

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Mecánica



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Gestión de Mantenimiento utilizando PowerApps para mejorar la Confiabilidad de Datos de Fallas de Equipos en una Unidad Minera de Estaño

Para obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecánico

Elaborado por

José Antonio Huamaní de la Cruz

 [0009-0001-6181-9947](https://orcid.org/0009-0001-6181-9947)

Asesor

Dr. Ricardo Raúl Rodríguez Bustinza

 [0000-0002-6411-7123](https://orcid.org/0000-0002-6411-7123)

LIMA – PERÚ

2024

Citar/How to cite	Huamaní de la Cruz [1]
Referencia/Reference	[1] J. Huamaní de la Cruz, “ <i>Gestión de Mantenimiento utilizando PowerApps para mejorar la Confiabilidad de Datos de Fallas de Equipos en una Unidad Minera de Estaño</i> ” [Trabajo de Suficiencia Profesional]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2024.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Huamaní, 2024)
Referencia/Reference	Huamaní, J. (2024). <i>Gestión de Mantenimiento utilizando PowerApps para mejorar la Confiabilidad de Datos de Fallas de Equipos en una Unidad Minera de Estaño</i> . [Trabajo de Suficiencia Profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres, Juan y Endina, por su apoyo incondicional, sabios consejos y su amor que me guía cada día. A Susy, mi compañera de vida, por estar siempre a mi lado, brindándome su compañía en cada paso de este camino.

Agradecimiento

Expreso mi más sincero agradecimiento al Dr. Ricardo Rodríguez, cuyo conocimiento y orientación fueron fundamentales para completar este trabajo.

A John Duque y Erasmo Callomamani, compañeros en Confipetrol, por compartir sus valiosas experiencias y perspectivas, enriqueciendo el desarrollo de esta investigación.

También agradezco a mis amigos, Diego Medina y Víctor Maza, quienes con su motivación constante me impulsaron a seguir adelante y culminar este proyecto.

Resumen

La presente investigación aborda la problemática del registro deficiente y no estandarizado de datos de mantenimiento en una unidad minera de estaño en el sur del Perú. La ausencia de un estándar para la recopilación de información dificulta la agilidad y precisión en el análisis de datos de falla, lo que genera una mayor dependencia de procesos manuales. Por ello, se propone la implementación de una aplicación de gestión de mantenimiento desarrollada mediante PowerApps, basada en la norma ISO 14224:2016, con el fin de mejorar la confiabilidad y el registro de datos de fallas de los equipos de una planta concentradora.

El objetivo principal es aplicar esta herramienta para optimizar la recolección y confiabilidad de los datos de falla. Para alcanzar este propósito, se plantean objetivos específicos, como la configuración de PowerApps para estandarizar el registro de datos de fallas y asegurar la uniformidad de la información, la automatización de la creación de órdenes de trabajo en el CMMS (*Computerized Maintenance Management System*) y la reducción significativa de los tiempos de respuesta en el proceso de generación de órdenes mediante la integración del flujo de datos entre la aplicación y el CMMS (SAP, *Systems Applications and Products in Data Processing*).

Con la digitalización de estos procesos, se espera reducir los tiempos de registro y minimizar los errores manuales, logrando una mayor confiabilidad de los datos y optimizando la eficiencia operativa en la planificación de mantenimiento.

Abstract

This research addresses the issue of deficient and non-standardized maintenance data recording in a tin mining unit in southern Peru. The absence of a standard for data collection compromises the agility and accuracy of failure data analysis, increasing the reliance on manual processes. For this reason, the implementation of a maintenance management application developed with PowerApps and based on the ISO 14224:2016 standard is proposed to improve the reliability and recording of failure data for the equipment in a concentrator plant.

The primary objective is to apply this tool to optimize the collection and reliability of failure data. To achieve this goal, specific objectives include configuring PowerApps to standardize the recording of failure data and ensure data uniformity, automating the creation of work orders in the CMMS (Computerized Maintenance Management System) and significantly reducing response times in work order generation through data flow integration between the application and the CMMS (SAP, Systems Applications and Products in Data Processing).

By digitalizing these processes, the aim is to reduce registration times and minimize manual errors, thereby achieving greater data reliability and optimizing operational efficiency in maintenance planning.

Índice

Resumen	v
Abstract	vi
INTRODUCCIÓN.....	xiii
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 Antecedentes investigativos.....	1
1.2 Descripción de la Realidad Problemática	2
1.3 Objetivos.....	5
1.3.1 Objetivo general.....	5
1.3.2 Objetivos específicos.....	6
1.3.3 Justificación e importancia de la investigación	6
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	8
2.1 Bases teóricas	8
2.1.1 Mantenimiento	8
2.1.2 Tipos de mantenimiento	8
2.1.2.1 Modificación y mejora	10
2.1.2.2 Identificación estructurada	10
2.1.2.3 Mantenimiento correctivo.....	11
2.1.2 Confiabilidad	12
2.1.3 Disponibilidad.....	12
2.1.3.1 Disponibilidad inherente.....	13
2.1.3.2 Disponibilidad operacional.....	13
2.1.4 Estructuración de datos de mantenimiento.....	16

2.1.4.1	Taxonomía de equipos	16
2.1.4.2	Tiempos de mantenimiento	17
2.1.4.3	Actividad de mantenimiento.....	19
2.1.4.4	Modos de falla.....	20
2.1.4.5	Ítem mantenible.....	20
2.2	Marco conceptual	21
CAPÍTULO III. DESARROLLO DEL TRABAJO.....		24
3.1	Descripción del proceso de la planta concentradora de estaño	24
3.2	Minería de datos.....	27
3.2.1	Recolección de datos	28
3.2.2	Preparación y limpieza de datos	29
3.2.3	Análisis exploratorio de datos	29
3.2.4	Modelado de minería de datos.....	31
3.2.5	Interpretación de resultados.....	33
3.3	Implementación de PowerApps en la gestión de mantenimiento	34
3.3.1	Arquitectura del aplicativo	35
3.3.2	Modelo de la base de datos	36
3.3.3	Diseño de la interfaz de usuario.....	39
3.3.4	Automatización de creación de órdenes de trabajo.....	45
3.3.4.1	Conexión entre SharePoint y MS Access	46
3.3.4.2	Consulta SQL para extracción de datos.....	48
3.3.4.3	Creación de órdenes con macros en Visual Basic.....	49

CAPÍTULO IV. RESULTADOS.....	56
4.1 Análisis de resultados	56
4.1.1 Pruebas de funcionamiento.....	56
4.1.2 Estandarización y creación de órdenes de trabajo.....	58
4.1.3 Reducción de tiempo en la creación de órdenes de trabajo	59
4.2 Discusión de resultados	60
4.2.1 Discusión de pruebas de funcionamiento	60
4.2.2 Beneficios en la planificación y eficiencia operativa	61
4.2.3 Evaluación comparativa con el proceso anterior	62
CONCLUSIONES.....	63
RECOMENDACIONES	64
REFERENCIAS	65
ANEXOS	67

Índice de Figuras

Figura 1 Flujograma de la creación de órdenes de trabajo	5
Figura 2 Categorías de mantenimiento según la ISO 14224	9
Figura 3 Categorías de mantenimiento según la SMRP	10
Figura 4 Organigrama de elementos de tiempo	15
Figura 5 Clasificación taxonómica por niveles.....	17
Figura 6 Tiempos de mantenimiento.....	19
Figura 7 Flujograma de proceso de chancado	24
Figura 8 Flujograma de proceso de molienda	25
Figura 9 Flujograma de proceso de flotación	26
Figura 10 Flujograma de proceso de espesamiento y filtrado	27
Figura 11 Proceso de minería de datos.....	28
Figura 12 Diagrama de Pareto de órdenes del área de chancado	30
Figura 13 Gráfico de barras - órdenes de trabajo faja CHP03.....	32
Figura 14 Gráfico de barras - órdenes de trabajo faja CHP03 por sistema.....	33
Figura 15 Entorno de Microsoft Power Apps	35
Figura 16 Diagrama de arquitectura de la aplicación.....	36
Figura 17 Relaciones de base de datos	39
Figura 18 Pantalla de edición de registro – Datos generales.....	41
Figura 19 Pantalla de edición de registro – Personal.....	41
Figura 20 Pantalla de edición de registro – Detalle.....	42
Figura 21 Secciones de pantalla de edición de aplicación.....	42

Figura 22 Controles de lista desplegable tipo dependiente – 1er filtro	43
Figura 23 Controles de lista desplegable tipo dependiente – 2do filtro	43
Figura 24 Controles de lista desplegable tipo dependiente – 3er filtro	43
Figura 25 Filtro de pantalla de visualización por fecha	44
Figura 26 Pantalla de visualización de registro	44
Figura 27 Pantalla de detalle de registro	45
Figura 28 Formulario de registro en MS Access	47
Figura 29 Consulta SQL para filtrado de registros por fecha	48
Figura 30 Plantilla de Excel - reporte de actividades diarias.....	51
Figura 31 Plantilla de Excel - macro de creación de órdenes en SAP.....	52
Figura 32 Código en VBA para de creación de órdenes en SAP	54
Figura 33 Exceso de registros en pantalla de visualización.....	57
Figura 34 Posibilidad de eliminación de registros	58
Figura 35 Comparativos en tiempo de generación de órdenes en SAP	59

Índice de Tablas

Tabla 1 Correctivos de chancadora cónica Sandvick CH440 en 2023.....	3
Tabla 2 Correctivos de chancadora de mandíbula 24X36A en 2023.....	3
Tabla 3 Tiempo de creación de órdenes de trabajo en el proceso actual	4
Tabla 4 Actividades de mantenimiento	19
Tabla 5 Detalle de componentes cambiados en faja CHP03.....	34
Tabla 6 Base de datos diseñada.....	38
Tabla 7 Tipo de orden y aviso en SAP por acción.....	50
Tabla 8 Test prueba 1 - Equipos de chancado terciario.....	56
Tabla 9 Test de pruebas de aplicativo	58
Tabla 10 Discusión de pruebas.....	61

INTRODUCCIÓN

En el sector minero, garantizar la continuidad operativa es un desafío constante debido a la naturaleza crítica de los equipos y la complejidad del proceso productivo. Cada parada no programada representa no solo una interrupción en la producción, sino un costo significativo afectando la producción de la compañía minera. En este contexto, el mantenimiento de los equipos se vuelve un factor fundamental para asegurar que las operaciones se mantengan dentro de los estándares requeridos.

