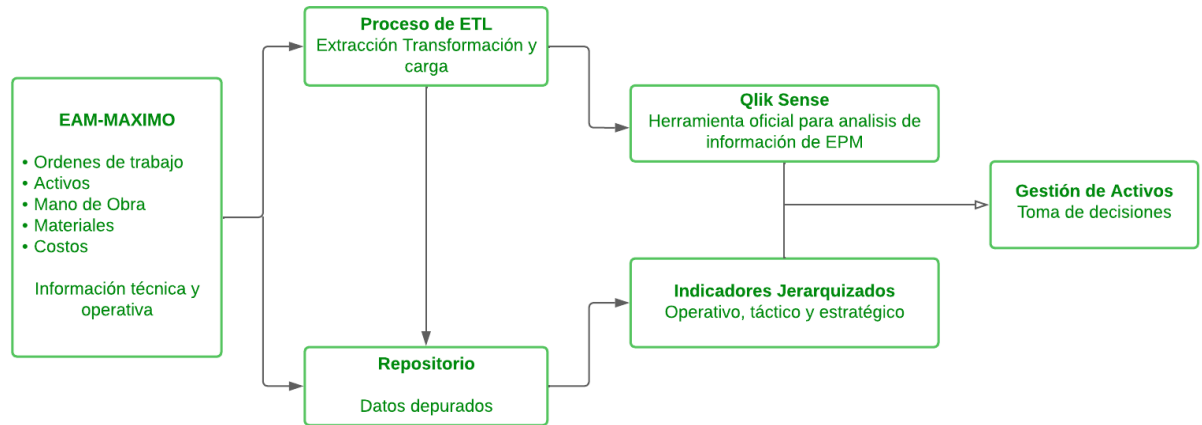
La norma ISO 55013:2024 resalta la importancia de garantizar la trazabilidad de los datos y su adecuada integración en los sistemas de gestión de activos. Considera la información como un activo que debe administrarse con la misma rigurosidad que los recursos

físicos. En este contexto, la arquitectura de datos adquiere un papel central como soporte de las métricas y del proceso de toma de decisiones (GTC-ISO 55013, 2024).

La arquitectura conceptual propuesta parte de la base de datos de EAM-MAXIMO, que concentra la información operativa del mantenimiento. En la situación actual, los análisis se realizan mediante exportaciones a hojas de cálculo, lo que fragmenta los datos y dificulta su validación. La propuesta plantea conectar EAM-MAXIMO con Qlik Sense mediante un proceso ETL que consolide la información en un repositorio intermedio. Este flujo garantiza indicadores actualizados, auditables y coherentes con los estándares internacionales (Campos et al., 2017)

Esta arquitectura garantiza que los indicadores técnicos, tácticos y estratégicos se calculen de forma automática, eliminando la dependencia de hojas planas y aumentando la confiabilidad de la información. De este modo, el mantenimiento se consolida como una función basada en datos, coherente con los principios de la ISO 55013 y orientada a la generación de valor organizacional (UNE-EN 15341, 2020)

La Figura 4 ilustra la arquitectura conceptual de datos propuesta para el sistema de análisis. El flujo inicia en la base de datos EAM-MAXIMO, que concentra la información técnica y operativa del mantenimiento. A través de un proceso ETL (extracción, transformación y carga), los datos se consolidan en un repositorio depurado que alimenta el entorno analítico en Qlik Sense. Esta herramienta procesa y visualiza los indicadores jerarquizados que apoyan la toma de decisiones en la gestión de activos, alineando la operación con los principios de la ISO 55013 sobre trazabilidad y confiabilidad de la información.

Figura 4*Arquitectura de datos para métricas de mantenimiento y gestión de activos*

Nota: Elaboración propia, adaptada de la Guía de usuarios para el monitoreo, medición, análisis y evaluación de indicadores clave de desempeño de la gestión de activos de EPM (EPM & Alberto Edwin, 2021; GTC-ISO 55013, 2024).

En síntesis, la definición y automatización de las métricas bajo la arquitectura propuesta fortalecen la confiabilidad del sistema de información y aseguran la trazabilidad requerida por las normas internacionales y la guía corporativa de EPM. Este modelo constituye la base para el desarrollo del *dashboard* analítico que se presenta en el siguiente objetivo.

Objetivo 3 – Dashboard

Desarrollar el *dashboard* en la herramienta definida, utilizando la arquitectura modelada que incorpora los roles de acceso y los mecanismos que garantizan la calidad y trazabilidad de la información, a través de procesos automáticos de extracción, transformación y carga (ETL), con el propósito de minimizar la intervención manual y reducir el tiempo de consolidación.

Arquitectura y entorno de desarrollo en Qlik Sense

Qlik Sense es la herramienta seleccionada para la implementación del *dashboard*. Se trata de una plataforma integral de análisis de datos que abarca todo el proceso, desde la extracción hasta la visualización. Esta solución permite consolidar la información en una sola aplicación, lo que asegura trazabilidad y consistencia entre los datos de mantenimiento (Ilacqua et al., 2015).

La arquitectura de desarrollo adoptada en EPM corresponde a un modelo de una sola capa, en el cual los procesos de extracción, transformación y presentación se ejecutan dentro del mismo entorno. Este diseño simplifica la administración de la aplicación y disminuye los tiempos de actualización. La Figura 5 presenta la arquitectura implementada en *Qlik Sense* para el análisis de las métricas de mantenimiento (Hegde & Solanki, 2017) .

Figura 5

Arquitectura ETL



Nota: Esta figura describe la arquitectura de extracción transformación y carga de los datos. Elaboración propia basado en el libro *QlikView your Business* (Troyansky et al., 2015).

La metodología de trabajo comprende tres etapas principales. En la primera, se extrae la información desde las fuentes de EAM-MAXIMO. En la segunda, se transforman los datos para asegurar su calidad y coherencia. En la tercera, la información se representa mediante visualizaciones dinámicas que facilitan la interpretación de las métricas. Este flujo mantiene coherencia con la arquitectura conceptual descrita en la Figura 4 del objetivo anterior (Khan et al., 2024).

Extracción de datos

La fase de extracción constituye el punto de partida del proceso ETL. Su objetivo es identificar y obtener la información relevante del sistema EAM-MAXIMO. De esta forma, se garantiza que los datos empleados en el análisis correspondan con los registros oficiales de mantenimiento. Además, esta etapa define la frecuencia de actualización y los controles de acceso necesarios para preservar la integridad de la información (Ilacqua et al., 2015).

El acceso a las bases de datos institucionales exige autorización del área de Tecnología de la Información (TI). El desarrollador presenta una solicitud en el catálogo de roles de EPM, donde define las autorizaciones requeridas. Estas se conceden solo al personal certificado y se clasifican según el rol asignado. El diseñador accede para ejecutar procesos ETL y modelar datos, mientras que el visualizador solo consulta los resultados consolidados. Este control de acceso garantiza la seguridad y trazabilidad de la información en EAM-MAXIMO (Ferraiolo et al., 2007)

La Figura 6 muestra la solicitud enviada al área de TI y la aprobación correspondiente, lo que evidencia el control institucional sobre los permisos necesarios para acceder a las bases de datos antes de iniciar la extracción de información.

Figura 6*Solicitud y aprobación de acceso a bases de datos institucionales en EPM*

Servicios bases de datos: Seguridad
Cerrada

¿Cómo calificas el servicio recibido?
Haga clic en una cara sonriente para comenzar.

Estado: Cerrada ID de petición: REQ000002672887 Petición para: DEINER ALBERTO ROJAS PE...
DEINER.ROJAS@epm.com.co

Aprobación
Aprobado
Detalles

Detalles

Enviado *****	Última actualización *****	Pedido para correo electrónico DEINER.ROJAS@epm.com.co
Pedido para teléfono 5743806988	Pedido para empresa EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLIN E.S.P	Tipo de solicitud Seguridad
Servidor (seguridad) *****	Base de datos: Oracle Database *****	Aplicación MAXIMO

Nota: La figura presenta el registro formal del proceso de solicitud y aprobación de acceso a las bases de datos institucionales. Fuente: elaboración propia, basada en el procedimiento de autorización del área de TI de EPM.

Las fuentes principales corresponden a las tablas WORKORDER¹⁰, ASSET¹¹, LABTRANS¹² y COST¹³, que concentran la información sobre órdenes de trabajo, activos, tiempos de mano de obra y costos asociados. La extracción se realiza mediante consultas SQL diseñadas para seleccionar únicamente los campos requeridos para el cálculo de indicadores, como fechas, tiempos de ejecución, planes de trabajo y grupos responsables (Sajida et al., 2018)

Los campos seleccionados incluyen fechas y horas de inicio y fin, planes de trabajo, tiempos de ejecución y grupos responsables, entre otros datos relevantes. Esta selección

¹⁰ WORKORDER: Tabla ordenes de trabajo

¹¹ ASSET: Tabla de activos

¹² LABTRANS: Transacciones

¹³ COST: Tabla de costos

garantiza la disponibilidad de la información necesaria para calcular los indicadores definidos en el objetivo anterior. La Figura 7 muestra una muestra de los campos extraídos desde EAM-MAXIMO (Sajida et al., 2018).

Figura 7

Campos útiles para la construcción del Dashboard en Qlik Sense

```

1  ORDENES_TRABAJO_SQL:
2  SQL
3  SELECT
4      W.WONUM AS NUMERO_OT,
5      W.SLXGRES AS GRUPO_RESPONSABLE,
6      W.WORKTYPE AS TIPO_TRABAJO,
7      W.REPORTEDBY AS NOTIFICA_POR,
8      W.DESCRPTION AS DESCRIPCION_OT,
9      W.STATUS AS ESTADO_OT,
10     W.SLXFSMSTATUS AS ESTADO_MOVILIDAD,
11     W.SLXMOTIVORECH AS MOTIVO_RECHAZO,
12     W.REPORTDATE AS FECHA_NOTIFICACION,
13     W.SCHEDSTART AS INICIO_PROGRAMADO,
14     W.ACTSTART AS FECHA_INI_REAL,
15     W.TARGCOMPDATE AS FECHA_FIN_PREVISTA,
16     W.ACTFINISH AS FECHA_FIN_REAL,
17     W.STATUSDATE AS FECHA_COSTO_CON,
18     W.ASSETNUM AS NUMERO_ACTIVOS,
19     W.LOCATION AS UBICACION_OT,
20     W.ESTLABCOST AS COSTO_ESTI_MO,
21     W.ACTLABCOST AS COSTO_REAL_MO,
22     W.ACTLABHRS AS HORAS_REALES_OT,
23     W.ESTLABHRS AS HORAS_ESTIMADAS_OT,
24     W.ESTTOOLCOST AS COSTO_EST_HERRAM,
25     W.ACTTOOLCOST AS COSTO_REAL_HERRAM,
26     W.SLXCONTRACTNUM AS NUMERO_CONTRATO,
27     W.ACTSERVCOST AS COSTO_CONTRATO,
28     W.ESTSERVCOST AS COSTO_EST_CONTRATO,
29     W.ESTMATCOST AS COSTO_EST_MATER,
30     W.ACTMATCOST AS COSTO_MATERIALES,
31     W.ESTDUR AS DURACION_OT,
32     W.SLXTIPOACCION AS TIPO_ACCION,
33     W.FNLCONSTRAINT AS FECHA_FINALIZA_OT,
34     W.PROBLEMCODE AS CODIGO_PROBLEMA,

```

Nota: La figura presenta los campos extraídos del sistema EAM-MAXIMO que sirven de base para la construcción del modelo de datos del dashboard. Fuente: elaboración propia, con datos extraídos mediante SQL Developer.

La planificación de la extracción se ajusta al contexto operativo del mantenimiento y no depende de los procesos contables gestionados en el ERP JDE Edwards Enterprise¹⁴. El *dashboard* propuesto automatiza la lectura de datos desde EAM-MAXIMO, lo que reduce la necesidad de exportaciones manuales y garantiza que la información permanezca actualizada de forma continua o según la periodicidad definida por el área de mantenimiento (Khan et al., 2024).

