

Digitalización de la gestión de mantenimiento: estrategia de éxito para la mejora continua de los procesos y la toma de decisiones basados en la condición de los activos

Diego Fernando Bejarano
Celsia Colombia S.A. E.S.P.
Calle 15 No. 29B – 30 Autopista Cali – Yumbo
E-mail: dbejarano@celsia.com
Yumbo – Colombia

Danny Stiven Ramirez Bermudez
Celsia Colombia S.A. E.S.P.
Calle 15 No. 29B – 30 Autopista Cali – Yumbo
E-mail: dramirez@celsia.com
Yumbo – Colombia

Resumen

Este trabajo plantea las mejoras metodológicas implementadas en el modelo de gestión de mantenimiento que se aplica a las centrales de generación hidráulica de CELSIA. Dado los cambios constantes en el entorno, es necesario ajustar las metodologías e implementar buenas prácticas de mantenimiento basados en el referenciamiento con otras organizaciones, los aportes teóricos de diversos autores y sobre todo el Know-How desarrollado por el equipo de trabajo interno de la organización que expande sus escenarios de intervención y gana experiencia constantemente convirtiéndose en “fuentes vivas” de conocimiento valioso sobre los activos.

Los cambios tecnológicos y las nuevas tendencias han permitido desarrollar estrategias para digitalizar la gestión de mantenimiento y aprovechar al máximo los datos capturados de la operación y mantenimiento de las unidades de generación, para tomar decisiones basados en analítica de datos y poder obtener información relevante sobre el comportamiento de los activos.

Los datos son capturados mediante herramientas de Business Intelligence (BI), aplicaciones y diferentes software con las cuales se ha mejorado la oportunidad en el procesamiento de los datos y ha permitido la toma de decisiones para priorizar por ejemplo, los mantenimientos mayores basados en la condición de los activos para mejorar así la confiabilidad de los procesos, simplificar la forma de presentar los datos para que generen información de valor y permitan optimizar costos, tiempos de ejecución y mitigar los riesgos basados en el análisis de estadísticas de falla, intervenciones de mantenimiento y ejecución de los planes de mantenimiento rutinario, además de determinar puntos críticos que son necesarios reforzar a través de la gestión de conocimiento. Este trabajo mostrará los beneficios de digitalizar la gestión de mantenimiento en las centrales de generación hidráulica de CELSIA.

Introducción

El proceso de mantenimiento comprende la gestión de los activos del negocio de generación hidráulica, mediante la aplicación de

estrategias, metodologías y planes de acción que permitan alcanzar los objetivos y estar alineados con las metas de la organización. También se consideran las actualizaciones y reposiciones de activos del proceso de generación hidráulica y eólica.

El objetivo del proceso de mantenimiento es gestionar los activos para garantizar su confiabilidad, disponibilidad, eficacia y operación segura durante su ciclo de vida, de acuerdo con lo definido en la política de gestión de activos, el Plan Estratégico de Gestión de Activos PEGA y los lineamientos regulatorios.

La gestión de mantenimiento se articula con las políticas establecidas en la organización, los requerimientos de las áreas habilitadoras, con lo establecido en el programa de Seguridad y Salud en el Trabajo y la gestión socioambiental.

Gestión de Mantenimiento

La gestión de mantenimiento incluye todas las actividades enfocadas en asegurar que los activos se mantengan en buen estado y funcionen correctamente. Además de mantener un nivel de producción eficiente, el mantenimiento permite prevenir posibles accidentes laborales, en vista de que un funcionamiento deficiente o una instalación inadecuada pueden causar fallos significativos. Por lo tanto, hay varios tipos de mantenimiento que son clasificados para permitir una gestión más estratégica y efectiva, contribuyendo a la seguridad, eficiencia y optimización de los costos operacionales. En la Figura 1 se presentan las categorías definidas en Generación Hidráulica de CELSIA para la organización del mantenimiento. Es importante resaltar que en la literatura existen diversas clasificaciones del mantenimiento, por lo cual

es importante adaptar los modelos al contexto de cada organización.