Una de las principales dificultades que enfrentan las compañías mineras es la falta de un sistema estandarizado para el registro de datos de mantenimiento y fallas de equipos. En muchas operaciones, este proceso aún se realiza de manera manual, lo que genera información imprecisa, errores humanos y retrasos en la toma de decisiones. La falta de un enfoque estructurado y digitalizado para gestionar la información dificulta el análisis de datos históricos y la predicción de fallas, y esto a su vez, impacta en la disponibilidad de los equipos.

El presente trabajo, propone la implementación de una aplicación de gestión de mantenimiento desarrollada mediante PowerApps (suite de soluciones empresariales Microsoft Power Platform), basada en la norma ISO 14224:2016, que estandariza la recolección de datos de fallas de equipos en una planta concentradora de estaño en el sur del Perú. Esta investigación se alinea con las tendencias actuales de Industria 4.0, que promueven la digitalización y automatización de procesos, facilitando la recolección, análisis y reporte de información en tiempo real.

Adicionalmente, se busca automatizar la creación de órdenes de trabajo, reducir los tiempos de creación y optimizar la eficiencia operativa en la planificación de mantenimiento.

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes investigativos

Campos-López, O. et-al. (2019)¹, propusieron una metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) mejorada. Este enfoque se basa principalmente en la norma SAE JA1011 y JA1012, que establecen los principios y requisitos para la aplicación de la metodología RCM. Para facilitar su implementación, el estudio también consideró a la norma ISO 14224, la cual permitió mejorar y estandarizar la recopilación de datos, asegurando información de mayor calidad. Uno de los aspectos clave del estudio es la importancia de comprender el contexto operativo y aplicar una taxonomía adecuada de los equipos, lo que garantiza que el analista de mantenimiento tenga un conocimiento más profundo del activo antes de proceder con el análisis y la aplicación del RCM.¹

Ruiz, C. et-al (2021)², en su estudio sobre el monitoreo del proceso de mantenimiento de grupos electrógenos en una central termoeléctrica de la Región Loreto, Perú, se propuso a estimar los indicadores de gestión de mantenimiento antes y después de aplicar la norma ISO 14224. La investigación, se centró en comparar los indicadores de Disponibilidad y Confiabilidad antes y después de la implementación de la Norma ISO 14224. Los resultados mostraron una mejora significativa en ambos indicadores: la disponibilidad aumentó de un promedio de 63.45% a 79.57%, mientras que la confiabilidad pasó de un promedio de 71.08% a 86.02%. Este estudio es relevante para la presente investigación ya que demuestra la eficacia de la implementación de la

¹ Campos-López, O., Tolentino-Eslava, G., Toledo-Velázquez, M., & Tolentino-Eslava, R. (2019). Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos. *Científica*, 23(1), 51-59. <https://doi.org/10.46842/ipn.cien.v23n1a06>

norma ISO 14224 en la mejora de los procesos de mantenimiento y la confiabilidad de los equipos. ²

Abad, Yoni (2022)³, identificó que una parte fundamental del registro de órdenes de mantenimiento estaba realizándose de manera escrita, lo que afectaba a los tiempos de prestación de servicios en una industria de venta de equipos y maquinarias. El objetivo de esta investigación fue implementar una aplicación móvil para mejorar la gestión de mantenimiento, para ello utilizó tecnologías .net y servicios en la nube. Los resultados de esta implementación fue la reducción de tiempo de reparación, de 45 horas a 40 horas totales en promedio, eliminando tareas repetitivas y manuales en el proceso de gestión de mantenimiento.³

1.2 Descripción de la Realidad Problemática

En la unidad minera de estaño ubicada en el sur del país, el proceso de recolección y registro de datos de mantenimiento carece de un estándar formalizado, lo que genera problemas en la gestión de la información y, en consecuencia, afecta la confiabilidad de los datos. Estos problemas limitan la capacidad para analizar de manera efectiva los datos de falla de los equipos y complican la planificación y ejecución de las actividades de mantenimiento. A continuación, se detallan las principales causas que contribuyen a esta problemática:

Causa 1: Falta de estandarización en el registro de datos de fallas

La ausencia de un estándar en el registro de información provoca inconsistencias en los datos, lo cual impide obtener una visión clara y confiable del estado de los

² Ruiz y Yarita (2021). Monitoreo del proceso de mantenimiento de grupos electrógenos bajo la normativa ISO 14224, en una central termoeléctrica de la región Loreto. [Tesis profesional, Universidad Privada Antenor Orrego]. <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/7833>

³ Abad, Y. (2022). Implementación de una aplicación móvil para la gestión del mantenimiento en una empresa de venta de máquinas y equipos en Lima. [Tesis profesional, Universidad Tecnológica del Perú]. <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/6708>

equipos. Sin un formato uniforme, cada supervisor o técnico registra los datos de forma subjetiva, lo que dificulta la identificación de equipos y el análisis histórico de fallas. Por ejemplo, en los registros de la chancadora cónica marca Sandvik modelo CH440, ver Tabla 1, los nombres del equipo varían ampliamente.

Tabla 1 Correctivos de chancadora cónica Sandvik CH440 en 2023

Fecha	Equipo	Descripción de la tarea	Orden de trabajo
04/01/23	Chancadora sandvik	Cambio de pernos de sujeción en chute de alimento y ajuste de plancha pml80	6226153
06/01/23	Ch440	Tensado de correas de transmisión y cambio de pernos en frame	6226721
02/03/23	CH440	Inspección y prueba de equipo (se observó contaminación de aceite)	6241035
23/03/23	CH440	Cambio de guardamotor de sistema hydroset y contraeje	6247774
24/04/23	CH440	Reparar buje araña y brazos de soporte en topshell	6261229
05/05/23	CHANCADORA SANDVIK	Cambio de correas de transmisión y alineamiento de poleas, limpieza general de equipo	6266227
04/06/23	CH 440	Reparación de acople de hidroset	6281823
19/07/23	CH 440	Cambio de planchas acerradas en chute descarga, instalación de repisa	6298771

Fuente: Elaboración propia

De forma similar, se observa esta falta de estandarización en el registro de la chancadora de mandíbula marca Comesa modelo 24x36A, ver Tabla 2. Estas tablas ilustran la falta o ausencia de un estándar en la denominación de los equipos.

Tabla 2 Correctivos de chancadora de mandíbula 24X36A en 2023

Fecha	Equipo	Descripción de la tarea	Orden de trabajo
02/01/23	Chancadora 24X36 A	Cambio de pernos de anclaje	6225587
13/03/23	24 X 36 A	Desmontaje y reparación de chute "pantalón"	6214168
27/03/23	CHANCADOR 24X36A	Cambio de plancha de impacto en chute de alimentación	6249028
08/04/23	CHANCADORA 24X36	Regular presión de agua y cambio de 2 válvulas de 2"	6253305
13/05/23	CHANCADORA 24X36 A	Cambio de plancha de impacto en chute de descarga	6269597
10/06/23	24X36 A	Cambio de 2 pernos de fijación de muela fija	6283158
12/07/23	CHANCADORA 24X36A	Cambio pernos de fijación de muela móvil	6296400
08/08/23	CHANCADORA_24X36A	Retiro de 'inchancable' incrustado en forro fijo.	6308453

Fuente: Elaboración propia

Causa 2: Ineficiencia en la creación y gestión de órdenes de trabajo (OT)

La falta de automatización en el proceso de creación de órdenes de trabajo en el CMMS lleva a que el tiempo de creación de la orden sea elevado y que se generen errores manuales. El proceso actual requiere varias tareas manuales, como se muestra en la Tabla 3 y en el diagrama de flujo de la Figura 1, lo que afecta a la eficiencia de la planificación de mantenimiento. Este proceso implica distintos tiempos para cada tarea, sumando un total de 80 minutos en promedio para completar la creación diaria de órdenes de trabajo.

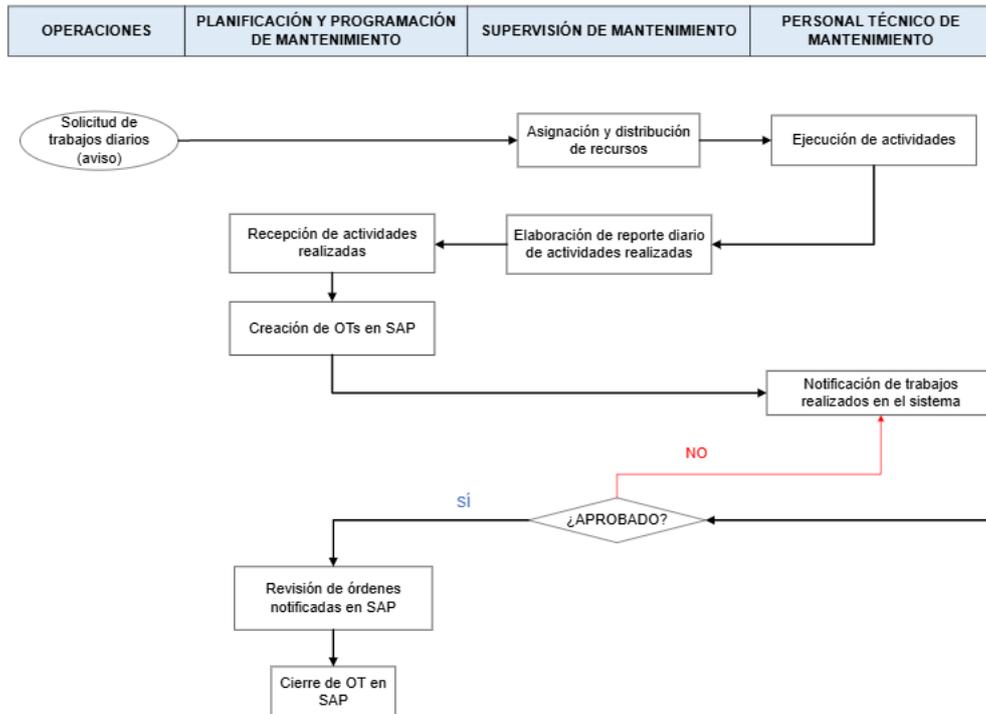
Tabla 3 Tiempo de creación de órdenes de trabajo en el proceso actual