¹⁴ JDE Edwards Enterprise: Modulo contable de EPM

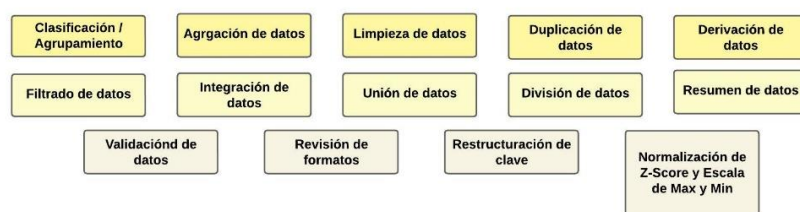
Transformación de los datos

En esta etapa se estructuran y depuran los datos extraídos de EAM-MAXIMO para garantizar su coherencia y calidad. El proceso aplica reglas de validación que corrigen formatos, eliminan duplicados y unifican unidades de medida. Asimismo, se renombran campos y se ajustan los tipos de datos para asegurar la compatibilidad con el modelo analítico de *Qlik Sense* (Chu et al., 2016).

La transformación busca mantener la trazabilidad de los valores originales y preservar la integridad de las métricas. Cada modificación se documenta en una bitácora técnica que permite verificar la procedencia de la información. Este procedimiento asegura que las métricas calculadas en el *dashboard* reflejen con precisión el desempeño real del mantenimiento (Chu et al., 2016; Khan et al., 2024).

Figura 8

Métodos más comunes en la transformación de datos



Nota: La figura presenta los principales métodos de transformación de datos aplicados en los procesos ETL. Fuente: elaboración propia, con base en (Troyansky et al., 2015).

Normalización y depuración de datos

La información extraída de EAM-MAXIMO presenta variaciones en los nombres de campos, tipos de datos y formatos de fecha. Para garantizar la consistencia, se normalizan las estructuras y se eliminan los registros incompletos o duplicados. Este proceso unifica los datos y asegura su compatibilidad con los modelos analíticos de *Qlik Sense* (Rahm & Do, 2000).

Los campos de fecha, hora y duración de las órdenes de trabajo se ajustan para obtener valores uniformes durante el proceso de transformación. Asimismo, el campo WONUM, identificado en EAM-MAXIMO, se vincula directamente con el número de la orden de trabajo, lo que asegura la trazabilidad de cada registro dentro del modelo analítico (Rahm & Do, 2000; Sajida et al., 2018).

Figura 9 -

Transformaciones aplicadas a campos de fecha, hora y duración de las órdenes de trabajo

```

6 TRUNC((W.ACTFINISH - W.ACTSTART) * 24) || '.' ||
7 LPAD(ROUND(MOD((W.ACTFINISH - W.ACTSTART) * 1440, 60)), 2, '0') AS DURACION_HH_MM,
8
9 -- Duración real en decimal (para cálculo)
10 ROUND((W.ACTFINISH - W.ACTSTART) * 24, 2) AS DURACION_DECIMAL,
11
12
13 -- Nuevo campo que indica si la OT está vencida
14 CASE
15     WHEN W.TARGCOMPDATE < W.ACTFINISH THEN 'Vencida'
16     ELSE 'No vencida'
17 END AS ESTADO_VENCIMIENTO,
18
19 -- Uso de EXTRACT para obtener año, mes y día
20 EXTRACT(YEAR FROM W.REPORTDATE) AS AÑO_NOTIFICACION,
21 EXTRACT(MONTH FROM W.REPORTDATE) AS MES_NOTIFICACION,
22 EXTRACT(DAY FROM W.REPORTDATE) AS DIA_NOTIFICACION,
23
24 -- Fecha inicio Real
25 EXTRACT(YEAR FROM W.ACTSTART) AS AÑO_INI_REAL,
26 EXTRACT(MONTH FROM W.ACTSTART) AS MES_INI_REAL,
27 EXTRACT(DAY FROM W.ACTSTART) AS DIA_INI_REAL,
28
29 -- Fecha FIN Real
30 EXTRACT(YEAR FROM W.ACTFINISH) AS AÑO_FIN_REAL,
31 EXTRACT(MONTH FROM W.ACTFINISH) AS MES_FIN_REAL,
32 EXTRACT(DAY FROM W.ACTFINISH) AS DIA_FIN_REAL,
33
34 -- Fecha FIN NO MAS TARDE DE
35 EXTRACT(YEAR FROM W.FNLCONSTRAINT) AS AÑO_NOMASTARDE,
36 EXTRACT(MONTH FROM W.FNLCONSTRAINT) AS MES_NOMASTARDE,
37 EXTRACT(DAY FROM W.FNLCONSTRAINT) AS DIA_NOMASTARDE,
38
39 -- Uso de EXTRACT para obtener año, mes y día
40 EXTRACT(YEAR FROM W.STATUSDATE) AS AÑO_COSTOC,
41 EXTRACT(MONTH FROM W.STATUSDATE) AS MES_COSTOC,
42 EXTRACT(DAY FROM W.STATUSDATE) AS DIA_COSTOC,
43
44 -- Concatenación de día, mes, año en formato día/mes/año INICIO REAL
45 TO_CHAR(EXTRACT(DAY FROM W.ACTSTART)) || '/' ||
46 TO_CHAR(EXTRACT(MONTH FROM W.ACTSTART)) || '/' ||
47 TO_CHAR(EXTRACT(YEAR FROM W.ACTSTART)) AS FECHA_INICIO_REAL,
48
49 -- Concatenación de día, mes, año en formato día/mes/año COSTO CONTRATO
50 TO_CHAR(EXTRACT(DAY FROM W.STATUSDATE)) || '/' ||

```

Nota La figura ilustra un ejemplo de las transformaciones aplicadas durante el proceso ETL. Fuente: elaboración propia a partir de información obtenida del sistema EAM-MAXIMO y Qlik Sense.

Para mitigar los efectos de la mala calidad de los datos en EAM-MAXIMO, se definieron reglas de negocio específicas aplicadas durante el proceso de transformación. En primer lugar, las órdenes de trabajo sin fecha de cierre o con duraciones negativas se clasificaron como registros incompletos y se excluyeron de los cálculos de MTBF, MTTR y disponibilidad, manteniéndolas únicamente para análisis de calidad del dato.

De manera complementaria, las órdenes con costos de mano de obra y materiales en cero fueron sometidas a una validación cruzada con las tablas LABTRANS y COST; cuando no se identificó respaldo en estas fuentes, dichos registros se marcaron como subregistros y se excluyeron de las métricas económicas, evitando subestimar los costos reales de mantenimiento.

Adicionalmente, se estandarizaron los estados y tipos de orden para asegurar su correcta clasificación entre mantenimiento preventivo, correctivo y operativo. Asimismo, se corrigieron inconsistencias en los campos de ubicación y grupo responsable mediante su homologación con los catálogos institucionales.

Estas reglas de negocio se implementaron directamente en el script de carga de Qlik Sense, garantizando que únicamente se utilicen registros trazables y consistentes en la construcción de los indicadores del dashboard.

Validación cruzada y trazabilidad

La validación cruzada compara la información contenida en las tablas WORKORDER, ASSET, LABTRANS y COST para verificar la coherencia entre tiempos, activos y costos. Este

control se ejecuta mediante consultas SQL en *SQL Developer*¹⁵, que contrastan los registros almacenados en EAM-MAXIMO con los resultados obtenidos durante la extracción. La Figura 10 presenta la correspondencia entre los campos revisados, garantizando consistencia y trazabilidad antes de la carga en el modelo analítico (Esteban et al., 2022).

Figura 10

Datos originales de órdenes de trabajo en EAM-MAXIMO

Seguimiento de órdenes de trabajo (Redes) DEINER ALBERT

Consulta Buscar Orden de trabajo Seleccionar acción

Vista de lista Orden de trabajo Planes Asignaciones Consumos reales Registros relacionados Plan de seguridad Registro Informes de anomalías

Orden de trabajo: 14540896 OPERACION DE VALVULAS PARA LAVADO DEL TANQUE EL DORA

Ubicación: DORADO_TQ_OC OBRA CIVIL TANQUE DORADO

Alias:

Activo: 4240954 TANQUE, ALMACENAMIENTO

Estado del Activo: OPERACION

Número Operativo:

OT de nivel superior:

Clasificación (Motivo / Trabajo / Actividad): RED_OT \ PA_654 \ PA_654_OPE-VLD \ PA_654_OPE

Descripción de Clasificación: OPERAR VALVULA SIN REMOTO

Clase de función:

Planta: 0141_PA

Clase: WORKORDER

Tipo de trabajo: OPERA

Cuenta del LM: 0141.165520.0

Clase de anomalía:

Estado del material del almacén:

Estado del material de despacho:

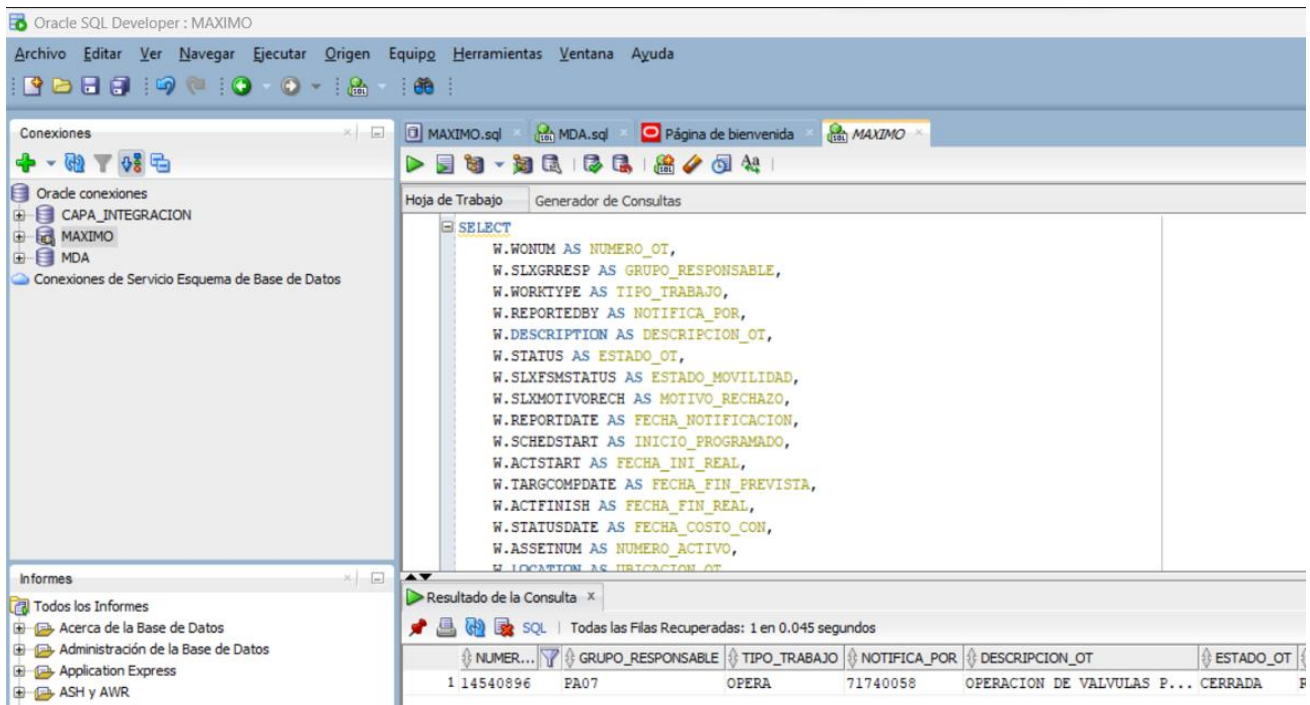
Estado del material del paquete:

Estado de material actualizado:

Despachar a:

Nota: La figura presenta la estructura y los campos de las órdenes de trabajo que sirven como fuente primaria para la validación cruzada. Fuente: elaboración propia a partir de registros del sistema EAM-MAXIMO.

¹⁵ SQL Developer: Herramienta de desarrollo integrada que permite crear, ejecutar y depurar consultas SQL, así como administrar bases de datos relacionales y realizar tareas de extracción y análisis de datos

Figura 11*Resultados de validación cruzada en SQL Developer*

Nota: La figura presenta los resultados de la validación cruzada entre los datos del sistema EAM-MAXIMO y las consultas ejecutadas en SQL Developer. Fuente: elaboración propia.

Estandarización de unidades y nomenclaturas

Los valores de tiempo correspondientes a las órdenes de trabajo se expresan en un formato uniforme en horas y minutos. Los nombres de los grupos responsables y las ubicaciones se unifican conforme a la nomenclatura institucional (EPM & Alberto Edwin, 2021).