Figura 1. Categorías del mantenimiento.

El Mantenimiento Programado implica planificar y programar actividades de mantenimiento de manera regular y anticipada para asegurar que los activos sigan funcionando correctamente. Dentro del Mantenimiento Programado se encuentra el mantenimiento predeterminado (frecuencia fija en el tiempo), basado en condición (frecuencia variable, según el estado del activo) y correctivo programado (intervención tras la detección de una falla potencial). El Mantenimiento No Programado obedece exclusivamente a la atención de correctivos tras la ocurrencia de fallas funcionales (parciales o totales) en los activos. Adicionalmente, se tienen 2 categorías que son el Mantenimiento Proactivo (aplicación de metodologías de mantenimiento) y el Mantenimiento Prescriptivo (aplicación de analítica de datos para el entendimiento y la

determinación de las intervenciones más adecuadas para cada activo).

El modelo de gestión de mantenimiento en Generación Hidráulica en CELSIA se basa en el reconocido ciclo PHVA de la calidad de Deming, el cual ha sido adaptado de acuerdo con la dinámica de las operaciones en las centrales de generación y las metodologías y estrategias que han brindado buenos resultados y por lo cual se han establecido como estándares. En la Figura 2 se presenta de manera simplificada la metodología PHVA aplicada en Generación Hidráulica y los aspectos más relevantes dentro de cada fase.



Figura 2. Metodología PHVA aplicada al mantenimiento.

La Figura 3 presenta una secuencia más detallada del ciclo PHVA que se aplica para la gestión de los mantenimientos mayores en las centrales de generación hidráulica. En este caso se presenta como ejemplo el esquema para los mantenimientos mayores, entendiéndose que

existe también un ciclo definido para los mantenimientos rutinarios.



Figura 3. Actividades clave del Ciclo PHVA de mantenimiento.

Adicionalmente para una mayor claridad y organización, se han definido dos líneas de especialidad en el mantenimiento, Los mantenimientos mayores y los mantenimientos rutinarios. Los mantenimientos mayores son aquellos que no tienen una periodicidad definida en la herramienta de gestión de mantenimiento (SAP), es decir que no obedecen a planes de mantenimiento con una frecuencia preestablecida, sino que se evalúa la condición y el ciclo de vida de los activos y se determina cuándo y qué actividades de mantenimiento deben realizarse, entendiéndose que no siempre se trata del mismo “paquete” de actividades. Los mantenimientos mayores están relacionados principalmente con la actualización, reposición y reparación de los activos críticos ligados a la cadena de producción de energía, los cuales son los que



usualmente generan indisponibilidad de la generación en caso de presentar alguna falla. Normalmente los mantenimientos asociados a los activos críticos de las centrales hidráulicas se gestionan haciendo uso de órdenes de inversión (ZM06) en SAP, ya que se requiere de asignación presupuestal de CAPEX. Los mantenimientos rutinarios se realizan a los equipos auxiliares los cuales cumplen con funciones de apoyo al proceso principal de producción de energía. Estos activos están incluidos en la herramienta de gestión de mantenimiento (SAP) y su intervención obedece a una frecuencia previamente establecida en el sistema. Los equipos auxiliares normalmente se encuentran operando en esquemas de redundancia por lo cual su intervención o falla normalmente no afecta la producción de energía en las centrales de generación. Desde SAP se gestionan de manera programada las órdenes de mantenimiento de tipo predictivo (ZM03), preventivo (ZM02) y de calibración (ZM05), aunque también es posible generar órdenes por fuera del plan de mantenimiento.