Actividad	Responsable	Tiempo (min)
Elaboración del reporte diario de actividades correctivas	Supervisor	30
Elaboración del reporte diario de actividades recepcionadas por el supervisor	Planificador	20
Completar campos de Excel para ejecutar macro vinculada a SAP y crear órdenes de trabajo	Planificador	30
Total		80

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 1 se muestra el diagrama de flujo actual del proceso de creación de órdenes de trabajo, detallando cada paso desde la solicitud de trabajos diarios hasta el cierre de la OT en SAP. Este tiempo prolongado para la creación de las órdenes de trabajo refleja la necesidad de automatizar el proceso y optimizar el flujo de trabajo. La implementación de una herramienta como PowerApps permitiría reducir estos tiempos y minimizar los errores manuales, mejorando así la eficiencia en la planificación y ejecución de actividades de mantenimiento.

Figura 1 Flujograma de la creación de órdenes de trabajo



Fuente: Elaboración propia

Causa 3: Dificultad en la identificación y priorización de modos de falla

Debido a la falta de datos consistentes y confiables, es complicado realizar un análisis adecuado de los modos de falla. Esto impide la implementación de técnicas de mantenimiento proactivo, ya que no se cuenta con la información necesaria para identificar de manera efectiva los equipos más críticos y sus modos de falla recurrentes.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Aplicar la gestión de mantenimiento utilizando PowerApps, basada en la norma ISO 14224:2016, para mejorar la confiabilidad de datos de falla de equipos en una unidad minera de estaño.

1.3.2 Objetivos específicos

- a. Configurar la aplicación en PowerApps para estandarizar el proceso de recolección y registro de datos de fallas, asegurando la uniformidad y consistencia de la información conforme a la norma ISO 14224:2016.
- b. Automatizar la creación de órdenes de trabajo en el CMMS (SAP) de la unidad minera, utilizando datos estandarizados de fallas recopilados mediante la aplicación en PowerApps, con el fin de optimizar los tiempos de respuesta en la gestión de mantenimiento.
- c. Reducir significativamente el tiempo necesario para la creación de órdenes de trabajo a través de la automatización del flujo de datos entre la base de datos y el CMMS (SAP), mejorando la eficiencia operativa en la planificación de mantenimiento.

1.3.3 Justificación e importancia de la investigación

La presente investigación tiene como finalidad mejorar la gestión del mantenimiento en una unidad minera de estaño mediante la implementación de una aplicación elaborada con PowerApps y alineada con la norma ISO 14224:2016. La justificación de esta investigación radica en la necesidad de optimizar el registro de datos de fallas y la confiabilidad de los equipos en la planta concentradora, actualmente el registro de información se realiza de forma manual y sin estandarización, lo que genera retrasos, imprecisiones y dependencia de procesos manuales.

La demanda operativa de una planta concentradora de estaño es bastante exigente, donde la disponibilidad y confiabilidad de los equipos son importantes para asegurar la continuidad del proceso. Fallas no planificadas en equipos como chancadoras, molinos y celdas resultan en paradas no deseadas, afectando negativamente la producción, la seguridad y la calidad. Por lo tanto, la

optimización del proceso de mantenimiento mediante un sistema digitalizado que permita la recopilación, análisis y reporte inmediato de datos es crucial para mejorar la eficiencia operativa.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Bases teóricas

La digitalización de los sistemas industriales ha permitido una mayor precisión y eficiencia en la operación de las máquinas, especialmente en las últimas décadas, donde el monitoreo y análisis de datos se han convertido en prácticas fundamentales para garantizar la operación de los equipos. Esta tendencia ha dado un salto aún mayor con la llegada de la llamada Industria 4.0, un fenómeno caracterizado por la interconexión de dispositivos, la capacidad de análisis de grandes volúmenes de datos (*big data*), el Internet de las Cosas (IoT) y el uso de la inteligencia artificial. Estos avances han facilitado el desarrollo de tecnologías que anticipan posibles problemas antes de que ocurran, optimizando así la continuidad de las operaciones.

2.1.1 Mantenimiento

Según Gulati (2020), el mantenimiento se refiere a un conjunto de actividades técnicas, administrativas y de gestión realizadas a lo largo del ciclo de vida de un equipo para asegurar su funcionamiento confiable y eficiente, minimizando tiempos de inactividad no planificados y optimizando su disponibilidad operativa.

El mantenimiento es el proceso de preservar y restaurar equipos para que funcionen de manera confiable y eficiente, minimizando el tiempo de parada no programada mediante una adecuada planificación y programación de las actividades (Palmer, 2012).

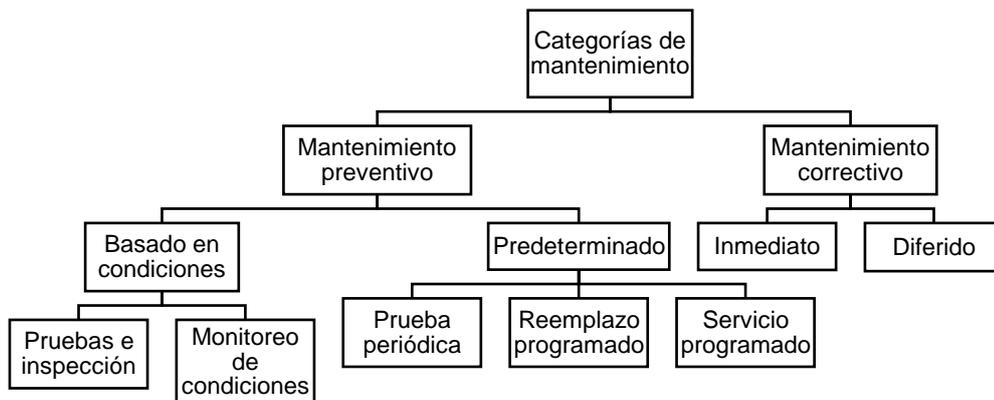
2.1.2 Tipos de mantenimiento

Según la norma ISO 14224:2016 clasifica el mantenimiento en dos categorías básicas, ver Figura 2:

- Las actividades que se emplean para corregir el activo después de la falla (mantenimiento correctivo).

- Las actividades que se emplean para prevenir un activo en estado de falla (mantenimiento preventivo), como parte de ellas se incluyen las pruebas e inspecciones para validar la condición y performance del equipo con el objetivo de definir si requiere un mantenimiento preventivo.

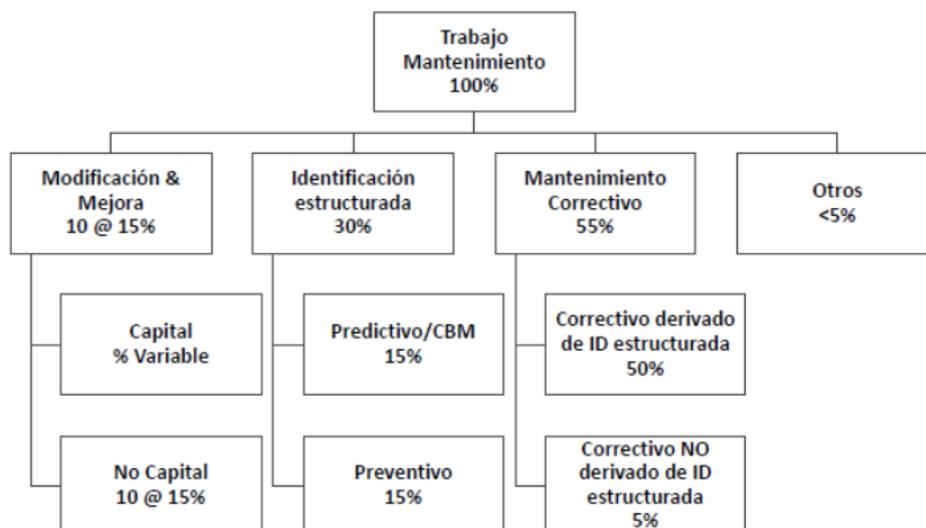
Figura 2 Categorías de mantenimiento según la ISO 14224



Fuente: Norma ISO 14224:2016

Según el Cuerpo del Conocimiento de la SMRP, el mantenimiento se clasifica en tres tipos de tareas principales: modificación y mejora, identificación estructurada y mantenimiento correctivo, ver Figura 3. Además, presenta cómo se distribuyen estas tareas en términos de horas totales en industrias de clase mundial, mostrando así los *benchmarks* que contradicen la idea de que un alto porcentaje de mantenimiento preventivo asegura una buena gestión de mantenimiento. De hecho, el mantenimiento correctivo programado, derivado de la identificación estructurada, representa alrededor del 50% de las actividades de mantenimiento.

Figura 3 Categorías de mantenimiento según la SMRP



Fuente: *Standard SMRP Best Practices Metrics 6th Edition*

A continuación, se detallan los tipos de mantenimiento definidos por la SMRP:

2.1.2.1 Modificación y mejora

De acuerdo con el SMRP (2020), el mantenimiento de mejora implica rediseñar o modificar las condiciones originales del equipo o instalación. Aunque es realizado por el equipo de mantenimiento, no se considera una tarea de mantenimiento tradicional, sino una actividad enfocada en aumentar la mantenibilidad de los equipos, lo que implica hacer que las tareas de mantenimiento sean más fáciles de realizar. El *benchmark* muestra que las mejores empresas dedican entre el 10% y 15% de las horas de mantenimiento a rediseñar componentes para reducir fallas y mejorar el rendimiento, además de buscar materiales con ventajas técnicas o económicas.