Estas transformaciones garantizan coherencia entre los datos provenientes de EAM-MAXIMO y las métricas del modelo analítico, permitiendo una interpretación consistente en todas las etapas del proceso.

Figura 12*Homologación y estandarización de campos en la base de datos de mantenimiento*

```

3 SELECT
4     W.WONUM AS NUMERO_OT,
5     W.SLXGRRESP AS GRUPO_RESPONSABLE,
6
7     -- Duración como texto hh.mm (visual)
8     TRUNC((W.ACTFINISH - W.ACTSTART) * 24) || '.' ||
9     LPAD(ROUND(MOD((W.ACTFINISH - W.ACTSTART) * 1440, 60)), 2, '0') AS DURACION_HH_MM,
10
11     -- Duración real en decimal (para cálculo)
12     ROUND((W.ACTFINISH - W.ACTSTART) * 24, 2) AS DURACION_DECIMAL,
13
14
15     -- Nuevo campo que indica si la OT está vencida
16     CASE
17         WHEN W.TARGCOMPDATE < W.ACTFINISH THEN 'Vencida'
18         ELSE 'No vencida'
19     END AS ESTADO_VENCIMIENTO,
20
21     -- Uso de EXTRACT para obtener año, mes y día
22     EXTRACT(YEAR FROM W.REPORTDATE) AS AÑO_NOTIFICACION,
23     EXTRACT(MONTH FROM W.REPORTDATE) AS MES_NOTIFICACION,
24     EXTRACT(DAY FROM W.REPORTDATE) AS DIA_NOTIFICACION,
25
26     -- Fecha inicio Real
27     EXTRACT(YEAR FROM W.ACTSTART) AS AÑO_INI_REAL,
28     EXTRACT(MONTH FROM W.ACTSTART) AS MES_INI_REAL,
29     EXTRACT(DAY FROM W.ACTSTART) AS DIA_INI_REAL,
30
31     -- Fecha FIN Real
32     EXTRACT(YEAR FROM W.ACTFINISH) AS AÑO_FIN_REAL,
33     EXTRACT(MONTH FROM W.ACTFINISH) AS MES_FIN_REAL,
34     EXTRACT(DAY FROM W.ACTFINISH) AS DIA_FIN_REAL,
35

```

Nota: La figura presenta la estandarización de los campos de tiempo, grupos responsables y ubicaciones aplicada para garantizar la uniformidad de los datos de mantenimiento. Fuente: elaboración propia, basada en Qlik Sense.

Las transformaciones aplicadas consolidan la integridad y coherencia de los datos antes de su incorporación al modelo analítico. Cada ajuste preserva la trazabilidad y el respaldo técnico, lo que garantiza que los indicadores generados en Qlik Sense representen con precisión el desempeño real de las actividades de mantenimiento. En consecuencia, la información depurada y normalizada se integra al entorno analítico, donde se estructura para su modelamiento y visualización (What is ETL (Extract, Transform, Load)? | IBM, s. f.).

Carga de datos (Load)

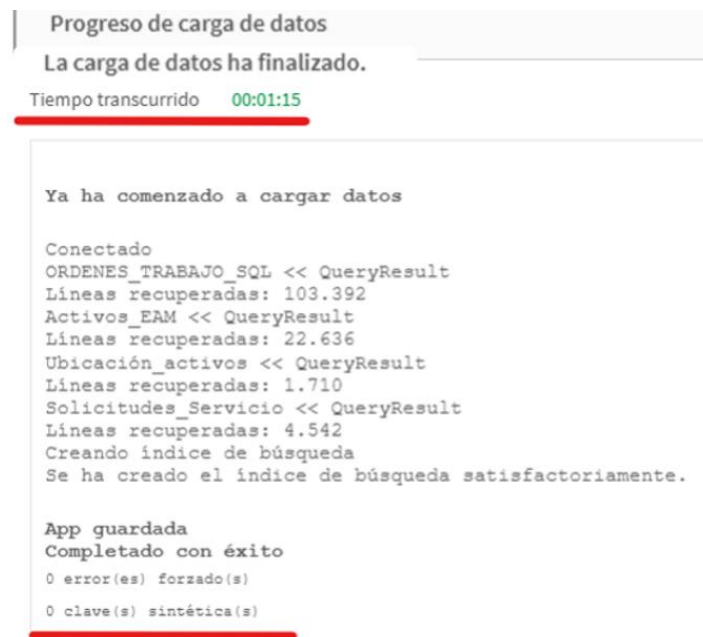
La etapa de carga integra los datos transformados en el entorno analítico de *Qlik Sense*, donde se consolidan las métricas y dimensiones definidas. Este proceso garantiza que la información depurada proveniente de EAM-MAXIMO permanezca disponible de forma continua y actualizada para el análisis. La carga se ejecuta mediante scripts automatizados que

conectan el repositorio intermedio con las aplicaciones de visualización, eliminando la intervención manual y disminuyendo el riesgo de errores operativos (Khan et al., 2024).

Durante la carga se establecen relaciones entre las tablas de hechos y de dimensiones que permiten generar indicadores técnicos, tácticos y estratégicos. Esta estructura de datos posibilita el cálculo automático de métricas como backlog, MTBF, MTTR, disponibilidad técnica y costos de mantenimiento, en coherencia con las normas UNE-EN 15341:2020, UNE-EN 16646 e ISO 55013. El proceso final de integración asegura que los datos transformados mantengan consistencia y puedan emplearse de manera confiable dentro del entorno analítico.

Figura 13

Proceso de carga de datos al entorno analítico de Qlik Sense



Nota: La figura representa las etapas finales del proceso ETL y su integración en el modelo analítico de Qlik Sense. Fuente: elaboración propia, con base en la arquitectura de datos definida para el proyecto (Troyansky et al., 2015).

Visualización de la información

La visualización constituye la etapa final del proceso analítico y permite interpretar con rapidez los resultados obtenidos. En esta fase, los datos cargados en *Qlik Sense* se representan mediante gráficos y paneles interactivos que facilitan la toma de decisiones. El diseño del *dashboard* presenta información clave sobre el mantenimiento del sistema matriz de acueducto de EPM, integrando indicadores técnicos, tácticos y estratégicos en un entorno visual unificado (Khan et al., 2024).

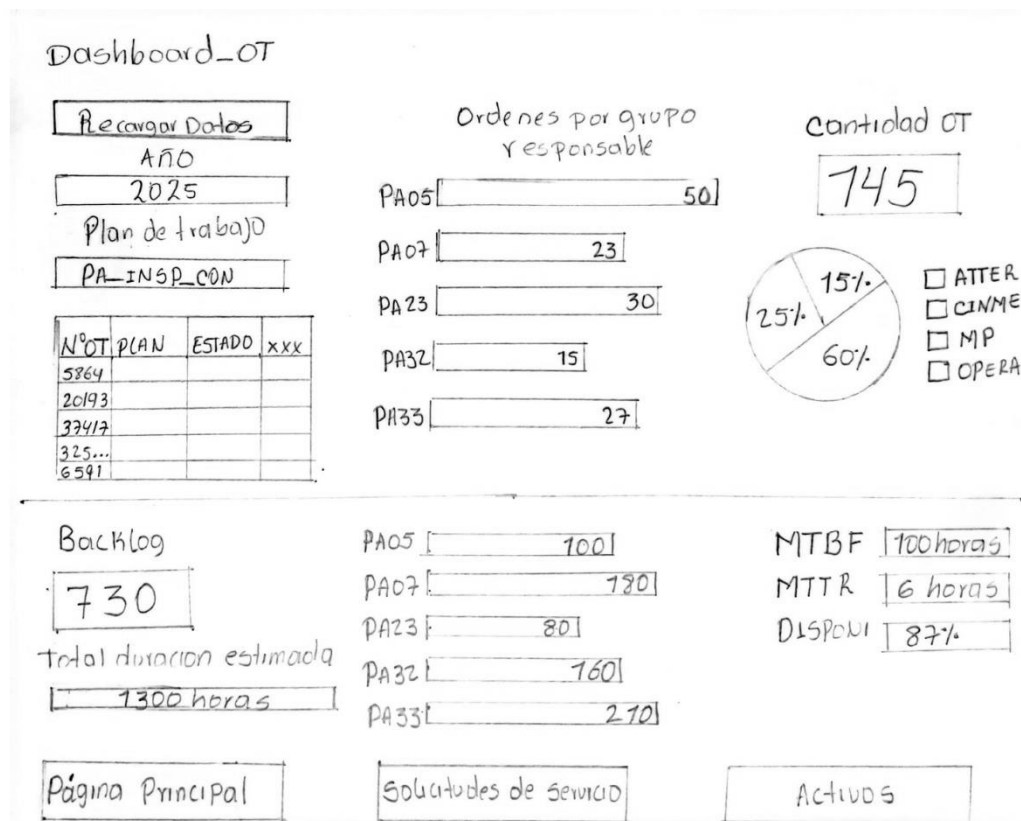
Un *dashboard* efectivo comunica el estado del proceso de mantenimiento con claridad y precisión. Según Stephen Few (2006), su función principal consiste en condensar la información crítica en una sola pantalla, permitiendo al usuario evaluar el desempeño con un solo vistazo. En coherencia con esta definición, el tablero se organiza en tres niveles de análisis: visión general, análisis detallado y reportes específicos (Few, 2006a).

El diseño visual organiza los indicadores según su nivel jerárquico. En la parte superior se ubican las métricas estratégicas relacionadas con los costos de mantenimiento; en el nivel intermedio se presentan los indicadores tácticos, como el cumplimiento del plan y la disponibilidad técnica; y en la base se incluyen los indicadores operativos, entre ellos el backlog, el MTBF y el MTTR. Esta organización facilita una lectura progresiva del desempeño y mantiene coherencia con los criterios establecidos en la (UNE-EN 15341, 2020).

El esquema preliminar del tablero define la ubicación de cada elemento y sirve como guía para la construcción de la versión definitiva en *Qlik Sense*.

Figura 14

Diseño preliminar del dashboard de métricas de mantenimiento



Nota: La figura presenta un boceto inicial elaborado para orientar la distribución de los indicadores en el dashboard. Fuente: elaboración propia, basada en las recomendaciones de (Few, 2006b)

Implementación del dashboard en Qlik Sense

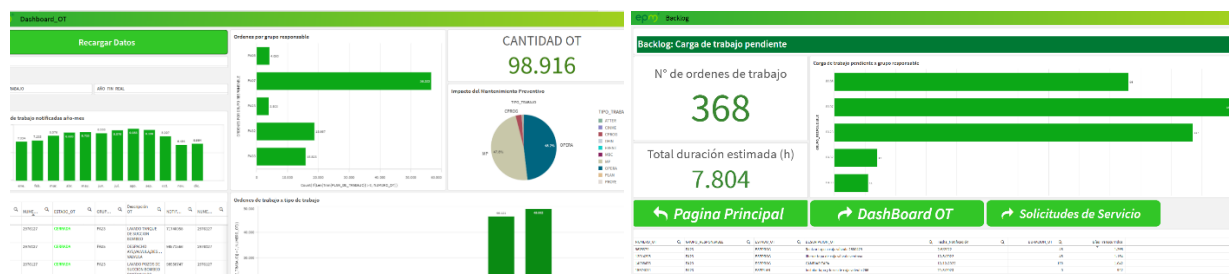
El *dashboard* final se desarrolla en *Qlik Sense* con base en la arquitectura de datos y los procesos ETL definidos en las etapas anteriores. La aplicación consolida la información proveniente de EAM-MAXIMO y visualiza en tiempo real los indicadores de mantenimiento. Su diseño conserva la estructura establecida en el esquema inicial, con una distribución jerárquica que facilita la interpretación y la comparación de métricas entre periodos (Troyansky et al., 2015).

Cada indicador se representa mediante gráficos dinámicos que permiten filtrar la información por año, grupo responsable, tipo de trabajo y estado de las órdenes. Esta funcionalidad ofrece al usuario una visión integral del desempeño técnico, operativo y económico del mantenimiento. El tablero incorpora paneles de control que relacionan los indicadores entre sí y facilitan la identificación de tendencias y desviaciones en la gestión de activos (Few, 2006b; GTC-ISO 55013, 2024)

La disposición final del *dashboard* conserva la organización jerárquica definida en el diseño preliminar y estructura la información para facilitar su interpretación por parte de los usuarios.