Buenas prácticas de operación mantenimiento – Ciclo PHVA

En cada una de las fases del Ciclo PHVA de mantenimiento se ha logrado la identificación de estándares fundamentales que se integran para la realización confiable de las actividades de mantenimiento. Cada ítem que se presenta es el resultado de años de experiencia de los miembros del equipo de O&M de las centrales hidráulicas, quienes mantienen el enfoque en la mejora continua y cuyo sentido de pertenencia ha permitido llegar a estándares rigurosos en el mantenimiento. A continuación se presentan los aspectos más relevantes dentro de las fases del ciclo PHVA:

a. Planear y Programar

- **Alcance mediante EDT y objetivos tipo SMART:** tener clara la visión, la estrategia y los objetivos para el desarrollo del mantenimiento, identificando y priorizando las actividades críticas para cumplir las metas propuestas.
- Hacer una planeación y programación detallada del mantenimiento antes de su ejecución, considerando aspectos técnicos, logísticos, de talento humano, SST y socioambientales.
- Seleccionar a los miembros más adecuados para el desarrollo de las actividades de mantenimiento.
- **Planeación y programación por frentes de trabajo:** contar con responsables de los frentes de trabajo, con la autoridad y la capacidad para liderar el mantenimiento, empoderando así mismo a todos los participantes en sus roles, con el objetivo de alcanzar el éxito.
- **Reunión de inicio del mantenimiento:** socializar el mantenimiento oportunamente con el fin de que cada participante tenga claridad de las responsabilidades asignadas y de las actividades en las que debe intervenir.

b. Hacer

- **Reunión diaria de mantenimiento:** antes de iniciar el mantenimiento se repasa la información relacionada con los objetivos, alcance, logística, cronogramas, responsabilidades, entre otros aspectos.
- **Seguimiento al cronograma de mantenimiento:** realizar seguimiento diario de las actividades programadas con el fin de validar su cumplimiento y las desviaciones e implementar estrategias que permitan cerrar las brechas.



- Realizar presencia en campo para identificar de primera mano los aspectos de mejora del mantenimiento y participar de la toma de decisiones.
- **Informe de mantenimiento:** documentar detalladamente los mantenimientos para que la información sirva de guía en futuras intervenciones. Detallar hechos y datos relevantes.
- Comunicar oportunamente las novedades del mantenimiento con los líderes encargados.

c. Verificar

- Reflexionar desde el éxito.
- **Presentación de mantenimiento:** socializar las actividades desarrolladas durante mantenimiento, con el fin de que todos los participantes conozcan los logros de los diferentes frentes de trabajo y se cree un ambiente de comunicación para compartir las experiencias.
- **Reunión de evaluación de mantenimiento:** analizar en conjunto las actividades de mantenimiento para identificar oportunidades de mejora.
- Valorar la experiencia, aprender y fortalecerse con la intervención de cada participante del mantenimiento.
- Confiar en las capacidades de los participantes del mantenimiento.

d. Actuar

- Verificar el cumplimiento de los planes de acción anteriores.
- **Plan de acción:** establecer estrategias que permitan perfeccionar la ejecución de las actividades de mantenimiento, basados en un análisis riguroso de las brechas identificadas.

- **Encuesta de mantenimiento:** socializar los resultados de la encuesta de mantenimiento e identificar aspectos que deban ser incluidos en un nuevo plan de acción.
- Asegurar el cumplimiento de las tareas plasmadas en el plan de acción con el fin de garantizar la mejora continua del proceso de mantenimiento.

Digitalización del mantenimiento

El proceso de digitalización del mantenimiento ha sido fundamental para dar el siguiente paso en la gestión del mantenimiento, pues esto ha permitido optimizar procesos mediante flujos de trabajo digitales y automatizados, haciendo uso de software, plataformas web y aplicaciones. La digitalización ha permitido hacer el proceso de mantenimiento más confiable pues se tienen datos en tiempo real o con actualizaciones más recurrentes, además de que se custodia digitalmente y se hacen respaldos en los servidores.