2.1.2.2 Identificación estructurada

- Mantenimiento predictivo:

El SMRP (2020) destaca que se basa en la predicción de la condición futura del equipo, utilizando datos históricos y parámetros operativos futuros para calcular la posible degradación de los equipos.

- Mantenimiento preventivo:

Este tipo de mantenimiento implica programar acciones en intervalos definidos, sin necesariamente evaluar cada detalle previo del equipo. El objetivo es básicamente adelantarse al desgaste, detectando posibles fallas antes de que ocurran y tratando de mantener el equipo operativo el mayor tiempo posible. En resumen, es realizar evaluaciones periódicas para evitar que los componentes fallen de manera sorpresiva y poder controlar su deterioro dentro de márgenes razonales. (SMRP, 2020)

2.1.2.3 Mantenimiento correctivo

- Correctivo derivado de identificación estructurada:

Este tipo de mantenimiento correctivo es el resultado de la identificación del deterioro a través de análisis predictivos. Permite programar la intervención antes de que ocurra una falla inesperada, lo que minimiza el impacto en la producción, la seguridad, el medio ambiente y la calidad. Estas intervenciones se planifican durante paradas programadas de producción, como las que se realizan semanalmente o durante tareas de mantenimiento más cortas. (SMRP, 2020)

- Correctivo derivado de identificación no estructurada:

También conocido como mantenimiento correctivo de emergencia, ocurre cuando una falla no es detectada y se produce de manera inesperada. Este tipo de intervención genera paradas imprevistas que impactan negativamente en el proceso productivo, la seguridad, el medio ambiente y la calidad. Estas fallas requieren atención inmediata para mitigar sus efectos. (SMRP, 2020)

2.1.2 Confiabilidad

La confiabilidad representa un indicador que evalúa la capacidad de un sistema para mantener su funcionalidad de manera continua y predecible. Implica una gestión proactiva que busca minimizar interrupciones y garantizar el rendimiento del equipo bajo condiciones operativas estándar. El concepto se orienta a prevenir fallas potenciales, asegurando la operatividad y reduciendo los tiempos muertos que pueden impactar significativamente la productividad. (Gulati, 2020).

2.1.3 Disponibilidad

Es la capacidad que posee un equipo o sistema de encontrarse operativo para su uso cuando se le requiere. Este indicador depende tanto de la confiabilidad del equipo como de la rapidez con la que se restaura su funcionalidad después de una falla, minimizando los tiempos de inactividad (Gulati, 2020). La disponibilidad es un indicador clave en la gestión de mantenimiento y es esencial para que los equipos críticos estén siempre listos para operar.

Existen diferentes tipos de disponibilidad que varían en función de los elementos que se consideran en su cálculo, lo que puede generar confusión en su interpretación. En este trabajo, se analizarán los tipos de disponibilidad más comunes: la disponibilidad inherente y la disponibilidad operacional, cada una con su fórmula y aplicaciones particulares. En particular, se empleará la fórmula de disponibilidad operacional según el enfoque del SMRP (*Society for Maintenance & Reliability Professionals*), que tiene en cuenta tanto el tiempo de operación efectivo como el tiempo de inactividad, proporcionando una visión más completa del desempeño del equipo en condiciones reales.

2.1.3.1 Disponibilidad inherente

Según Gulati, la disponibilidad inherente es la probabilidad de que un equipo se encuentre operativo en un momento dado, considerando únicamente el tiempo de inactividad no planificado (es decir, excluyendo el mantenimiento preventivo). Este tipo de disponibilidad es útil para evaluar el rendimiento del equipo en condiciones ideales, sin incluir factores externos o tiempos de inactividad planificados (Gulati, 2020).

La disponibilidad inherente puede ser cuantificada de la siguiente forma:

$$Disponibilidad_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Donde:

- MTBF: Tiempo medio entre fallas (*Mean Time Between Failures*), métrica que cuantifica el intervalo promedio entre ocurrencia de fallas.
- MTTR: Tiempo medio para reparar (*Mean Time To Repair*), representa el tiempo promedio necesario para reparar el equipo después de una falla.

2.1.3.2 Disponibilidad operacional

La disponibilidad operacional, por otro lado, ofrece una visión más realista y práctica del tiempo efectivo de operación del equipo, ya que considera tanto el tiempo de inactividad planificado como el no planificado. Este enfoque proporciona un indicador más completo del desempeño de un equipo en condiciones operativas normales y es el tipo de disponibilidad recomendado para guiar los procesos de decisión en la gestión de mantenimiento. (SMRP, 2020)

La fórmula para calcular la disponibilidad operacional es:

$$Disponibilidad_o = \frac{MTBM}{MTBM + MDT}$$

Donde:

- MTBM: Tiempo medio entre mantenimientos (Mean Time Between Maintenance), métrica que cuantifica el tiempo promedio transcurrido entre todas las intervenciones de mantenimiento, tanto preventivas como correctivas.
- MDT: Tiempo medio entre paradas (Mean Down Time), representa el tiempo promedio de inactividad, incluyendo tiempos de mantenimiento programado y no programado.

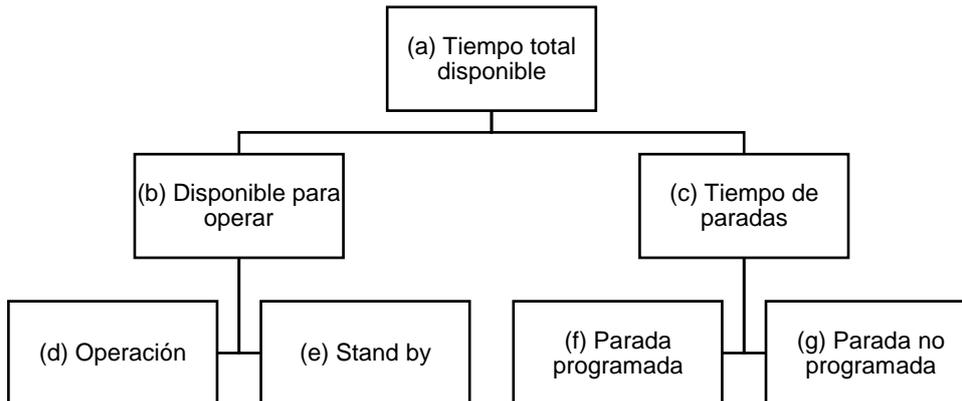
En la literatura, el libro *The Book of Knowledge ACT 6th Edition* del SMRP define la disponibilidad como el porcentaje de tiempo que un equipo efectivo de operación de un equipo en relación con el tiempo operativo programado, como se ilustra en la Figura 4. La fórmula de disponibilidad operacional se expresa como:

$$Disponibilidad_o = \frac{\text{tiempo operación}}{\text{tiempo total disponible} - \text{stand by}}$$

o bien,

$$Disponibilidad_o = \frac{\text{tiempo total disponible} - \text{tiempo de paradas} - \text{stand by}}{\text{tiempo total disponible} - \text{stand by}}$$

Figura 4 Organigrama de elementos de tiempo



Fuente: *Standard SMRP Best Practices Metrics 6th Edition*

Descripción de los elementos de tiempo:

- a) Tiempo total disponible: Es el tiempo total en el que un equipo podría estar operativo.
- b) Tiempo disponible para operar: Corresponde al tiempo total disponible descontando los períodos de paralización.
- c) Tiempo de paradas: Incluye todas las interrupciones en las que el equipo no está operativo.
- d) Tiempo de operación: Intervalo durante el cual el equipo ejecuta efectivamente su función productiva.
- e) Tiempo de stand by: Representa la capacidad pagada que no está en uso, es decir, cuando el equipo está en espera para operar. Esto suele deberse a factores externos al equipo, como una baja en la demanda de producción o tiempos administrativos que no requieren la operación del equipo en ese momento.

- f) Parada programada: Son las paradas planificadas para actividades como mantenimiento preventivo, inspecciones o reparaciones programadas.
- g) Parada no programada: Incluye las paradas inesperadas debido a fallas, averías u otros eventos imprevistos que impiden la operación normal del equipo.

En resumen, aunque la disponibilidad inherente es una medida útil para evaluar el rendimiento ideal del equipo excluyendo tiempos de inactividad programados, este trabajo empleará el enfoque de disponibilidad operacional según el SMRP, que incluye todos los aspectos del tiempo operativo. Esta medida proporciona una evaluación más precisa y relevante para la gestión de mantenimiento, al considerar la disponibilidad en un contexto operativo real.

2.1.4 Estructuración de datos de mantenimiento

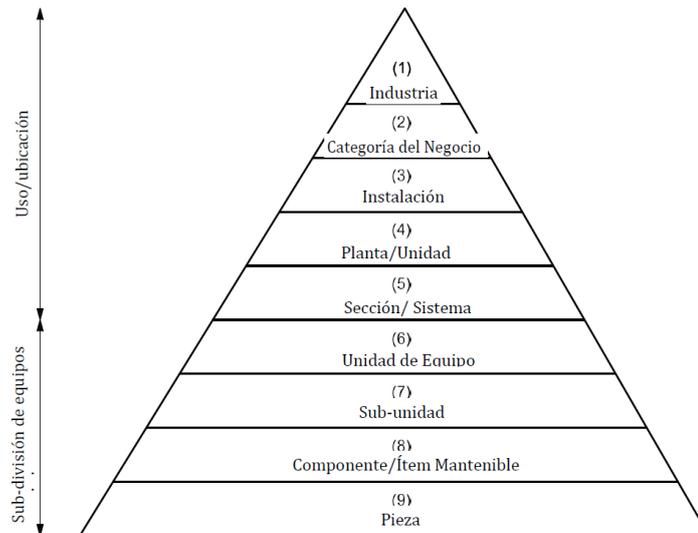
La norma ISO 14224:2016 se centra en la recolección y estructuración de datos de mantenimiento y confiabilidad, proporcionando un marco estandarizado que es esencial para diversas industrias, especialmente en el sector de petróleo, petroquímica y gas natural. Esta norma busca asegurar que la información recolectada sea suficiente y de calidad para soportar decisiones informadas sobre el mantenimiento y la gestión de activos.