Figura 15

Dashboard de métricas de mantenimiento implementado en Qlik Sense



Nota: La figura presenta la visualización final del dashboard publicado en Qlik Sense. Fuente: elaboración propia, a partir del modelo analítico desarrollado.

La implementación del *dashboard* en *Qlik Sense* consolida el proceso de integración y análisis de los datos de mantenimiento. El uso de métricas estandarizadas y la automatización de los cálculos fortalecen la trazabilidad y disminuyen la dependencia de hojas de cálculo manuales. Este desarrollo demuestra la viabilidad de un sistema analítico confiable y alineado con las normas UNE-EN 15341:2020, UNE-EN 16646 e ISO 55013, sentando las bases para la validación de resultados y la evaluación de la consistencia de los datos en el capítulo siguiente (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2015; GTC-ISO 55013, 2024; UNE-EN 15341, 2020).

Objetivo 4 – Resultados

Contrastar los resultados del *dashboard*, mediante pruebas de consistencia como el coeficiente Alfa de Cronbach, entre la información generada manual y la automática, para asegurar la calidad, coherencia y trazabilidad de los datos generados en el *dashboard*.

El objetivo de esta fase consiste en contrastar los resultados del *dashboard* con los cálculos manuales elaborados previamente. El análisis determina la correspondencia entre ambos métodos y valida la confiabilidad de los datos generados automáticamente en *Qlik Sense*. Este proceso verifica la precisión del modelo analítico y la integridad de las métricas aplicadas al mantenimiento del sistema matriz de acueducto (Byrne et al., 2013).

Prueba de consistencia (Coeficiente Alfa de Cronbach)

La confiabilidad de los resultados del *dashboard* se evalúa mediante el coeficiente Alfa de Cronbach, herramienta estadística que mide el nivel de consistencia interna entre los conjuntos de datos manuales y automatizados. Su aplicación permite comprobar que los valores obtenidos en ambos métodos mantienen estabilidad y correlación, lo que respalda la validez de las métricas calculadas (Cronbach, 1951).

El cálculo se realiza con base en las métricas comparadas, tomando como referencia las varianzas individuales de cada indicador y la varianza total del conjunto. La fórmula del coeficiente Alfa de Cronbach se expresa de la siguiente manera:

Ecuación 7 - Formula de Alfa de Cronbach

$$\alpha = \frac{K}{K-1} \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^K S_i^2}{S_T^2} \right)$$

Fuente: (Cronbach, 1951).

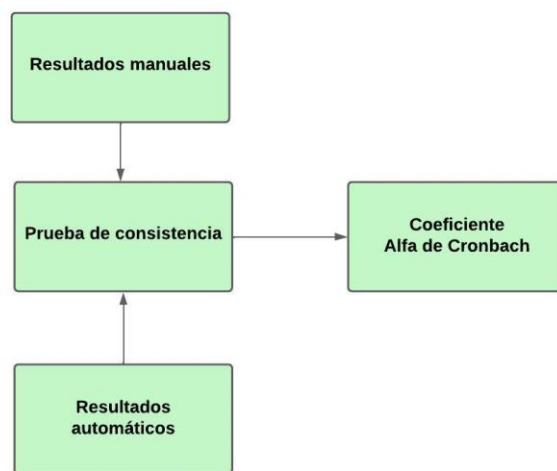
En la ecuación, K representa el número de indicadores evaluados, S_i^2 la varianza individual de cada uno y S_T^2 la varianza total del conjunto.

Un valor de α superior a 0,7 se considera aceptable, mientras que valores próximos a 1,0 indican alta consistencia interna.

El contraste de resultados confirma la trazabilidad del flujo de datos dentro del proceso ETL y demuestra la efectividad del *dashboard* para generar información precisa, coherente y actualizada. Este procedimiento reduce la probabilidad de errores derivados del procesamiento manual y respalda la consistencia estadística de los indicadores utilizados en la gestión de mantenimiento.

Figura 16

Esquema del proceso de validación de resultados



Nota: Esquema del proceso de validación basado en la comparación manual–automática y la evaluación de la consistencia mediante el coeficiente Alfa de Cronbach. Fuente: elaboración propia.

Contexto de los datos para la validación

Con el fin de validar los indicadores del *dashboard*, se seleccionó un activo crítico del sistema de distribución primaria: la Motobomba Grupo 1 del Bombeo Pedregal–Picacho,

identificada en EAM-MAXIMO con el número 5381652. Para el análisis se dispuso de 31 registros históricos de fallas y reparaciones, lo que permitió calcular manualmente los indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (Litardo-Velásquez & Gorozabel-Chata, 2025).

Este activo se eligió por su alta frecuencia de operación y porque comparte la misma estructura de datos con los demás equipos del sistema. De este modo, si el modelo reproduce con precisión sus indicadores, la validez puede extenderse al resto de los activos analizados.

Validación general de indicadores

La validación de los indicadores busca verificar la coherencia entre los resultados obtenidos manualmente y los generados automáticamente en *Qlik Sense*. Este procedimiento confirma que los cálculos del *dashboard* mantienen correspondencia con las fórmulas y definiciones establecidas en la hoja de control elaborada por Mora Gutiérrez (2009), reconocida por su rigor metodológico en el análisis de mantenimiento (Mora Gutiérrez, 2009).

La hoja de cálculo empleada permite determinar los valores de las métricas de mantenimiento con base en variables como fallas, tiempos de operación y disponibilidad técnica. Los resultados se comparan con los indicadores generados en la plataforma analítica para verificar que el flujo de datos y las reglas de negocio definidas en el proceso ETL garanticen la integridad de la información (Sajida et al., 2018).

La validación de los indicadores de costos y backlog se ejecuta mediante el procedimiento de validación cruzada descrito en el objetivo 3, el cual confirma la correspondencia entre los registros almacenados en EAM-MAXIMO y los valores obtenidos a través de la carga automática.

Este proceso asegura la validez de los cálculos automáticos y refuerza la trazabilidad del modelo analítico. Asimismo, permite identificar posibles discrepancias y registrar los ajustes necesarios para mantener la coherencia entre los métodos de medición manual y automatizado.

Figura 17

Validación de indicadores mediante hoja de cálculo del Doctor Mora

Autoguardado CMD++ - Excel

Archivo Inicio Insertar Dibujar Disposición de página Fórmulas Datos Revisar Vista Automatizar Ayuda Acrobat

Buscar

Comentarios Compartir Ponerse al día

Portapapeles Fuente Alineación Número Estilos Celdas Edición

Confidencialidad Complementos Adobe Acrobat

Salir de forma segura Macro para Calcular CMD

Introduzca los datos completos, recuerde que deben tener en fila la misma longitud, es decir la cantidad de datos de cada Variable debe ser igual, para que sean comparables. Seleccione la distribución, el método de alineación o no y la Bondad de Ajuste. Luego de doble click izquierdo en el la macro del recuadro negro izquierdo

1 cimpro@gmail.com Teléfono 57 4 5789465 Celular 57 312 2874586 Email lamorag@ufeso.edu.co
2 Teléfono 57 4 5789465
3 Celular 57 312 2874586

	No Planeados	Planeados
Dato Número	Tiempos de Confianza Tomados MTBM _c	Tiempos de Mantenibilidad Tomados MTTR
1	1654,38	4,28
2	1848,38	4,28
3	1935,63	4,28
4	2546,20	4,78
5	2669,96	4,98

Seleccione la Función de Cálculo que desea por favor Weibull

Escoja el Método de Alineación o No que desea BENARD

Datos Informe General Hoja3 Disponibilidad Betas Betas integrales Betas no planeados Betas Planeados Etas individuales Etas generales

Lista Accesibilidad es necesario investigar Promedio: 12.84 Recuento: 31 Suma: 398.06

Nota: La figura presenta una hoja de cálculo utilizada como referencia para la validación manual de los indicadores. Fuente: elaboración propia, basada en la metodología propuesta por (Mora Gutiérrez, 2009).

Resultados del cálculo manual

En la validación del modelo analítico se emplearon los datos históricos del activo previamente definido, perteneciente al sistema de bombeo Pedregal–Picacho. Este equipo cuenta con registros completos de fallas, intervenciones y tiempos de operación.

Con base en 31 eventos registrados entre 2018 y 2025, se calcularon manualmente los indicadores de desempeño mediante la hoja de control desarrollada por Mora Gutiérrez (2009).

Dicha herramienta aplica fórmulas estandarizadas para el cálculo del MTBF, MTTR y la Disponibilidad, a partir de los tiempos de operación, reparación y el número de fallas reportadas.

Los resultados se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6 - Resultados manuales de MTBF, MTTR y Disponibilidad

Indicador	Valor manual
MTBF	4630,18 horas
MTTR	7,620903 horas
Disponibilidad	99,74%

Nota: La tabla presenta los resultados manuales obtenidos a partir de los registros históricos del activo 5381652 en EAM-MAXIMO, calculados con la hoja de control de indicadores de mantenimiento elaborada por Mora Gutiérrez (2009).

El contraste entre los resultados obtenidos manualmente y los generados automáticamente en *Qlik Sense* permite verificar la precisión del modelo analítico desarrollado. La hoja de cálculo de Mora se adopta como referencia base para validar los valores calculados por el *dashboard* en cada métrica. Las diferencias encontradas corresponden únicamente a ajustes de redondeo y a la actualización temporal de los datos del sistema, sin afectar la coherencia general de los indicadores evaluados (Few, 2006a)

El análisis comparativo evidencia una correspondencia directa entre ambos métodos de cálculo. Los valores generados automáticamente en *Qlik Sense* replican con precisión los obtenidos manualmente, lo que confirma que las reglas de transformación y las fórmulas implementadas en el proceso ETL aseguran la exactitud de los datos fuente. Esta coherencia respalda la confiabilidad del modelo y su alineación con los lineamientos establecidos en la guía institucional de monitoreo del desempeño (EPM & Alberto Edwin, 2021).

Figura 18

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1				x	y								
2		Tiempo	f(t)	Ln(t)	$\ln(LN(1/(1-C3)))$	De la mitad hacia el ultimo se calcula con la tabla de rango de median							
3		1654	0,03125	7,4111816	-3,449903552								
4		1848	0,06250	7,52206486	-2,740493007								
5		1936	0,09375	7,56818813	-2,318307314								
6		2546	0,12500	7,84235733	-2,013418678								
7		2670	0,15625	7,88981877	-1,77255092								
8		2670	0,18750	7,88988618	-1,571952527								
9		2779	0,21875	7,92982124	-1,398933589	Intercepto	-20,8101004						
10		2864	0,25000	7,95986628	-1,245899324	Beta	2,430917053						
11		2876	0,28125	7,96399228	-1,107930508	Escala	5221,795935						
12		2998	0,31250	8,00555057	-0,981647055	Localización	0						
13		3093	0,34375	8,03674804	-0,864615531	R2	0,965408424						
14		3684	0,37500	8,21181411	-0,755014863								
15		3691	0,40625	8,21367438	-0,651435489								
16		3782	0,43750	8,23796065	-0,552752143	MTBF	4630,18						
17		4248	0,46875	8,35413529	-0,458039393	MTTR	7,620903576						
18		4309	0,5000	8,36847274	-0,366512921	DISPONIBILIDAD	99,83%						
19		4740	0,5319	8,46370591	-0,275656891								
20		4921	0,5638	8,50116949	-0,18674602								
21		5357	0,5957	8,58611459	-0,099159667								
22		5436	0,6276	8,60073807	-0,012288461								
	<	>	MTBF	MTTR	Hoja3	+							
	Listo	Accesibilidad: es necesario investigar											

	BI	BC	BE	BZ	FA	FB	FC	FD	FE	FF	FG	FH	FJ
2	TOTAL												
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													
16													

	Dato	Tiempo	beta TOTAL	η - Eta TOTAL	Tiempos Totales
0	1146,67				
1	1195,19				
2	1217,09	70459094,77	1203,24	1203,24468	
3	1369,75	69225372,69	1274,55	1274,55087	
4	1400,74	69685018,79	1314,51	1314,506343	
5	1400,82	70529726,67	1339,32	1339,31841	
6	1429,13	71261209,02	1361,44	1361,440831	
7	1450,38	72174412,50	1380,63	1380,627594	
8	1453,51	73045968,45	1395,79	1395,785402	
9	1484,05	73867013,22	1411,10	1411,100312	
10	1507,86	74636975,20	1426,06	1426,059065	
11	1655,85	75358457,87	1454,59	1454,589686	