Otro beneficio ha sido la integración de diversas fuentes de información en una misma interfaz. La información más confiable a su vez permite la toma de decisiones oportunas, el análisis más riguroso de los datos, se genera cultura de la información, se reduce el uso de formatos físicos, se accede a información de manera remota, se fomenta la agilidad en la gestión y se reducen los tiempos en tareas repetitivas, tiempo que se emplea más eficientemente en análisis y toma de decisiones con datos confiables. En la Figura 4 se comparte la ruta metodológica seguida para la digitalización del mantenimiento, ruta que se ha ajustado de acuerdo con las necesidades de cada iniciativa y a la mejora continua producto de la evaluación rigurosa y al Know-How de los equipos de trabajo.

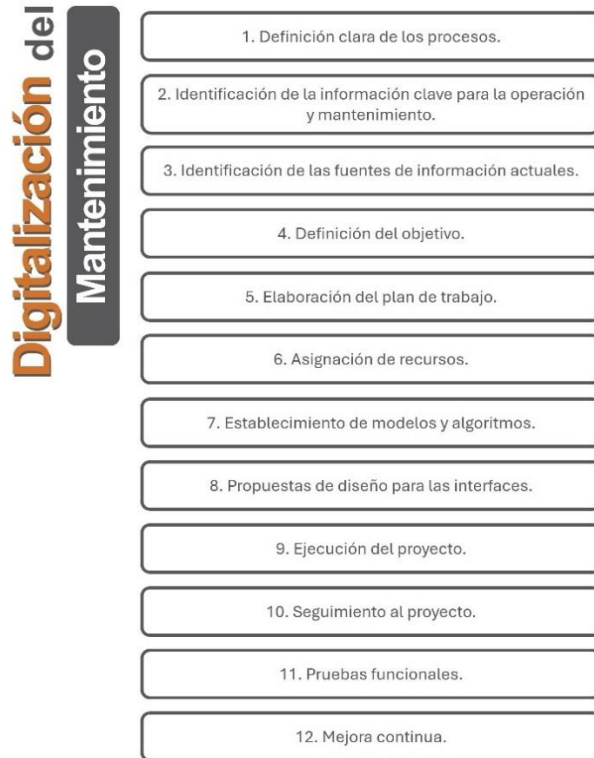


Figura 4. Etapas sugeridas para la digitalización del mantenimiento.

1. **Definición clara de los procesos:** el entendimiento de los procesos y las fases que los componen, son el punto de partida para identificar las brechas y necesidades en cuanto a digitalización del mantenimiento. Los miembros seleccionados para el desarrollo de estos proyectos deben conocer a profundidad los procesos para facilitar la integración entre los diferentes equipos de trabajo y que se de un flujo de información adecuado.
2. **Identificación de la información clave para la operación y el mantenimiento:** revisar entre toda la información que se gestiona, ¿cuál es la más relevante para el proceso? ¿Qué información es fundamental que se gestione en softwares, aplicaciones,

desarrollos web, entre otros? ¿Cuáles son los KPI más importantes? ¿cuál es la información que se puede centralizar ya que es objeto de revisión interna o por entes externos a la organización?

3. **Identificación de las fuentes de información actuales:** ¿Dónde está almacenada la información que se requiere digitalizar? ¿Existe ya en archivos digitales, aplicaciones o documentos físicos? Es importante definir los campos específicos que se requieren digitalizar. El proceso de digitalización también permite darse cuenta de duplicidad de información o de datos que ya no son necesarios en los procesos.
4. **Definición del objetivo:** ¿Qué se quiere lograr?
5. **Elaboración del plan de trabajo:** estructurar un documento con las necesidades del proyecto, aspectos fundamentales para la extracción de datos, propuesta inicial de interfaces, datos relevantes, criterios para los cálculos y reglas en las interfaces.
6. **Asignación de recursos:** presentar la iniciativa, costos, tiempos, alcance y beneficios proyectados para justificar la asignación de presupuesto. Se sugiere que la propuesta se ejecute de la mano con el equipo de TI de la organización que puede brindar mayor detalle y “aterrizar” las actividades planteadas.
7. **Establecimiento de modelos y algoritmos:** definir la estructura para el cálculo principalmente de indicadores, el comportamiento detallado y las reglas de todos los campos que se requieran.
8. **Propuestas de diseño para las interfaces:** presentar diseños de cómo se van a

estructurar las interfaces y cómo deberían comportarse los sistemas.