2.1.4.1 Taxonomía de equipos

La ISO 14224:2016 define la taxonomía de equipos como un sistema de clasificación estructurado que organiza los equipos en jerarquías y categorías. Como se observa en la Figura 5, esta clasificación facilita la identificación de cada equipo y sus componentes de manera sistemática, lo que asegura la consistencia en el registro de fallas, intervenciones y resultados. En el contexto

del presente trabajo, la implementación de esta taxonomía en la planta concentradora de estaño permitirá seleccionar el equipo mediante PowerApps.

Figura 5 Clasificación taxonómica por niveles



Fuente: Norma ISO 14224:2016

2.1.4.2 Tiempos de mantenimiento

Los tiempos de mantenimiento según la norma ISO 14224:2016 se dividen en dos categorías principales:

- el tiempo de parada
- el tiempo activo de reparación.

(a) Tiempo de parada

El tiempo de parada se refiere al período durante el cual un equipo no está disponible para su operación debido a una falla o a la realización de actividades de mantenimiento. Este tiempo es crucial para evaluar la disponibilidad del equipo y su impacto en la producción. La norma enfatiza la importancia de registrar este tiempo para identificar patrones y causas recurrentes de fallas, lo que ayudara a mejorar las estrategias de mantenimiento.

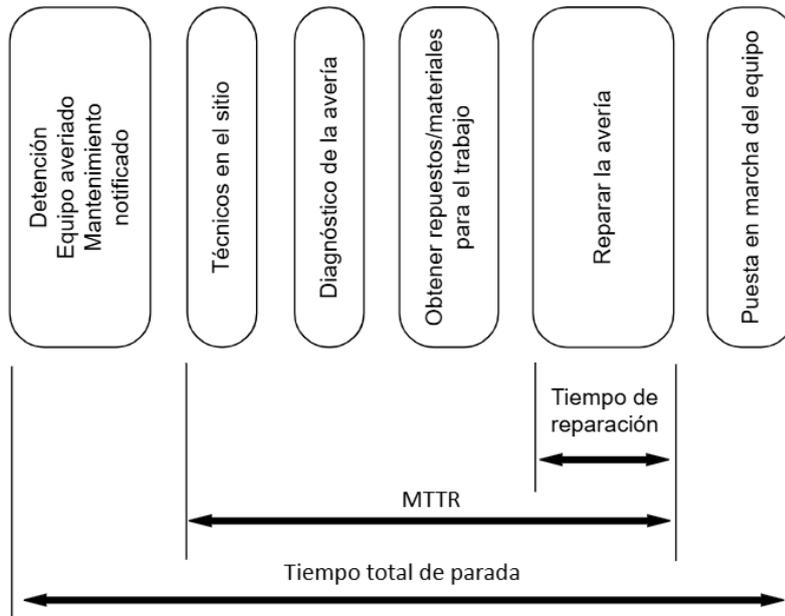
(b) Tiempo activo de reparación

Por otro lado, el tiempo activo de reparación es el período efectivo que se emplea en la ejecución de las actividades necesarias para restaurar un equipo a su estado operativo tras una falla. Este tiempo incluye todas las acciones realizadas desde que se inicia la reparación hasta que el equipo está nuevamente disponible para su uso. La norma también sugiere que este tiempo debe ser monitoreado y analizado para optimizar los procesos de mantenimiento y reducir costos operativos.

Para facilitar la diferenciación entre los tiempos de inactividad y los tiempos activos de reparación, se emplea la representación gráfica que se muestra en la Figura 6, la cual ofrece una visión detallada de las diversas etapas involucradas en cada uno de estos tiempos. Comparando esta representación del SMRP con la de la norma ISO 14224:2016, se aprecia un mayor nivel de desglose en las etapas del proceso de mantenimiento.

La figura divide los tiempos de inactividad en múltiples etapas, lo que permite una interpretación más precisa del flujo completo de mantenimiento. Por ejemplo, la etapa de "reparar la avería y prueba" coincide con lo que la ISO define como "tiempo activo de reparación", mientras que el "tiempo total de inactividad" corresponde al "tiempo de parada" en la ISO. Esta separación más detallada facilita una comprensión más clara de los tiempos asociados a cada fase del proceso de mantenimiento, como se puede observar en la Figura 6.

Figura 6 Tiempos de mantenimiento



Fuente: SMRP Best Practices 6th Edition, Maintenance and Reliability Body of Knowledge, p. 77 - 94

2.1.4.3 Actividad de mantenimiento

La ISO 14224:2016 establece “actividades de mantenimiento” que incluyen acciones técnicas realizadas con el objetivo de restaurar la funcionalidad de un equipo. La Tabla 4, detalla las 12 actividades principales que recomienda la norma.

Tabla 4 Actividades de mantenimiento

Item	Actividad	Descripción	Ejemplos
1	Reemplazar	Intercambio del componente por una unidad nueva o regenerada, manteniendo características originales.	Renovación de elemento mecánico con desgaste crítico.
2	Reparar	Intervención correctiva para devolver el elemento a su estado inicial de funcionamiento	Sellado, unión, reconstrucción, reacondicionamiento parcial

3	Modificar	Modificación del elemento mediante componentes con características técnicas diferentes	Actualización de sistemas, implementación de mejoras tecnológicas
4	Ajustar	Corrección de desviaciones respecto a parámetros de operación establecidos	Nivelación, reglaje, precisión dimensional
5	Reequipamiento	Preparación del elemento para garantizar condiciones operativas aceptables	Restauración superficial, mantenimiento preventivo menor
6	Revisión	Investigación de origen de la anomalía sin intervención inmediata	Diagnóstico preliminar, evaluación de sistemas críticos
7	Servicio	Acciones de mantenimiento rutinario sin desmontaje integral	Conservación, revisiones periódicas programadas
8	Prueba	Evaluación periódica de rendimiento y funcionalidad	Control de precisión, verificación de parámetros
9	Inspección	Revisión detallada con o sin desmontaje del componente	Análisis exhaustivo, inspección sistemática
10	Reacondicionamiento	Renovación integral con desmontaje completo	Restauración profunda, reacondicionamiento general
11	Combinación	Combinación de múltiples acciones de intervención	Intervención multifuncional
12	Otros	Actividades no clasificadas en categorías precedentes	Acciones específicas, protección adicional

Fuente: Norma ISO 14224:2016

2.1.4.4 Modos de falla

De acuerdo con la norma SAE JA1011, un modo de falla es un evento específico que provoca una falla potencial, que ocurre cuando el activo no desempeña plenamente conforme al estándar deseado, pero no necesariamente deja de funcionar (CMMS, s. f.). Por su parte, la norma ISO 14224:2016 lo describe como la forma en que se manifiesta una falla en un componente que ha fallado. En otras palabras, es la forma en que un sistema o componente no cumple con sus requisitos de funcionamiento.

2.1.4.5 Ítem mantenible

La norma ISO 14224:2016 define un ítem mantenible o componente como un conjunto de piezas o partes de un equipo que estén sujetas a mantenimiento, lo que implica su reparación o restauración para que vuelvan a cumplir con su función.

2.2 Marco conceptual

Gestión de Mantenimiento: Administración integral de acciones preventivas y correctivas dirigidas a sostener la operatividad de los equipos, disminuyendo la probabilidad de fallas y optimizando la asignación de recursos.

ISO 14224:2016: Norma que estandariza la recopilación y el análisis de datos de mantenimiento y confiabilidad.

SAE JA 1011: La norma SAE JA1011 establece los requisitos para implementar RCM (*Reliability-Centered Maintenance*).

RCM: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, es una estrategia que optimiza el mantenimiento identificando fallas potenciales, evaluando su impacto y definiendo acciones para garantizar la confiabilidad y eficiencia de los activos.

Confiabilidad: Medida que representa la probabilidad de un equipo de mantener su funcionalidad sin experimentar fallos en un intervalo específico.

Disponibilidad: Porcentaje de tiempo disponible de utilización de un equipo.

MTBF: Tiempo medio entre fallas, representa el tiempo promedio que transcurre entre fallas.

MTTR: Tiempo medio para reparar, representa el tiempo promedio necesario para reparar el equipo después de una falla.

MTBM: Tiempo medio entre mantenimientos, representa el tiempo promedio que transcurre entre todas las intervenciones de mantenimiento, tanto preventivas como correctivas.

MDT: Tiempo medio entre paradas, representa el tiempo promedio de inactividad, incluyendo tiempos de mantenimiento programado y no programado.

PowerApps: Plataforma de Microsoft que permite desarrollar aplicaciones personalizadas con programación de bajo código (*low code*).

Industria 4.0: Revolución tecnológica en la industria que integra tecnologías digitales, permitiendo la automatización y mejora continua de procesos a través de datos en tiempo real.

Benchmark: Referencias de mejores prácticas y rendimiento en el sector.

Modos de Falla: Formas específicas en que un equipo que no cumple con sus funciones requeridas, útil para identificar y prevenir causas recurrentes de fallos.

Ítem mantenible: Es cualquier componente, sistema o equipo que puede ser inspeccionado, reparado o restaurado a su condición operativa mediante actividades de mantenimiento planificadas o correctivas.

CMMS: Software que gestiona las tareas de mantenimiento en una organización.

SAP: Plataforma tecnológica empresarial que facilita la gestión integral de procesos organizacionales, abarcando áreas como recursos humanos, finanzas, producción y logística.

SQL: o *Structured Query Language*, es un lenguaje utilizado para gestionar y manipular datos en bases de datos relacionales, permitiendo realizar consultas y operaciones sobre los datos almacenados.