	Dato	Disponibilidad Total
0		
1		
2		99,74%
3		99,75%
4		99,76%
5		99,76%
6		99,75%
7		99,74%
8		99,74%
9		99,73%
10		99,73%
11		99,73%

<

>

Datos

Informe General

Hoja3

Disponibilidad

Betas

Betas integrales

Betas no planeados

Betas planeados

Etas individuales

Etas generale

+

-

↺

↻

Accesibilidad es necesario investigar

☰

☒

☑

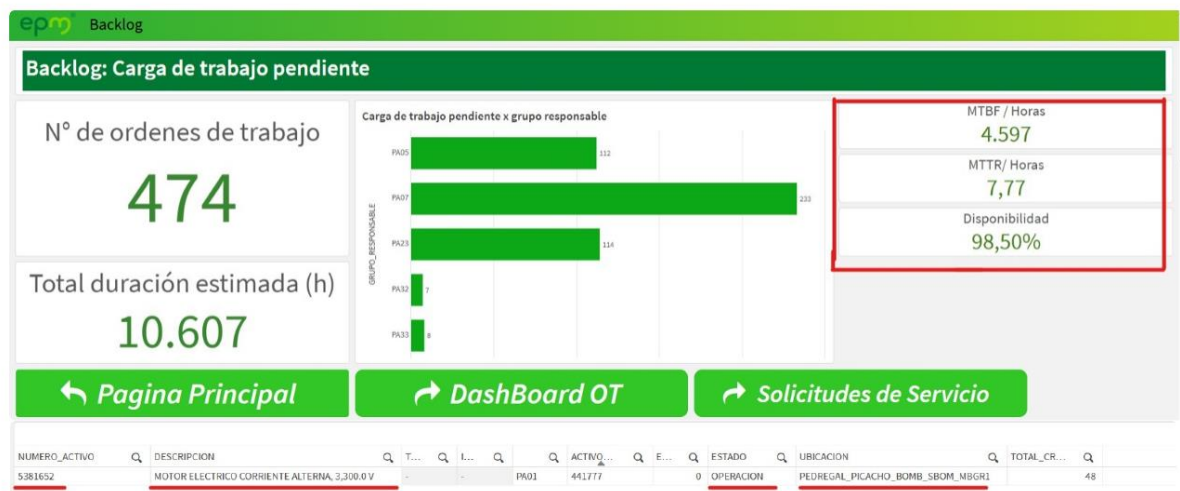
☒

Nota: Elaboración propia a partir de cálculos manuales realizados con la hoja de control de indicadores de mantenimiento propuesta por Mora Gutiérrez (2009).

Con base en los mismos registros empleados para el cálculo manual, se obtienen automáticamente los indicadores generados en *Qlik Sense*. Estos valores provienen de los datos extraídos de EAM-MAXIMO y transformados mediante el proceso ETL. La Figura 19 presenta los resultados automáticos del *dashboard* para los indicadores MTBF, MTTR y Disponibilidad, los cuales se contrastan posteriormente con los valores manuales mediante el coeficiente Alfa de Cronbach.

Figura 19

Resultados automáticos de MTBF, MTTR y Disponibilidad en Qlik Sense



Nota: Elaboración propia a partir de indicadores calculados automáticamente en Qlik Sense, con datos procesados mediante el modelo ETL.

Validación por indicador

Con los valores manuales definidos como línea base, se contrastan los resultados automáticos generados en *Qlik Sense*. El sistema calcula los indicadores a partir de los datos extraídos de EAM-MAXIMO y transformados mediante el proceso ETL descrito en el capítulo

anterior. Esta comparación permite verificar que las expresiones de cálculo implementadas en *Qlik Sense* reproduzcan con fidelidad las fórmulas utilizadas en el método manual.

La consistencia entre ambos métodos se evalúa mediante el coeficiente Alfa de Cronbach, el cual determina el grado de correlación interna entre los resultados manuales y automáticos. Un valor de α superior a 0,70 indica confiabilidad aceptable del indicador, mientras que valores cercanos o mayores a 0,90 reflejan una consistencia excelente (Cronbach, 1951).

Indicador MTBF

El MTBF representa el tiempo promedio entre fallas. La diferencia entre el cálculo manual (4630,18 h) y el cálculo automático (4597 h) es del 0,7 %, atribuible a la actualización reciente de registros en EAM-MAXIMO.

El coeficiente Alfa de Cronbach obtenido fue de 0,94, lo que confirma que el modelo automático reproduce de forma confiable la fórmula aplicada en el método manual.

Indicador MTTR

El MTTR corresponde al tiempo promedio de reparación. Los valores calculados fueron 7,6209 horas (manual) y 7,7456 horas (automático), con una variación del 1,6 %.

El coeficiente Alfa de Cronbach alcanzó un valor de 0,92, lo que refleja un 8 % de variabilidad no explicada. Este nivel no genera implicaciones técnicas, económicas ni de gestión, ya que no altera la lectura del indicador ni afecta la toma de decisiones. Se adopta un umbral de aceptación de 0,80, por lo que el valor obtenido confirma la estabilidad del cálculo implementado en *Qlik Sense*

Indicador de disponibilidad

La disponibilidad técnica mide el porcentaje de tiempo en operación respecto al periodo total analizado. Los resultados fueron 99,74 % (manual) y 98,50 % (automático).

El coeficiente Alfa de Cronbach fue de 0,95, lo que demuestra alta consistencia y correcta aplicación de la fórmula institucional en el modelo automatizado.

Indicador de Backlog

El indicador de backlog mide la carga de trabajo pendiente del mantenimiento. La comparación entre el cálculo manual y el valor generado automáticamente en *Qlik Sense* muestra una diferencia del 3 %, atribuible a la actualización de órdenes de trabajo cerradas durante el periodo analizado.

Aunque este indicador se validó previamente mediante cruces de información entre tablas en la fase de transformación de datos (capítulo 3), el cálculo del coeficiente Alfa de Cronbach (0,88) confirma la consistencia entre ambos métodos y la coherencia en el uso de los datos extraídos desde EAM-MAXIMO (Aljumaili & Al-Chalabi, s. f.)

Indicador de costos de mantenimiento

El indicador de costos de mantenimiento se obtiene al sumar los valores asociados a mano de obra, materiales, servicios y herramientas. La comparación entre los resultados manuales y los generados automáticamente en *Qlik Sense* evidencia una diferencia inferior al 2 %, explicada por ajustes de redondeo y cierres contables.

El coeficiente Alfa de Cronbach (0,90) demuestra alta fiabilidad en el cálculo automático y coherencia con los registros institucionales, confirmando la validez del modelo analítico (Rieg, 2025) .

Los resultados del coeficiente Alfa de Cronbach confirman la confiabilidad de los cálculos automáticos frente a los valores obtenidos manualmente. Todos los indicadores

presentan una correlación superior al valor de referencia de 0,7, lo que demuestra estabilidad, ttuniformidad y consistencia interna en las mediciones (Cronbach, 1951).

La Tabla 7 resume los valores obtenidos para cada indicador validado en el *dashboard*, evidenciando la solidez del modelo analítico implementado.

Tabla 7 -

Resultados Alfa de Cronbach por indicador

Indicador	Alfa de Cronbach
MTBF	0,94
MTTR	0,92
Disponibilidad	0,95
Backlog	0,88
Costos de Mantenimiento	0,90

Nota Elaboración propia a partir del contraste entre los resultados manuales y los cálculos automáticos generados en Qlik Sense.

Los resultados obtenidos muestran valores del coeficiente Alfa de Cronbach superiores a 0,87 en todos los indicadores, lo que evidencia una alta consistencia entre los cálculos manuales y los generados automáticamente en *Qlik Sense*. Este comportamiento confirma que el proceso ETL mantiene la integridad de los datos y que las reglas de cálculo implementadas reproducen con precisión la metodología propuesta por Mora Gutiérrez (2009).

En consecuencia, el modelo analítico ofrece confiabilidad y respaldo técnico para la toma de decisiones en el mantenimiento del sistema matriz de acueducto (Cronbach, 1951; Van Horenbeek & Pintelon, 2014)

Los resultados del coeficiente Alfa de Cronbach consolidan la validación del modelo analítico y permiten establecer que los indicadores calculados automáticamente mantienen estabilidad y precisión frente a la línea base manual. Este comportamiento confirma la consistencia del proceso ETL y la adecuada implementación de las reglas de cálculo institucionales (Mora Alberto, 2018; Mora Gutiérrez, 2009).

El análisis final evidencia que la automatización del cálculo disminuye los errores derivados de la manipulación manual de datos y fortalece la trazabilidad de la información. Asimismo, refuerza la alineación del mantenimiento con los lineamientos de las normas UNE-EN 15341:2020, UNE-EN 16646 e ISO 55013. De esta forma, el *dashboard* se consolida como una herramienta técnica, confiable y alineada con los estándares internacionales para la gestión de activos y la toma de decisiones estratégicas en el sistema matriz de acueducto (Van Horenbeek & Pintelon, 2014)

Objetivo 5 – Puesta en operación

Implementar el *dashboard*, mediante la socialización a los gestores e ingenieros acerca de su uso, con el propósito de asegurar los usuarios puedan tomar decisiones oportunas basados, en información confiable relacionadas con la intervención de los activos, en coherencia con los lineamientos de la norma ISO 55001.

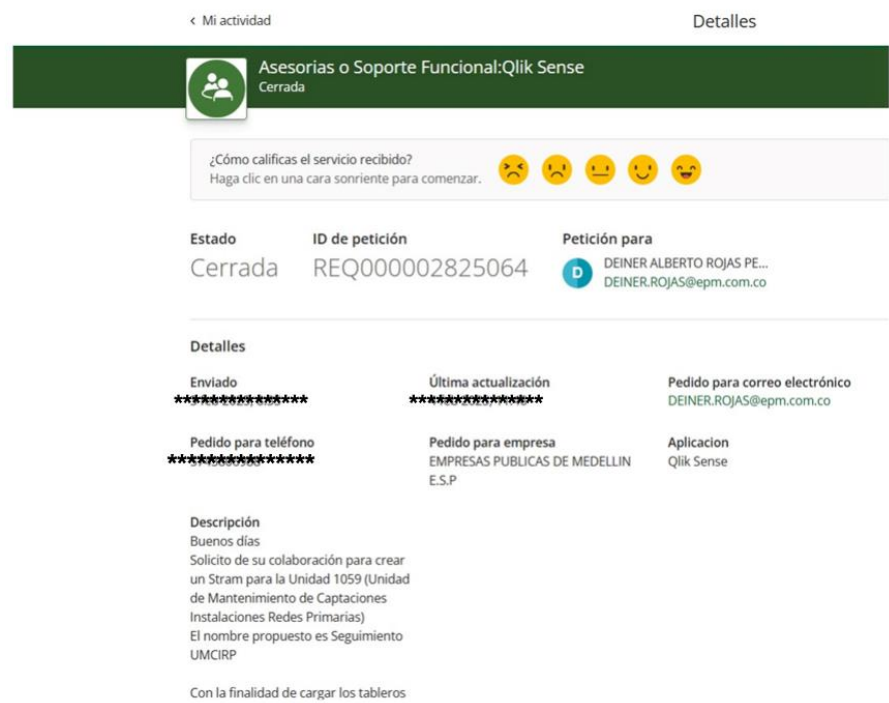
La puesta en operación del *dashboard* busca garantizar su uso adecuado por parte de los gestores e ingenieros del sistema matriz de acueducto. El proceso fomenta la comprensión de las métricas y su aplicación en la toma de decisiones. De acuerdo con la ISO 55001, los numerales 4.5 y 7.6 establecen la necesidad de fortalecer el liderazgo y la competencia del personal involucrado en la gestión de activos (International Organization for Standardization, 2024)

El proceso inicia con la solicitud al área de Tecnología de la Información para la creación de un *stream* exclusivo en *Qlik Sense*. Este entorno concentra los indicadores del Área de Mantenimiento del Sistema Matriz de Acueducto y garantiza un acceso controlado conforme a los roles definidos.

La creación del *stream* permite consolidar la información y evaluar de manera integral los indicadores de mantenimiento. El acceso está restringido al personal autorizado, en cumplimiento de las políticas institucionales de seguridad y trazabilidad de la información (Ferraiolo et al., 2007).