9. **Ejecución del proyecto:** definir los ‘Sprints’ es fundamental para trazarse metas de corto plazo que se ejecuten y se validen en periodos de tiempo definidos. Esto permite centrar el enfoque en temas específicos y lograr un mayor éxito en el proyecto.

10. **Seguimiento al proyecto:** definir desde el inicio cómo será el seguimiento. La experiencia ha demostrado que fijar uno o varios días a la semana (Según se requiera), reta al equipo a alcanzar los objetivos establecidos y mostrar resultados periódicamente.

11. **Pruebas funcionales:** definir en el equipo los encargados de realizar las pruebas funcionales, estos deben conocer profundamente los procesos y generalmente serán quienes también hayan participado en el establecimiento de los modelos, algoritmos e interfaces. Es importante que se planee una ruta de verificación y las validaciones se hagan paso por paso llevando registro de cada caso.

12. **Mejora continua:** cada nueva fase de implementaciones debe buscar mejorar los desarrollos ya realizados, implementar otras mejoras e integrar nueva información valiosa para el proceso.

En las figuras 5 y 6 se comparte la línea de tiempo desde 2020 hasta 2024 de lo que ha sido una parte fundamental en el proceso de digitalización del mantenimiento en el Equipo de Generación Hidráulica de CELSIA.

Línea de tiempo

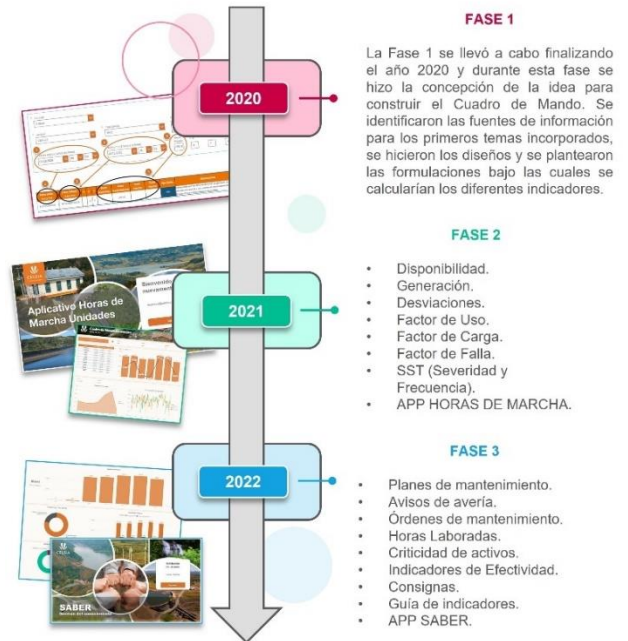


Figura 5. Línea de tiempo (2020 - 2022)

Línea de tiempo

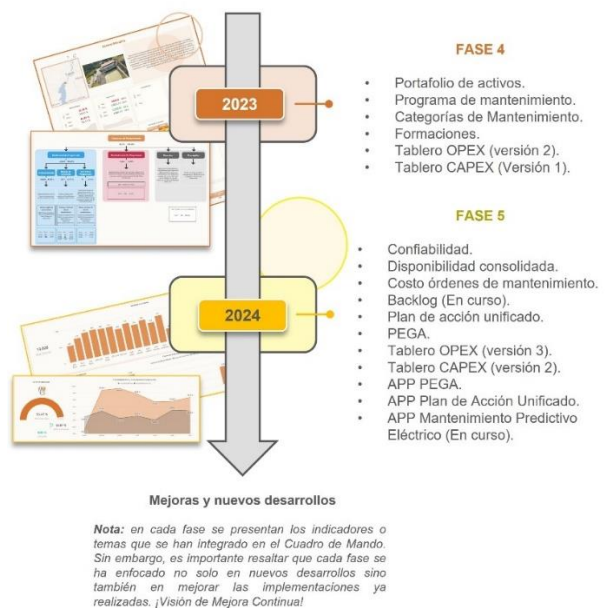


Figura 6. Línea de tiempo (2023 - 2024).