Taxonomía de Equipos: Clasificación estructurada de equipos que facilita el registro y análisis de datos de mantenimiento y confiabilidad, permitiendo un enfoque organizado para mejorar la gestión de fallas.

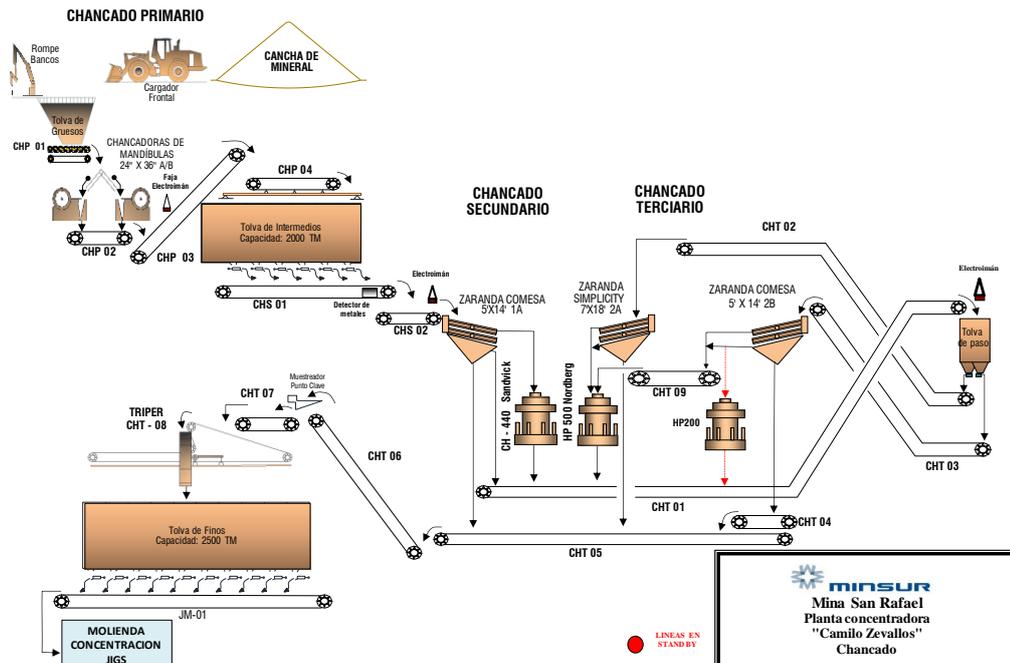
CAPÍTULO III. DESARROLLO DEL TRABAJO

3.1 Descripción del proceso de la planta concentradora de estaño

Una planta concentradora de estaño tiene como objetivo principal separar el mineral de estaño de los otros materiales presentes en la mena, a través de un proceso que incluye las etapas de chancado, molienda, concentración, espesamiento y filtrado.

Como se observa en la Figura 7, el proceso en la planta comienza con el chancado, que consiste en reducir el tamaño del mineral extraído de la mina. En esta etapa, se utilizan chancadoras para fragmentar las rocas, fajas transportadoras para mover el material, y zarandas para clasificarlo, asegurando que las partículas alcancen el tamaño adecuado. En caso de que el mineral no cumpla con el tamaño requerido, es reprocesado hasta alcanzar las dimensiones necesarias para continuar con las etapas posteriores.

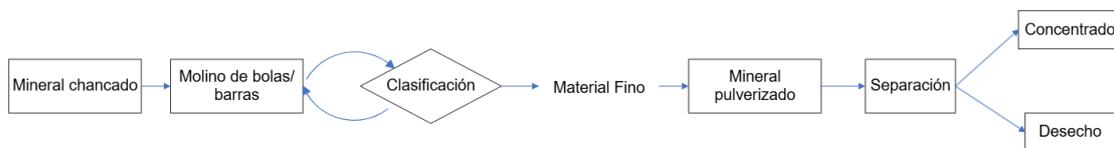
Figura 7 Flujoograma de proceso de chancado



Fuente: Elaboración personal MINSUR.

La molienda es la etapa siguiente, ver Figura 8, donde el mineral chancado se somete a una reducción de tamaño adicional mediante molinos (de bolas o de barras). En esta etapa, el objetivo es pulverizar el mineral hasta un tamaño muy fino para liberar el estaño que está presente en la roca. Este polvo fino será luego clasificado para separar el material valioso del desecho. Para una vista más detallada del proceso, se puede consultar en el Anexo 1.

Figura 8 Flujograma de proceso de molienda

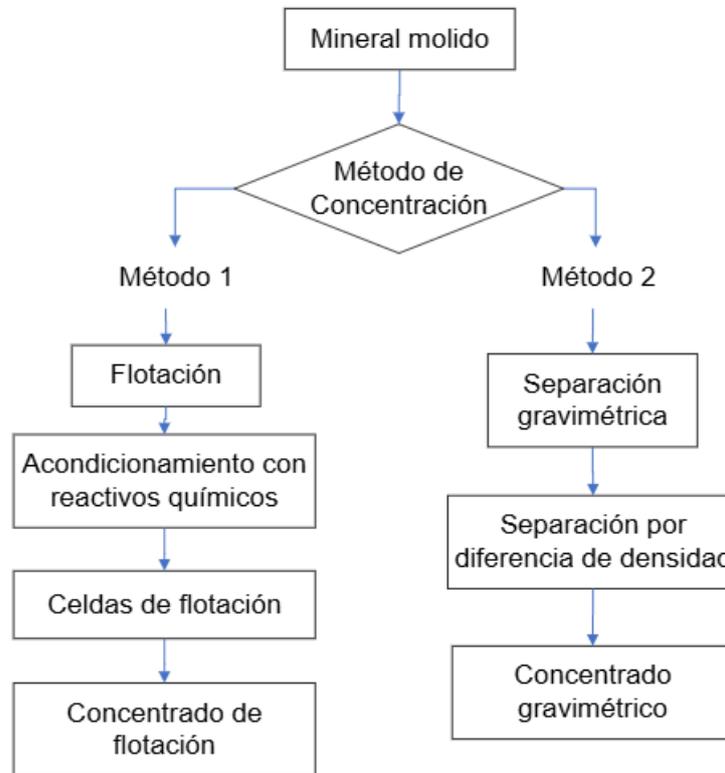


Fuente: Elaboración propia

La concentración es la etapa clave para separar el mineral de estaño de los otros minerales no deseados (gangas). En esta planta concentradora, este proceso incluye métodos como la flotación o separación gravimétrica (ver Figura 9), donde se utilizan productos químicos y agentes de flotación para hacer que el estaño flote a la superficie y se recolecte. Este concentrado contiene una alta proporción de estaño y se envía a etapas posteriores para su refinación.

El espesamiento es una etapa intermedia donde se reduce el contenido de agua del mineral concentrado. En esta etapa se utilizan espesadores, que son grandes tanques donde se deja que las partículas sólidas del mineral sedimenten en el fondo mientras que el agua se elimina. El producto resultante es un concentrado más denso que facilita el proceso de filtrado. Para una vista más detallada del proceso, se puede consultar en el Anexo 2 y 3.

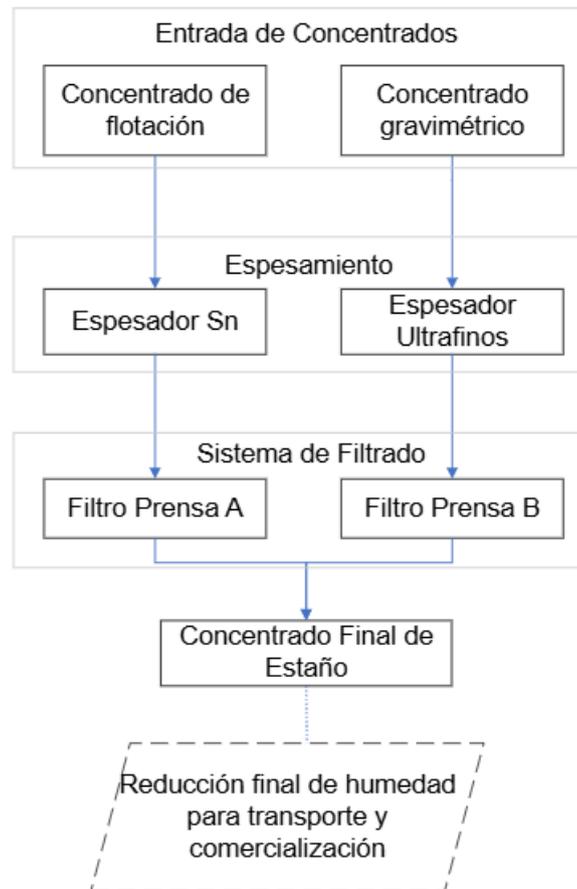
Figura 9 Flujograma de proceso de flotación



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en el proceso de filtrado, ver Figura 10, el concentrado que ya ha sido espesado se somete a filtros para remover el agua restante y obtener un material seco. Este material seco es el concentrado final de estaño, que está listo para ser enviado a las plantas de fundición o comercialización. El filtrado es crucial para minimizar el contenido de humedad en el concentrado, lo que facilita su manejo y transporte. Para una vista más detallada del proceso, se puede consultar en el Anexo 4.

Figura 10 Flujograma de proceso de espesamiento y filtrado



Fuente: Elaboración propia

3.2 Minería de datos

La minería de datos, también conocida como *data mining*, es un proceso asistido por computadora que permite analizar grandes volúmenes de datos y descubrir patrones o relaciones latentes. A través de esta técnica, las organizaciones pueden convertir datos en bruto en conocimientos prácticos, lo cual les ayuda a abordar problemas específicos, evaluar el impacto de decisiones futuras y optimizar su rentabilidad (Amazon Web Services, s.f.).