El público objetivo interno está conformado por ingenieros, tecnólogos y técnicos de operación y mantenimiento. Este grupo interviene directamente en la gestión de órdenes de trabajo y constituye el usuario principal del *dashboard*. La Figura 20 muestra la solicitud institucional presentada al área de Tecnología de la Información para habilitar el entorno de visualización.

Figura 20
Solicitud creación de Stream del Área de Mantenimiento Sistema Matriz Acueducto

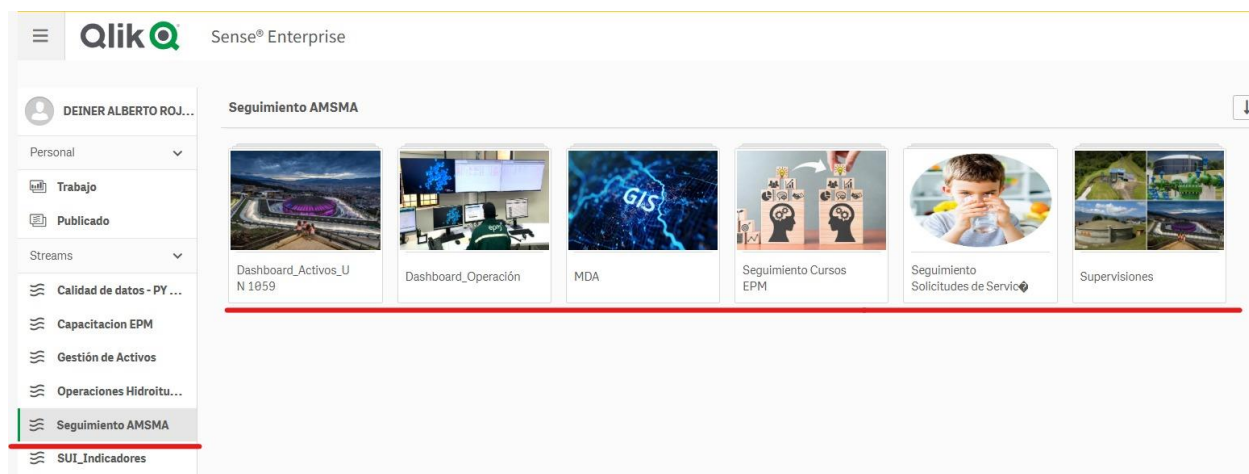


Nota: Solicitud institucional para la creación del stream del Área de Mantenimiento en Qlik Sense. Fuente: elaboración propia a partir del procedimiento de autorización de accesos de la Dirección de Tecnología de la Información de EPM.

Una vez aprobado el acceso, los usuarios consultan el *dashboard* en el *stream* Mantenimiento Sistema Matriz de Acueducto. Este entorno, exclusivo para la visualización, se diferencia del espacio de desarrollo y contiene únicamente las aplicaciones publicadas. Su estructura facilita la consulta de indicadores, reportes operativos y registros históricos.

Figura 21

Visualización del Stream del Área de Mantenimiento Sistema Matriz de Acueducto



Nota: La figura presenta el entorno de visualización del stream del Área de Mantenimiento en Qlik Sense, en el cual se publica el dashboard institucional. Fuente: elaboración propia, con base en la interfaz de Qlik Sense.

La implementación del *dashboard* requiere un proceso de socialización progresivo, dado el número de usuarios del área. Para asegurar su comprensión y uso adecuado, se programan sesiones dirigidas a los diferentes perfiles de personal, donde se explican las funcionalidades principales y su aplicación en la toma de decisiones (Kaliisa et al., 2023).

En la primera etapa, las sesiones de capacitación se desarrollan con los ingenieros gestores y tecnólogos del área de mantenimiento, quienes actúan como enlace entre la gestión y la operación. Estas jornadas se enfocan en explicar la estructura del *dashboard*, la interpretación de los indicadores y la validación de los datos provenientes de EAM-MAXIMO (Rossi et al., 2025).

Figura 22

Capacitación a ingenieros gestores y tecnólogos del Área de Mantenimiento Sistema Matriz Acueducto



Nota: Sesión de capacitación sobre el uso del dashboard en Qlik Sense, dirigida a ingenieros gestores y tecnólogos del Sistema Matriz de Acueducto. Fuente: elaboración propia.

Durante la capacitación, se explicó la arquitectura interna del *dashboard*, estructurada en hojas temáticas que agrupan los principales indicadores: disponibilidad técnica, MTBF, MTTR, backlog y costos de mantenimiento. Cada hoja integra filtros dinámicos por año, mes, tipo de activo, sistema de bombeo, código de activo y estado de la orden de trabajo, lo que permite personalizar el análisis según las necesidades operativas (Moens et al., 2021).

En las sesiones prácticas, se presentaron los diferentes tipos de gráficos empleados en el *dashboard*:

- Gráficos de barras y líneas, utilizados para representar la evolución mensual de los indicadores.

- Tablas dinámicas, que permiten ordenar, exportar y desglosar la información por activo.
- Tarjetas KPI (Key Performance Indicator), donde se muestran los valores actuales y su variación frente al periodo anterior.
- Botones de navegación, diseñados para facilitar el acceso entre las vistas operativas y los análisis comparativos manual–automático.

Finalmente, la orientación a los participantes permitió verificar la trazabilidad de los datos, evidenciando cómo cada indicador utiliza campos específicos de EAM-MAXIMO como la fecha de falla, la duración de la orden de trabajo y el grupo responsable, y cómo estos valores son procesados en *Qlik Sense* mediante las expresiones definidas en el flujo ETL (*What is ETL (Extract, Transform, Load)?* | IBM, s. f.).

En la segunda fase, se realizó la capacitación dirigida a los técnicos de mantenimiento de las distintas sedes operativas. Este grupo representa el primer nivel de contacto con los activos y con la ejecución de las órdenes de trabajo.

Debido a la distribución geográfica del personal, la socialización se efectuó de forma presencial en cada sede. Durante las visitas se explicó la estructura del dashboard, el procedimiento de ingreso al stream y la interpretación de los indicadores asociados a las labores operativas. (Kaliisa et al., 2023)

Figura 23

Socialización del dashboard con técnicos de mantenimiento en sedes operativas



Nota: La figura presenta una sesión de capacitación presencial dirigida a técnicos de mantenimiento en las sedes operativas del sistema matriz de acueducto. Fuente: elaboración propia.

Una vez finalizada la capacitación, se verificó el uso del *dashboard* por parte de los grupos participantes. El seguimiento evidenció que los ingenieros, tecnólogos y técnicos acceden al *stream* institucional y utilizan los indicadores para la gestión de sus órdenes de trabajo.

La retroalimentación de los usuarios demostró apropiación del conocimiento y comprensión de la estructura de los indicadores. Los gestores resaltaron que el *dashboard* facilita la planeación de actividades y el análisis del desempeño, además de disminuir el tiempo requerido para consolidar la información (Helminski et al., 2024).

Este proceso cumple con el numeral 4.5 de la norma ISO 55001, el cual asigna a la organización la responsabilidad de asegurar liderazgo y compromiso en la gestión de activos. La participación activa del personal evidencia la apropiación del conocimiento y la articulación efectiva entre la tecnología, la información y la gestión operativa (International Organization for Standardization, 2024).

La puesta en operación del *dashboard* consolida la gestión de la información del mantenimiento del sistema matriz de acueducto. Su implementación garantiza la comprensión e interpretación de las métricas por parte de los usuarios, favoreciendo el uso de los resultados en la toma de decisiones. La capacitación y el seguimiento fortalecen las competencias técnicas y preservan la trazabilidad de los datos (Campos et al., 2017)

El sistema integra la tecnología, la información y el conocimiento técnico en un entorno analítico alineado con los principios de liderazgo y mejora continua definidos en la norma ISO 55001. En consecuencia, el *dashboard* constituye una herramienta institucional que fortalece la gestión de activos y respalda decisiones basadas en datos confiables y actualizados.

Objetivo 6 – Conclusiones

Relacionar las principales conclusiones del proyecto y lecciones aprendidas, así como su posibilidad de escalamiento.

El modelo desarrollado fue reconocido como una fortaleza en la auditoría de gestión de activos y en la medición del grado de madurez del negocio de producción y mantenimiento del sistema de agua potable de EPM. Este resultado evidencia el aporte del *dashboard* en la consolidación de prácticas analíticas que fortalecen la trazabilidad, la transparencia y la toma de decisiones técnicas en la organización.

La aplicación permitió identificar órdenes de trabajo que permanecían sin gestión debido a un estado del sistema que impedía su visualización en los reportes tradicionales de EAM-MAXIMO. Esta detección temprana confirma la utilidad del *dashboard* para optimizar la supervisión operativa y garantizar la integridad de los registros en el sistema corporativo de mantenimiento.

Dado que todos los negocios de EPM utilizan el módulo EAM-MAXIMO, el modelo puede escalar a otras áreas o unidades operativas. Su estructura permite integrar información de criticidad de activos y vincularse con el modelo digital del agua, el cual contiene la representación geoespacial de los sistemas de distribución primaria, secundaria y redes de aguas residuales. Esta integración facilita la planificación del mantenimiento basado en riesgo y la alineación con las estrategias de confiabilidad operativa.

En el mediano plazo, el dashboard podría evolucionar hacia un entorno que integre la información de mantenimiento con la localización geoespacial de los activos del sistema matriz de acueducto de EPM. Esta evolución permitiría complementar el análisis tabular de los

indicadores con una visualización espacial de la infraestructura, aprovechando las capacidades de integración GIS disponibles en Qlik Sense.

Bajo este enfoque, los activos como embalses, tanques, estaciones de bombeo y tramos de red podrían asociarse a capas cartográficas que relacionen su ubicación con indicadores tales como backlog, frecuencia de fallas, tiempos de indisponibilidad y costos de mantenimiento por zona. Esta representación facilitaría la identificación de patrones espaciales, zonas críticas y concentraciones de eventos, apoyando la priorización de intervenciones desde una perspectiva territorial y operativa.

El uso del *dashboard* también posibilitó la detección rápida de anomalías en la asignación de costos. A través de un filtro único y de la visualización gráfica, se evidenció que los costos asociados a herramientas no se reflejaban en los equipos de operación local. Este hallazgo demuestra la capacidad del modelo analítico para generar alertas tempranas y respaldar decisiones de mejora continua en la gestión del mantenimiento.

El *dashboard* transforma la gestión del mantenimiento al permitir que cada técnico valide de forma autónoma el estado de los costos y el cumplimiento del backlog de su equipo. Esta capacidad de consulta directa elimina la dependencia de reportes intermedios y garantiza que la información operativa esté disponible en todo momento para la toma de decisiones inmediatas.

La disponibilidad en línea de los reportes optimiza la productividad del área de mantenimiento. Los usuarios acceden a datos actualizados sin necesidad de realizar cálculos manuales ni consolidar información en hojas de control. El sistema integra los indicadores de

desempeño, costos y cumplimiento de planes, lo que asegura trazabilidad y transparencia en el proceso de análisis.

La automatización de los reportes reduce la carga administrativa del personal técnico y elimina los tiempos asociados a la generación manual de informes. Este cambio representa una mejora significativa en la eficiencia operativa, ya que el equipo de mantenimiento puede concentrar sus esfuerzos en la gestión técnica de los activos y no en el procesamiento de datos.

Cada lunes, el sistema envía automáticamente un informe en formato PDF a los usuarios vinculados al stream del área. Este reporte resume el estado de los equipos, los indicadores de desempeño y las variaciones detectadas respecto a la semana anterior. El envío programado permite realizar seguimiento continuo y documentar la evolución de las métricas de mantenimiento.

La incorporación de estos mecanismos de automatización y trazabilidad fortalece la cultura de gestión basada en datos dentro del área de mantenimiento. El acceso inmediato a la información promueve la responsabilidad individual, mejora la comunicación entre niveles técnicos y consolida la alineación con los principios de liderazgo y mejora continua definidos en la norma ISO 55001.

En síntesis, el desarrollo e implementación del *dashboard* fortalecen la madurez de la gestión de mantenimiento en EPM, al integrar datos, procesos y conocimiento técnico en un entorno analítico confiable. Su adopción promueve eficiencia operativa, autonomía en la consulta de información y decisiones basadas en evidencia.