Como resultado, se ha logrado tener una interfaz en la cual converge información valiosa de distintas fuentes, lo cual favorece la toma de decisiones oportunas, el seguimiento a los KPI, la presentación de informes y la preparación de reuniones directivas, además de que permite tener datos más confiables acerca de los principales indicadores, la gestión de mantenimiento, los procesos transversales como SST, los datos operativos de las unidades de generación y hacer seguimiento a las actividades y compromisos de los diferentes equipos de trabajo. En la Figura 7 se presenta la interfaz del Cuadro de Mando de Generación Hidráulica.



Figura 7. Cuadro de Mando Generación Hidráulica.

- **Portafolio de activos:** información centralizada de las características técnicas de las centrales de generación.
- **Disponibilidad:** indicador que presenta el porcentaje que las unidades de generación

están en condiciones actas para prestar el servicio de generación. La información se obtiene desde una Power App desarrollada (HORAS DE MARCHA) para reducir el uso de formatos de Excel. La aplicación es alimentada por el personal operativo en planta y permite tener registros actualizados del estado de las unidades de generación y de los tiempos muertos debido a fallas, mantenimientos programados, eventos externos o paradas por bajos aportes hidrológicos.

- **Confiabilidad:** El indicador se calcula con la información reportada en la Power App HORAS DE MARCHA.
- **Generación:** en este apartado se tiene conexión con el DATA LAKE donde se encuentran los datos de los contadores de las fronteras declaradas.
- **Desviaciones:** desviaciones de generación de las centrales mayores.
- **SST:** conexión con tablero Power BI para obtener los datos de accidentalidad de frecuencia y severidad.
- **Programa de Mantenimientos mayores:** se alimenta desde SharePoint para presentar en este apartado, el programa de mantenimientos mayores que se ejecuta cada año en las centrales de generación hidráulica.
- **Gestión de mantenimiento SAP:** en este apartado se tiene conexión con el DATA LAKE donde se encuentran los datos del software de mantenimiento. En este bloque se tiene información de los planes de mantenimiento, órdenes de trabajo, avisos de avería, costos de las OT, Backlog, MTBF, MTTR, frecuencias de fallas, entre otros temas relevantes.



- **Factor de uso:** indicador que presenta el porcentaje del tiempo en que las unidades de generación están operativas. El indicador se calcula con la información reportada en la Power App HORAS DE MARCHA.
- **Factor de carga:** indicador que presenta el porcentaje de carga promedio al que generan las máquinas. El indicador se calcula con la información reportada en la Power App HORAS DE MARCHA y los registros de generación.
- **Rondas operativas:** iniciativa en curso. Permitirá eliminar los formatos físicos y en Excel que se manejen aun para migrar al uso de una aplicación que permita capturar datos operativos de las unidades de generación.
- **PEGA:** se presenta la información de los proyectos estratégicos del equipo de Generación Hidráulica. La información se capta desde la POWER APP PEGA donde se hace seguimiento a los proyectos, desde su fase de especificaciones hasta la implementación y cierre.
- **Plan de acción unificado:** este apartado recoge todas las tareas que han sido producto de evaluaciones de mantenimiento, RCM, ACR, inspecciones en campo, etc. La información se obtiene de la POWER APP de PLANES DE ACCIÓN donde se hace seguimiento a las tareas de los diferentes equipos de trabajo.
- **Consignas:** se alimenta desde SharePoint para centralizar en este apartado, todas las consignas operativas definidas en cada una de las centrales de generación hidráulica.
- **SABER:** en este apartado se lleva historial de las capacitaciones, temas, asistentes y

facilitadores de las diferentes formaciones que se realizan. La información se toma de la aplicación SABER que hace parte de la estrategia de gestión de conocimiento (SABER: Simplificación – Audiovisuales – Big data – Entrenamiento – Registro).