El propósito de aplicar minería de datos en este proyecto es mejorar la confiabilidad de los datos de fallas y el análisis para la toma de decisiones en la gestión de mantenimiento. Al identificar patrones y tendencias en los datos históricos, se facilita

la planificación de acciones preventivas, optimizando así la disponibilidad de los equipos y reduciendo los tiempos de inactividad. En la Figura 11, se presenta el proceso de minería de datos, que abarca desde la recolección y comprensión de los datos hasta su preparación, modelado y evaluación.

Figura 11 Proceso de minería de datos



Fuente: Amurta. (s.f.). *The art of data mining for turning data into insights*. Amurta.

Recuperado de <https://www.amurta.com/blogs/the-art-of-data-mining-for-turning-data-into-insights/>

3.2.1 Recolección de datos

En este proyecto, los datos se obtienen a partir de los reportes de fallas elaborados por el personal de mantenimiento, que incluye tanto a los supervisores como al personal técnico. Estos reportes registran las intervenciones correctivas realizadas durante el día, tanto programadas como no programadas. La información de fallas se ingresa directamente en la aplicación desarrollada en PowerApps, donde posteriormente es revisada y validada por el personal de planeamiento.

3.2.2 Preparación y limpieza de datos

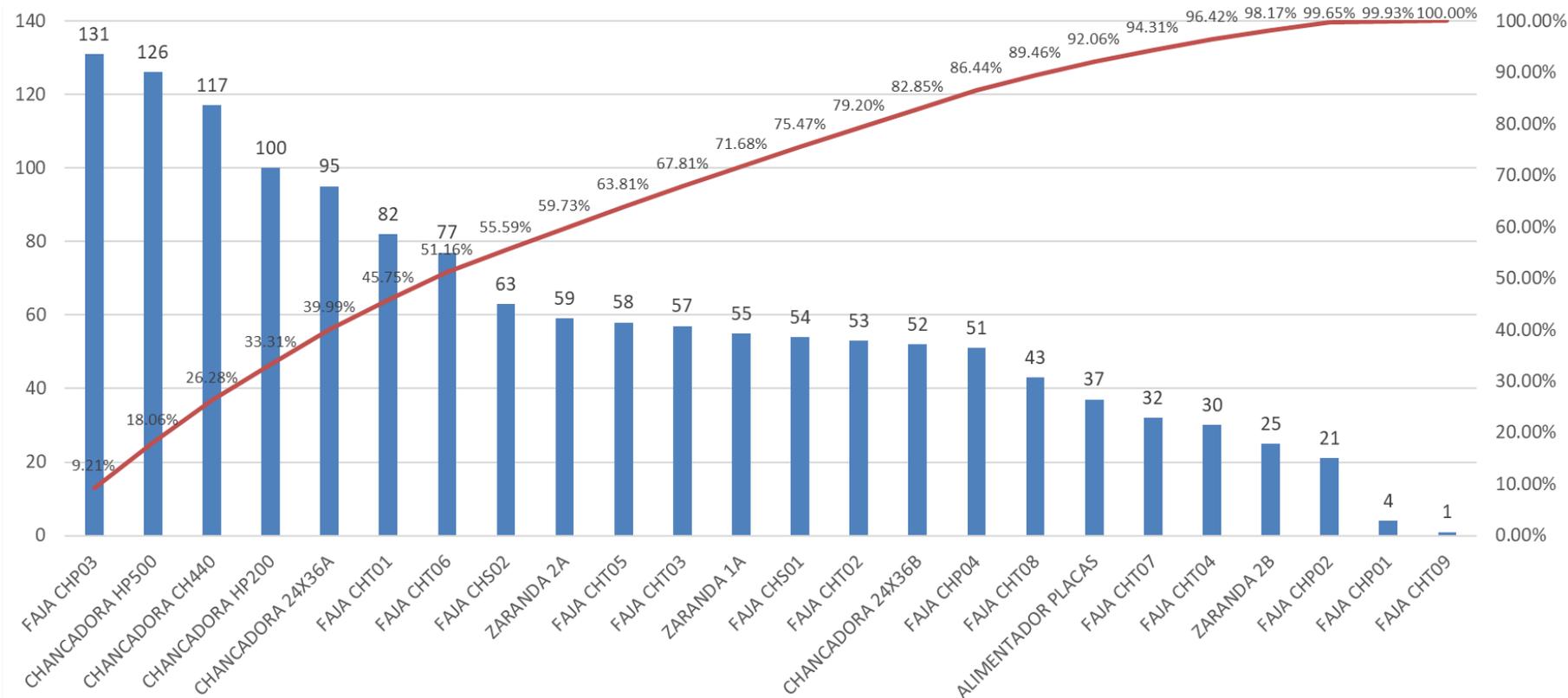
El área de planeamiento se encarga de revisar diariamente los reportes de fallas, eliminando registros duplicados y corrigiendo o completando cualquier información que esté incompleta o incorrecta.

3.2.3 Análisis exploratorio de datos

En el análisis exploratorio de datos (EDA), se realiza una evaluación inicial de los datos de fallas recolectados, aplicando estadísticas descriptivas y visualizaciones gráficas. Esto permite identificar patrones preliminares, como la frecuencia de fallas, tiempos de inactividad y tipos de fallas más comunes. Así, se pueden establecer tendencias iniciales.

Como se menciona en el flujograma de la Figura 1, que describe el flujo para la creación de órdenes de trabajo, después del reporte diario de fallas, se lleva a cabo una evaluación inicial de los datos de fallas. El análisis exploratorio de datos permitió identificar patrones en la gestión de mantenimiento. Por ejemplo, se realizó un diagrama de Pareto sobre las órdenes de trabajo en el área de Chancado, donde se detectó que la "Faja CHP03" acumula la mayor cantidad de actividades de mantenimiento, ver Figura 12.

Figura 12 Diagrama de Pareto de órdenes del área de chancado



Fuente: Elaboración propia

3.2.4 Modelado de minería de datos

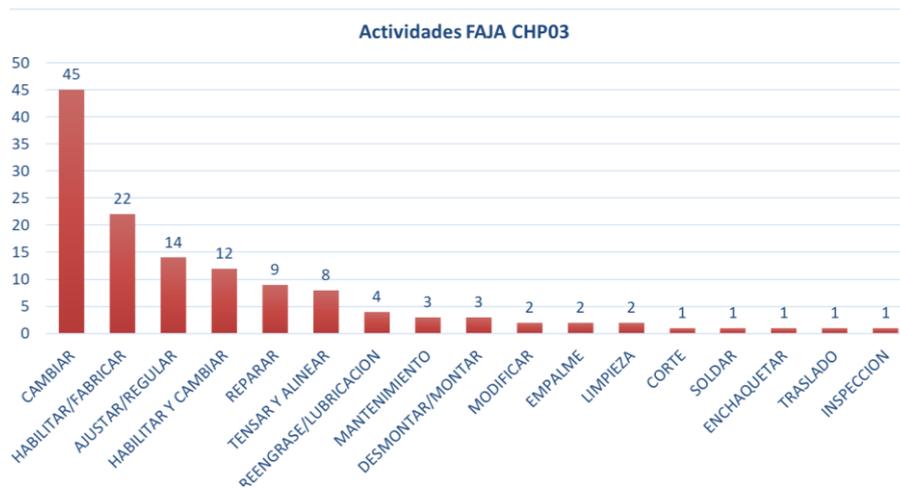
La minería de datos en la gestión de mantenimiento se emplea para descubrir patrones significativos en los datos históricos de fallas y actividades de mantenimiento, facilitando la toma de decisiones y mejorando la confiabilidad de los equipos. En este trabajo, se consideraron diversas técnicas de minería de datos que ayudan a identificar tendencias y anticipar necesidades de mantenimiento en función de los datos recolectados. Entre las técnicas aplicadas o propuestas, destacan:

- Clasificación

La técnica de clasificación permite identificar vínculos significativos entre actividades que inicialmente podrían parecer independientes (SAP, s.f.). Por ejemplo, mediante el análisis de los registros históricos, se pueden clasificar los tipos de actividades (como “cambiar”, “ajustar” o “reparar”) y asociarlos con sus respectivas causas de falla. Esto ayuda a comprender patrones de mantenimiento y a diseñar estrategias específicas para cada tipo de intervención, optimizando los recursos y tiempos de parada de equipos.

Después de analizar la distribución mediante el diagrama de Pareto mostrado en la Figura 12, se reagruparon los datos según el concepto de 'Actividad', siguiendo las recomendaciones de la norma ISO 14224:2016. El nuevo agrupamiento, representado en la Figura 13, evidencia que la actividad 'Cambiar' predomina sobre las demás.

Figura 13 Gráfico de barras - órdenes de trabajo faja CHP03



Fuente: Elaboración propia

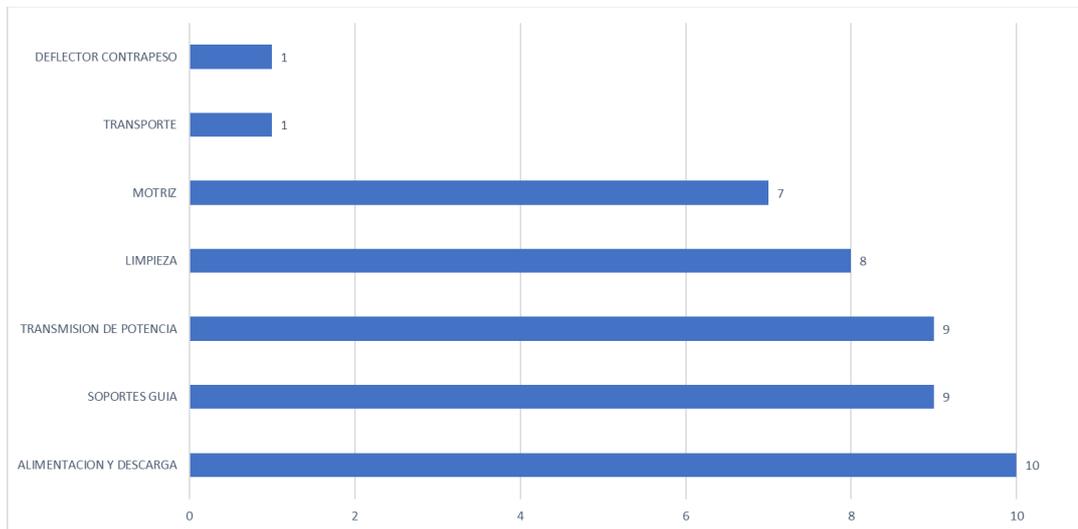
- **Clustering**

El *Clustering* (agrupamiento) organiza los datos en grupos basados en similitudes internas, sin necesidad de criterios predeterminados. En la gestión de mantenimiento, esta técnica puede identificar equipos o componentes que presentan patrones similares de fallas o intervenciones, permitiendo priorizar recursos hacia aquellos con mayor frecuencia de problemas. Este análisis facilita proyecciones más precisas y optimiza la planificación de mantenimiento al basarse en comportamientos detectados en los datos históricos (SAP, s.f.).