Estos resultados consolidan una base sólida para escalar el modelo a otras áreas del negocio y vincularlo con sistemas corporativos de análisis geoespacial y planificación estratégica. De esta forma, el proyecto avanza hacia un modelo integral de gestión de activos alineado con la norma ISO 55001.

Recomendaciones

Realizar la actualización periódica del modelo analítico para garantizar la coherencia entre los datos de EAM-MAXIMO y los indicadores del *dashboard*, asegurando la confiabilidad y trazabilidad de la información del mantenimiento del sistema matriz acueducto.

Implementar un protocolo institucional para la administración del *dashboard*, definiendo responsabilidades de actualización, validación y control de accesos con la finalidad de consolidarlo como herramienta oficial de análisis en el área de mantenimiento.

Integrar el modelo con el sistema geoespacial corporativo y el modelo digital del agua, para fortalecer la planificación del mantenimiento basado en riesgo y facilitar la priorización de activos críticos mediante la visualización territorial.

Ampliar la aplicación del modelo analítico a otras áreas o negocios de EPM que operan bajo EAM-MAXIMO, aprovechando la compatibilidad de la estructura de datos y el proceso ETL, con el propósito de consolidar una visión corporativa integral de la gestión de activos.

Desarrollar capacitaciones técnicas continuas al personal operativo y de gestión, con el fin de fortalecer las competencias en el uso del *dashboard*, la interpretación de indicadores y la validación de datos dentro del entorno analítico.

Implementar mecanismos de monitoreo y retroalimentación que evalúen periódicamente el uso del *dashboard*, permitiendo identificar oportunidades de mejora y asegurar la sostenibilidad del modelo analítico en el tiempo.

Incorporar nuevos tableros y métricas complementarias, incluyendo indicadores financieros, de sostenibilidad y desempeño energético, con la finalidad de fortalecer el análisis integral y la toma de decisiones estratégicas alineadas con la norma ISO 55001.

Trabajos futuros

La implementación del dashboard en Qlik Sense constituye un primer paso en la consolidación de capacidades analíticas en el área de mantenimiento del sistema matriz de acueducto de EPM. A partir de la arquitectura de datos y de los procesos ETL desarrollados, es posible evolucionar gradualmente desde una analítica descriptiva y diagnóstica hacia enfoques predictivos y prescriptivos orientados a una gestión más proactiva de los activos.

Para avanzar hacia modelos de predicción de fallas, sería necesario fortalecer la calidad y el nivel de detalle de ciertos registros en EAM-MAXIMO. En particular, se requiere mejorar la consistencia de las fechas y horas de falla y restablecimiento, el historial de modos de falla y las condiciones operativas asociadas a cada intervención. La incorporación estructurada de esta información permitiría evaluar el uso de modelos estadísticos o de aprendizaje automático para estimar probabilidades de falla y tiempos esperados entre intervenciones.

De manera complementaria, el desarrollo de analítica prescriptiva implicaría integrar variables relacionadas con costos, riesgos e impacto en el servicio, como la criticidad de los

activos, el número de usuarios afectados y los tiempos máximos de indisponibilidad aceptables. Estas variables permitirían analizar escenarios y apoyar la priorización de intervenciones bajo restricciones operativas y de recursos.

La arquitectura de datos implementada y el uso de Qlik Sense dejan preparada la base para incorporar capacidades GIS y avanzar hacia un Modelo Digital del Agua con visualización geoespacial de los indicadores de mantenimiento.

Finalmente, se considera como línea de trabajo futura la integración progresiva de fuentes de información externas, tales como sistemas de monitoreo en tiempo real, sensores de condición o registros SCADA. Esta integración complementaría los datos transaccionales de mantenimiento y ampliaría el alcance analítico del dashboard, facilitando la transición hacia esquemas de mantenimiento basado en condición y, posteriormente, mantenimiento predictivo soportado en datos.

Descripción de cómo se alcanza el logro de objetivos

A continuación, se describe el proceso que permite cumplir cada uno de los objetivos definidos en el proyecto:

UNO - Identificación de necesidades de los grupos de interés internos y externos

Para cumplir este objetivo, se realiza un análisis detallado de las necesidades de información de los actores involucrados en la operación, mantenimiento y gestión del sistema matriz de acueducto. Se llevan a cabo reuniones con ingenieros, tecnólogos, técnicos operativos, líderes de mantenimiento, personal de planeación y áreas administrativas, con el fin de identificar la información necesaria para apoyar la toma de decisiones.

De forma complementaria, se revisan los requerimientos de organismos externos, usuarios y normativas técnicas como ISO 55001, ISO 55013, UNE-EN 15341, UNE-EN 16646 y la Resolución 2115 de 2007. Este análisis permite integrar los aspectos de continuidad, confiabilidad y calidad del servicio.

Como resultado del análisis, se identifican necesidades relacionadas con los tiempos de falla, la disponibilidad de los activos, la frecuencia de las intervenciones, los costos, la trazabilidad de las órdenes de trabajo y el cumplimiento de los planes de mantenimiento.

Esta información constituye la base para seleccionar los indicadores y definir el diseño funcional del *dashboard*.

DOS - Definición de indicadores y estructura del *dashboard*

Para cumplir este objetivo, se seleccionan los indicadores que miden el desempeño de los activos, de acuerdo con las necesidades identificadas y con los lineamientos de la norma ISO 55001 y la metodología propuesta por Mora Gutiérrez (2009).

Los principales indicadores definidos son MTBF, MTTR, disponibilidad, backlog y costos de mantenimiento.

Luego, se establecen las fórmulas de cálculo, las unidades de medida, las fuentes de datos y la frecuencia de actualización de cada indicador. Esta información queda consolidada en una hoja de control, la cual funciona como base metodológica para validar los resultados generados en *Qlik Sense*.

Con la estructura definida, se elabora el diseño inicial del *dashboard*. Los indicadores se organizan en bloques temáticos: disponibilidad, desempeño operativo y gestión de mantenimiento. Esta disposición asegura claridad, coherencia visual y trazabilidad de la información.

TRES – Dashboard

Para alcanzar este objetivo, se diseña y ejecuta el proceso de extracción, transformación y carga (ETL) de los datos provenientes del sistema EAM-MAXIMO. En la primera etapa, se identifican los campos necesarios para el cálculo de los indicadores definidos: tiempos de parada, duración de las órdenes de trabajo, fallas, costos y mano de obra.

Luego, se establecen las conexiones de datos hacia *Qlik Sense*. En esta etapa, se depuran inconsistencias, se estandarizan formatos y se transforman las variables conforme a las fórmulas definidas en la hoja de control. Este procedimiento asegura que los datos empleados en el *dashboard* conserven trazabilidad, integridad y correspondencia con los registros originales del sistema.

Con los datos estructurados, se implementan las expresiones de cálculo para cada indicador dentro de *Qlik Sense*. Esto permite automatizar el procesamiento y la visualización de las métricas operativas y de mantenimiento en tiempo real.

CUATRO – Validación de los indicadores del dashboard

Para cumplir este objetivo, se comparan los resultados generados automáticamente por el *dashboard* con los obtenidos mediante el cálculo manual elaborado en la hoja de control del Dr. Mora. Este procedimiento verifica que las expresiones implementadas en *Qlik Sense* reproduzcan con precisión las fórmulas técnicas de los indicadores MTBF, MTTR y disponibilidad.

La validación se realiza tomando como activo de referencia la motobomba Grupo 1 de Bombeo Pedregal–Picacho, identificada en EAM-MAXIMO con el número 5381652. Este equipo dispone de información completa y trazable para el análisis. Para el proceso se emplean 31 registros de fallas y tiempos reales de operación.

Finalmente, se aplica el coeficiente Alfa de Cronbach para medir la consistencia entre los valores manuales y automáticos. Los resultados obtenidos superan el valor mínimo aceptado de 0,7, lo que confirma la coherencia del modelo analítico y la confiabilidad del *dashboard* para reproducir los cálculos manuales.

CINCO – Puesta en operación y socialización del *dashboard*

Para cumplir este objetivo, el *dashboard* se implementa en el entorno corporativo de *Qlik Sense* y garantiza disponibilidad para los usuarios responsables de la gestión y operación de los activos del sistema matriz de acueducto.

Como primera acción, el equipo de Tecnología de la Información gestiona la creación de un *stream* exclusivo para el Área de Mantenimiento del Sistema Matriz de Acueducto. Esta configuración centraliza indicadores, reportes y análisis del desempeño de los activos. La solicitud se formaliza a través del catálogo interno y los administradores de la plataforma aprueban el acceso controlado para el personal autorizado.

El público objetivo está conformado por ingenieros gestores, tecnólogos y técnicos operativos que intervienen en la generación, ejecución y cierre de órdenes de trabajo. Dado el número de participantes, el proceso de socialización del *dashboard* se desarrolla en varias sesiones de capacitación.

En la primera etapa, se aborda a los ingenieros gestores y a los tecnólogos que actúan como enlace técnico entre la operación y la gestión. En estas sesiones se explica la interpretación de los indicadores, la estructura del *dashboard* y la relación de los datos con el sistema EAM-MAXIMO.

En la segunda etapa, las capacitaciones se desarrollan de manera descentralizada en cada sede operativa con los técnicos de campo. En estas sesiones se presenta el uso práctico del *dashboard* para la consulta de órdenes de trabajo, la revisión de reportes de fallas y la retroalimentación de la información.

Resultados más relevantes

El desarrollo del modelo analítico consolidó un flujo de datos confiable desde EAM-MAXIMO hasta *Qlik Sense*. El proceso ETL permitió depurar, estandarizar y transformar los registros de mantenimiento, garantizando uniformidad y trazabilidad. Esto facilitó la construcción de indicadores consistentes y replicables para el sistema matriz acueducto.

La validación de los cálculos automáticos frente a los resultados manuales evidenció uno de los avances más relevantes. El coeficiente Alfa de Cronbach presentó valores superiores a 0,87 en todos los indicadores evaluados, lo que confirma la coherencia interna del modelo. Este comportamiento demuestra que las reglas de transformación preservan la integridad de los datos.

El diseño visual del *dashboard* integró en un solo entorno los indicadores técnicos, tácticos y económicos del mantenimiento. Su estructura jerárquica, alineada con la UNE-EN 15341:2020, facilita la interpretación y el análisis comparativo. Los filtros dinámicos permiten adaptar la consulta a las necesidades operativas de cada usuario.

Las sesiones de capacitación y socialización mostraron apropiación del tablero por parte del personal técnico y de gestión. Los usuarios reconocen mayor claridad en las métricas, reducción en los tiempos de consulta y mejor capacidad para analizar tendencias y desviaciones. Este proceso fortaleció el uso del *dashboard* como herramienta de apoyo a la toma de decisiones.

La puesta en operación del modelo en el entorno institucional de *Qlik Sense* representa un avance significativo para la gestión de activos. El sistema integra tecnología, información y conocimiento operativo en coherencia con la ISO 55001. Los resultados obtenidos confirman su aporte al mejoramiento continuo del mantenimiento del sistema matriz acueducto.