- **Esquema de disponibilidad:** turnos de disponibilidad del personal operativo.
- **NOVASEC:** sistemas de gestión de la organización. Este apartado se conecta con la plataforma NOVASEC para extraer las tareas de los ejercicios de auditoría principalmente.

Optimizaciones

Gracias al proceso de digitalización del mantenimiento se ha logrado optimizar 5.220 horas de trabajo aproximadamente. La realización de actividades manuales y repetitivas tomaba alrededor de 5.952 horas de dedicación, pero tras la digitalización de diferentes indicadores, informes y desarrollos para la captura de datos, hoy se invierten 732 horas anuales en esos mismos procesos. El tiempo optimizado en estas tareas se dedica al análisis de datos y a la definición de estrategias oportunas que permitan asegurar la confiabilidad de los procesos y la continuidad de las operaciones. En la Tabla 1 se presenta de manera resumida la estimación en horas que se ha logrado optimizar tras la digitalización de información relacionada con la operación y mantenimiento de las centrales de generación hidráulica.



Tabla 1. Optimización en horas dedicadas actividades en los procesos de O&M.

Actividad	Horas año totales	Horas dedicadas actualmente (año)	Reducción total en horas (año)
Indicador de Disponibilidad	384	48	336
Informe mensual para seguimiento operativo	768	0	768
Informe mensual de equipos auxiliares (planes de mantenimiento, órdenes de mantenimiento, avisos, horas laboradas)	288	240	48
Informe anual de evaluación de equipos auxiliares (planes de mantenimiento, órdenes de mantenimiento, avisos, horas laboradas)	1.536	0	1.536
Consulta de información directamente en SAP y generación de reportes	1.920	240	1.680
Indicador de Confiabilidad	192	0	192
Informes para Comités (Comité Vicepresidencia, Comité Directivo, Destacados, Junta Directiva)	768	192	576
Indicador Factor de Uso	24	0	24
Indicador Factor de Carga	24	0	24
PEGA	48	12	36
	5.952	732	5.220

Desafíos de la digitalización

De acuerdo con la experiencia en el desarrollo de las iniciativas de digitalización, se resalta que los principales desafíos están relacionados con los siguientes aspectos:

- Información descentralizada.
- Toma de datos en formatos físicos.
- Actualización manual de los datos.
- Desestandarización en la gestión de la información.
- Calidad de los datos para la toma de decisiones.

Conclusiones

- La organización de los procesos permite un mayor entendimiento y comprensión de las fortalezas y brechas existentes.
- La digitalización del mantenimiento ofrece la oportunidad de optimizar recursos valiosos como el tiempo y el dinero en las organizaciones.
- Los procesos se enriquecen con el referenciamiento con otras organizaciones y los aportes teóricos de diversos autores, pero sobre todo con el Know-How desarrollado al interior de la compañía.

Bibliografía

- [1] Celsia Colombia S.A. E.S.P., “Metodología de gestión de mantenimiento”, Yumbo, versión 2024.
- [2] Celsia Colombia S.A. E.S.P., “Manual de Mantenimiento”, Yumbo, versión 2024.
- [3] L. Amendola, “Organización y Gestión del mantenimiento”, España, 2017, quinta edición.
- [4] R. Gulati, “Maintenance and Reliability Best Practices”, India, 2021, tercera edición.

Diego Fernando Bejarano: Ingeniero Industrial con más de 25 años de experiencia en gestión de operación y mantenimiento de centrales hidráulicas de generación. Rol actual: Líder de Gestión de Mantenimiento. Apasionado por la calidad, la estandarización de procesos, conocedor y auditor de los sistemas de gestión.

Danny Stiven Ramirez: Ingeniero Electricista con 10 años de experiencia en la gestión de operación y mantenimiento de centrales hidráulicas de generación. Rol actual: Líder de Confiabilidad de Activos.