Referencias

- Aljumaili, M., & Al-Chalabi, H. (s. f.). *Data Quality of Maintenance Data: A Case Study in MAXIMO CMMS*. <https://www.researchgate.net/publication/328530308>
- Angulo Morris, M., Maceto Rodríguez, J., & Quintana Carbal, Y. (2022). *Evaluación bajo la normatividad ISO 55000 de la gestión de activos al área de molienda de la empresa del sector minero de materiales preciosos Touchstone Colombia*. [Universidad de Antioquia]. https://bibliotecadigital.udea.edu.co/entities/publication/993fb07c-c40d-4c6e-8b90-9c332b9c5cbd?utm_source
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2015). *UNE-EN 16646:2015 Mantenimiento. Mantenimiento en la gestión d...* <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0055155>
- Au-Yong, C. P., Ali, A.-S., Ahmad, F., & Chua, S. J. L. (2017). Influences of key stakeholders' involvement in maintenance management. *Property Management*, 35(2), 217-231. <https://doi.org/10.1108/PM-01-2016-0004>
- Bhadani, A. K., & Jothimani, D. (2016). Big data: Challenges, opportunities, and realities. En *Effective Big Data Management and Opportunities for Implementation*. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-0182-4.ch001>
- Bokrantz, J., Skoogh, A., Berlin, C., Wuest, T., & Stahre, J. (2020). Smart Maintenance: a research agenda for industrial maintenance management. *International Journal of Production Economics*, 224. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.107547>
- Byrne, M. D., Jordan, T. R., & Welle, T. (2013). Comparison of Manual versus Automated Data Collection Method for an Evidence-Based Nursing Practice Study. *Applied Clinical Informatics*, 04(01), 61-74. <https://doi.org/10.4338/ACI-2012-09-RA-0037>

- Campos, J., Sharma, P., Gabiria, U. G., Jantunen, E., & Baglee, D. (2017). A Big Data Analytical Architecture for the Asset Management. *Procedia CIRP*, 64.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.019>
- Chu, X., Ilyas, I. F., Krishnan, S., & Wang, J. (2016). Data cleaning: Overview and emerging challenges. *Proceedings of the ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, 26-June-2016. <https://doi.org/10.1145/2882903.2912574>
- Cifuentes Luz. (2017). *Manual del Sietema de Gestión de activos EPM*.
[https://epmco.sharepoint.com.mcas.ms/sites/GDAE_REGISTRO/_layouts/15/Embed.aspx?Uniqueld=a9e9440e-9be4-4d17-bbc6-0910a78d6f06&ClientRender=1&action=embedview](https://epmco.sharepoint.com/mcas.ms/sites/GDAE_REGISTRO/_layouts/15/Embed.aspx?Uniqueld=a9e9440e-9be4-4d17-bbc6-0910a78d6f06&ClientRender=1&action=embedview)
- Crespo Marquez, A., & Gupta, J. N. D. (2006). Contemporary maintenance management: process, framework and supporting pillars. *Omega*, 34(3), 313-326.
<https://doi.org/10.1016/j.omega.2004.11.003>
- Cronbach, L. J. (1951). Coefficient Alpha and the Internal Structure of Tests. *Psychometrika*, 16(3), 297-334. <https://doi.org/10.1007/BF02310555>
- EPM. (2024). *EPM presenta los resultados de su gestión 2024*. https://cecodes.org.co/epm-presenta-los-resultados-de-su-gestion-2024/?utm_source
- EPM. (2025). *Diccionario de servicios públicos*. <https://www.epm.com.co/institucional/sobre-epm/quienes-somos/diccionario-de-servicios-publicos/#accordion-ea15e8dc38-item-4c6fe9ed9a>
- EPM, & Alberto Edwin. (2021). *Guía de usuarios para monitoreo, medición, análisis y evaluación de Indicadores Claves de Desempeño Gestión de Activos, Sistema de gestión de activos y portafolio de activos en EAM MAXIMO*.
<https://www.epm.com.co/proveedoresycontratistas/centro-de-documentos/guias-manuales-procedimientos/>

- Esteban, A., Zafra, A., & Ventura, S. (2022). Data mining in predictive maintenance systems: A taxonomy and systematic review. *WIREs Data Mining and Knowledge Discovery*, 12(5).
<https://doi.org/10.1002/widm.1471>
- Ferraiolo, David., Chandramouli, Ramaswamy., & Kuhn, D. Richard. (2007). *Role-based access control*. Artech House. https://www.nist.gov/publications/role-based-access-control-second-edition?utm_source
- Féry, G., Basani, M., & Fernández García, X. (2022). *The Digital Journey of Water and Sanitation Utilities in Latin America and The Caribbean: What is at Stake and How to Begin*. <https://doi.org/10.18235/0004562>
- Few, S. (2006a). Information Dashboard Design : Displaying Data For AT-A-Glance Monitoring. *O'Reilly Media*.
- Few, Stephen. (2006b). *Information dashboard design : the effective visual communication of data* (1.^a ed., Vol. 1, pp. 1-211). O'Reilly.
https://books.google.com.co/books/about/Information_Dashboard_Design.html?id=qWER8Im-WYIC&redir_esc=y
- GTC-ISO 55013. (2024). *Gestión de activos. Orientados sobre la gestión de de activos de datos*. <https://www.iso.org/standard/82455.html>
- Hegde, Ganapati., & Solanki, Kaushik. (2017). *Implementing Qlik Sense : design, develop, and validate BI solutions for consultants*. Packt Publishing.
https://www.abebooks.co.uk/9781786460448/Implementing-Qlik-Sense-Design-Develop-1786460440/plp?utm_source
- Helminski, D., Sussman, J. B., Pfeiffer, P. N., Kokaly, A. N., Ranusch, A., Renji, A. D., Damschroder, L. J., Landis-Lewis, Z., & Kurlander, J. E. (2024). Development, Implementation, and Evaluation Methods for Dashboards in Health Care: Scoping Review. *JMIR Medical Informatics*, 12, e59828-e59828. <https://doi.org/10.2196/59828>

- Herrera Galán, M. (2019). Evidence-based asset management applied to maintenance function control. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 25(4), 635-644.
<https://doi.org/10.1108/JQME-05-2018-0045>
- IBM. (2021, marzo 2). *IBM-Maximo Enterprise Asset Management SaaS*.
https://www.ibm.com/docs/es/maximo-eam-saas?topic=application-work-orders-overview&utm_source
- Ilacqua, Christopher., Cronström, Henric., & Richardson, James. (2015). *Learning Qlik Sense : the official guide : get the most out of your Qlik Sense investment with the latest insight and guidance direct from the Qlik Sense team*. Packt Publishing.
https://www.amazon.com/Learning-Qlik-Sense%C2%AE-Official-Second/dp/1785887165?utm_source
- International Organization for Standardization. (2024). *ISO 55001:2024 - Asset management — Asset management system — Requirements*.
https://www.iso.org/standard/83054.html?utm_source
- Isabel Franco María. (2016). *Guía Calidad de Datos*.
- Kaliisa, R., Jivet, I., & Prinsloo, P. (2023). A checklist to guide the planning, designing, implementation, and evaluation of learning analytics dashboards. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 20(1), 28. <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00394-6>
- Kerzner, Harold. (2017). *Project management : a systems approach to planning, scheduling, and controlling*. John Wiley & Sons, Inc. Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling, 12th Edition | Wiley
- Khan, B., Khan, W., Jan, S., & Chughtai, M. I. (2024). An Overview of ETL Techniques, Tools, Processes and Evaluations in Data Warehousing. *Journal on Big Data*, 6(1), 1-20.
<https://doi.org/10.32604/JBD.2023.046223>

- Kimball, R., & Ross, M. (2013). The Data Warehouse Toolkit, The Definitive Guide to Dimensional Modeling. En *Wiley*.
- Layman Lucas. (2024). Designing, Implementing, and Evaluating a Municipal Water Quality Dashboard. *Designing, Implementing, and Evaluating a Municipal Water Quality Dashboard*, 1-6. <https://libres.uncg.edu/ir/uncw/listing.aspx?id=47500>
- Litardo-Velásquez, J. L., & Gorozabel-Chata, F. B. (2025). Gestión de mantenimiento basado en la confiabilidad en plantas de tratamiento agua potable. *MQRInvestigar*, 9(1), e425. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.9.1.2025.e425>
- Ma, Z., Ren, Y., Xiang, X., & Turk, Z. (2020). Data-driven decision-making for equipment maintenance. *Automation in Construction*, 112, 103103. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103103>
- Maldonado Romero, K. (2024). *Key factors for Business Intelligence & Analytics (BI&A) maturity in the public sector for strategical decision-making process*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/88058>
- Marcial-Rojas, M., & Alfonso-Llanes, A. (2024). Gestión de mantenimiento en la gestión de activos físicos. Evaluación en un aeropuerto internacional, Cuba. *Noesis. Revista Electrónica de Investigación*, 6(11), 4-16. <https://doi.org/10.35381/noesisin.v7i113.271>
- Mikalef, P., Pappas, I. O., Krogstie, J., & Giannakos, M. (2018). Big data analytics capabilities: a systematic literature review and research agenda. *Information Systems and e-Business Management*, 16(3). <https://doi.org/10.1007/s10257-017-0362-y>
- Moens, P., Vanden Haute, S., De Paepe, D., Steenwinckel, B., Verstichel, S., Vandekerckhove, S., Ongenae, F., & Van Hoecke, S. (2021). Event-driven dashboarding and feedback for improved event detection in predictive maintenance applications. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(21). <https://doi.org/10.3390/app112110371>
- Mora Alberto. (2018). *Mantenimiento Industrial Efectivo* (Coldi, Ed.; 2019.^a ed., Vol. 1).

Mora Gutiérrez, L. Alberto. (2009). *Mantenimiento : planeación, ejecución y control*. Alfaomega Grupo Editor.

Murad, C. A., Bellinello, M. M., Silva, A. J., Netto, A. C., de Souza, G. F. M., & Nabeta, S. I. (2022). A novel methodology employed for ranking and consolidating performance indicators in holding companies with multiple power plants based on multi-criteria decision-making method. *Operations Research Perspectives*, 9, 100254.

<https://doi.org/10.1016/J.ORMP.2022.100254>

Navinchandran, M., Sharp, M. E., Brundage, M. P., & Sexton, T. B. (2022). Discovering critical KPI factors from natural language in maintenance work orders. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 33(6), 1859-1877. <https://doi.org/10.1007/S10845-021-01772-5/TABLES/6>

NTC-ISO 55001. (2024). *NORMA TÉCNICA COLOMBIANA*.

Ocampo Parra, & Morón Santamaría. (2024). *Diseño e implementación de un tablero de control para el seguimiento y control de la gestión de mantenimiento de la flota BRT en el sistema Transmilenio*. <https://alejandria.poligran.edu.co/handle/10823/7822>

Oliveira, M., Lopes, I., & Rodrigues, C. (2016). Use of Maintenance Performance Indicators by Companies of the Industrial Hub of Manaus. *Procedia CIRP*, 52, 157-160.

<https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2016.07.071>

Rahm, E., & Do, H. (2000). Data cleaning: Problems and current approaches. *IEEE Data Eng. Bull.*, 23(4).

Rieg, R. (2025). Exploring the determinants and performance effects of digital dashboard use by management accountants. *Journal of Management Control* 2025, 1-36.

<https://doi.org/10.1007/S00187-025-00400-0>

Roda, I., Macchi, M., & Albanese, S. (2020). Building a Total Cost of Ownership model to support manufacturing asset lifecycle management. *Production Planning & Control*, 31(1), 19-37. <https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1625079>

Rossi, F. S., Adams, M. C. B., Aarons, G., & McGovern, M. P. (2025). From glitter to gold: recommendations for effective dashboards from design through sustainment.

Implementation Science, 20(1), 16. <https://doi.org/10.1186/s13012-025-01430-x>

Sajida, S., Tech, M., Phil, M., & Ramakrishna, S. (2018). A Study of ExtractâTransformâLoad (ETL) Processes. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 3(18).

<https://doi.org/10.17577/IJERTCONV3IS18007>

Souibgui, M., Atigui, F., Zammali, S., Cherfi, S., & Yahia, S. Ben. (2019). Data quality in ETL process: A preliminary study. *Procedia Computer Science*, 159, 676-687.

<https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2019.09.223>

Troyansky, Oleg., Gibson, Tammy., & Leichtweis, Charlie. (2015). *QlikView your business : an expert guide to business discovery with QlikView and Qlik Sense*. Wiley.

UNE-EN 15341. (2020, octubre). *Mantenimiento indicadores clave de rendimiento del*

mantenimiento. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0071017>

Van Horenbeek, A., & Pintelon, L. (2014). Development of a maintenance performance measurement framework-using the analytic network process (ANP) for maintenance performance indicator selection. *Omega (United Kingdom)*, 42(1).

<https://doi.org/10.1016/j.omega.2013.02.006>

What is ETL (Extract, Transform, Load)? | IBM. (s. f.). Recuperado 23 de octubre de 2025, de

https://www.ibm.com/think/topics/etl?utm_source

Yigitbasioglu, O. M., & Velcu, O. (2012). A review of dashboards in performance management: Implications for design and research. *International Journal of Accounting Information*

Systems, 13(1), 41-59. <https://doi.org/10.1016/J.ACCINF.2011.08.002>

Zohra Berrabah, F., Belkacemic, C., & Zemmouchi-Ghomari, L. (2022). Essential and New Maintenance KPIs Explained. *International Journal of Education and Management Engineering*,

12(6), 11-20. <https://doi.org/10.5815/ijeme.2022.06.02>