Por ejemplo, en el análisis de fallas de los sistemas de la faja CHP03, se puede aplicar la técnica de *clustering* para identificar patrones de agrupación entre los sistemas con mayor incidencia de fallas. Al clasificar los datos de fallas, como se muestra en la Figura 14, podemos observar que los sistemas de 'Alimentación y Descarga', 'Transmisión de Potencia', 'Soportes Guía' y 'Limpieza' presentan un número elevado de incidencias en comparación con otros sistemas. Mediante esta agrupación, se pueden identificar sistemas que requieren una mayor

frecuencia de mantenimiento para reducir las tasas de falla. Así, el uso de *clustering* permite priorizar intervenciones de mantenimiento en función de los patrones de fallas detectados, mejorando la planificación y asignación de recursos en la gestión de mantenimiento.

Figura 14 Gráfico de barras - órdenes de trabajo faja CHP03 por sistema



Fuente: Elaboración propia

3.2.5 Interpretación de resultados

Se refiere al proceso mediante el cual los datos agregados se preparan para su presentación, a menudo utilizando técnicas de visualización de datos. Esto permite que los resultados sean evaluados e interpretados de manera efectiva. Lo ideal es que los resultados finales sean válidos, novedosos, útiles y comprensibles, lo que asegura que la información extraída pueda ser utilizada para la toma de decisiones (IBM, s.f.).

Este análisis previo permitió identificar que el ítem mantenible "polín de impacto" es el componente con mayor recurrencia de cambio, ver Tabla 5, indicando un componente crítico.

Tabla 5 Detalle de componentes cambiados en faja CHP03

Material	Clase	Texto breve de material	Reservado
260151	Anillo fijación	Anillo; fijación; eje;65mm	4
261452	Cadena	Cadena de 2" paso simple asa 160	7.5
251962	Faja	Faja en v;3v600	13
3059720	Faja	Banda 30" dx-mat iw8 dinx 8+2 esp:14.5mm	260
262091	Grasa	Grasa; lgwa2	46
2520994	Hoja	Hoja repuest raspador primar m-clean 30"	1
2522129	Hoja	Hoja repuest raspador secundario 30"	1
315134	Hoja	Hoja de reemplazo limpiadr primario qc#1	1
335188	Hoja	Hojas; limpiador,3" carburo/tungsteno	4
349769	Hoja	Hoja ; reversible ; w/tc ; insert,31104-t	5
369172	Hoja	Hoja repue limpiador secund sg faja 30"	1
3063609	Kit empalme	Kit empalme banda dx-mat iw8 dinx 8+2	1
253520	Manguito	Manguito; fijación; eje;90mm	2
260164	Manguito	Manguito; fijación; eje;65mm	8
260165	Manguito	Manguito; fijación; eje;70mm	2
252789	Plancha	Plancha; fierro;3/16x4x8pulg	1
252792	Plancha	Plancha; fierro;1/2pulgx4x8pie	2
258500	Plancha	Plancha; acero; mosac 500;1/2x5x10pulg	12
293582	Plancha	Plancha; acerrada; psb;80x500x1250mm,60°	12
280107	Platina	Platina; fo;1/8pulgx3pulgx6m	2
255819	Polín impacto	Polín; carga; impacto; triple; 6pulgx35grd	33
261509	Polín carga	Polín; carga; normal; triple; dia:6pulgx20	20
261630	Polín retorno	Polin.; retorno; discos; pesados; dia:6pulg	5
291989	Riel	Riel; acero;60lb/ydx10m	1
2500473	Rodamiento	Rodamiento	2
2509579	Rodamiento	Rodamiento; rodillos;22215cjw33; skf	4
253235	Rodamiento	Rodamiento; bol; c/agj coní, skf,2215-ektn9	4
253237	Rodamiento	Rodamiento; bol; c/agj coní, skf,2216-ektn9	4
253181	Sello	Sello; p/chumacera; eje;90mm; skf	5
260072	Sello	Sello; p/chumacera; eje;65mm	6
260073	Sello	Sello; p/chumacera; eje;70mm	4

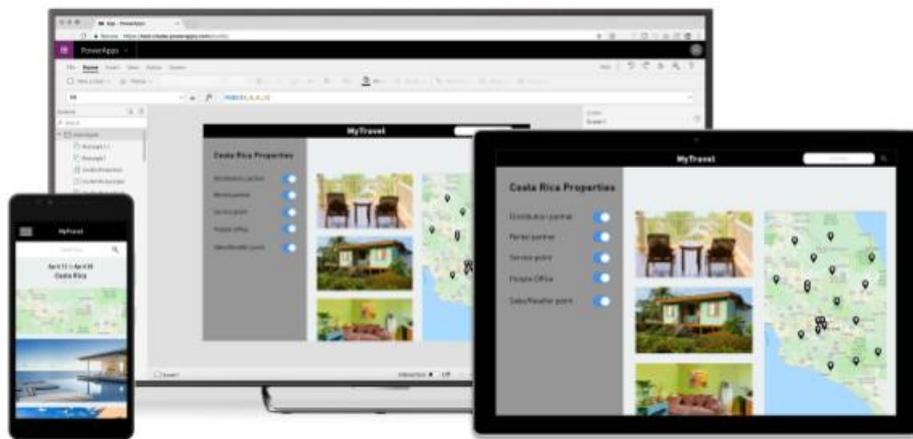
Fuente: Elaboración propia

3.3 Implementación de PowerApps en la gestión de mantenimiento

Power Apps es una plataforma que integra aplicaciones, servicios y conectores diseñada para ofrecer un entorno ágil de desarrollo de aplicaciones personalizadas, adaptadas a las necesidades específicas de cada empresa. Esta aplicación agiliza el desarrollo de soluciones empresariales, integrando información de múltiples repositorios, incluyendo plataformas Microsoft como Dataverse, SharePoint, Microsoft 365, Dynamics 365 y sistemas de base de datos local como SQL Server. (Microsoft, 2024).

Las aplicaciones desarrolladas con Power Apps ofrecen un diseño adaptable y se ejecutan en forma fluida, tanto en navegadores web como en dispositivos móviles, como teléfonos o tabletas como se observa en la Figura 15. Power Apps facilita la creación de aplicaciones empresariales personalizadas al "democratizar" el proceso, permitiendo que los usuarios diseñen aplicaciones con diversas funcionalidades sin necesidad de programar. (Microsoft, 2024).

Figura 15 Entorno de Microsoft Power Apps



Fuente: Microsoft Learn, ¿Qué es PowerApps?

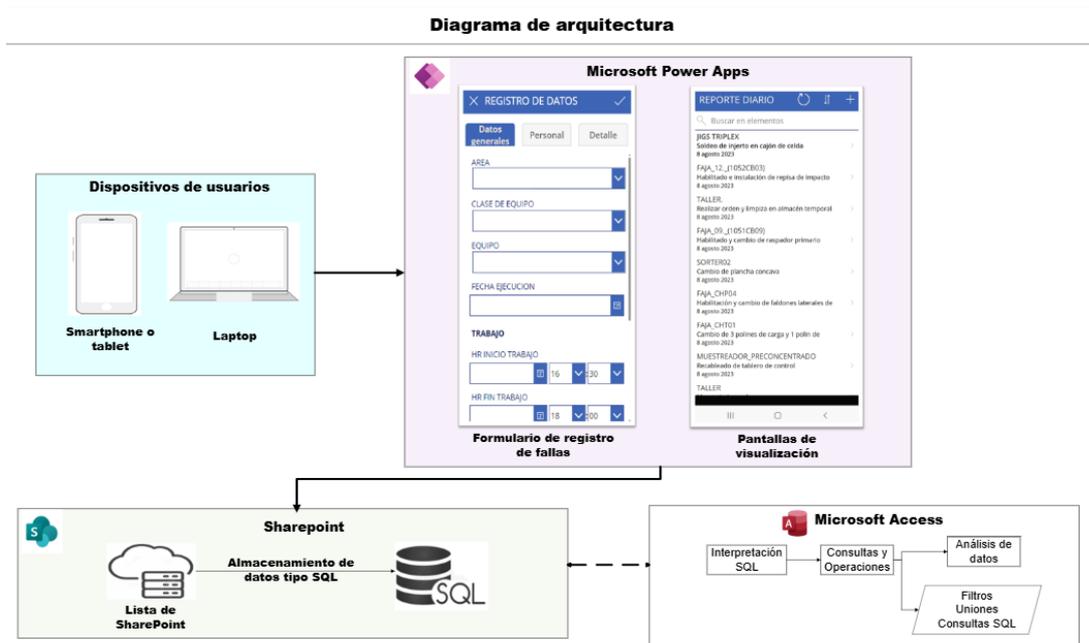
Con base en las características descritas de PowerApps, se desarrolló una solución adaptada a las necesidades de gestión de mantenimiento. El proceso de implementación inició con el diseño de una arquitectura de datos del aplicativo, que se detalla a continuación.

3.3.1 Arquitectura del aplicativo

La aplicación permite a los usuarios ingresar datos desde dispositivos móviles o laptops a través de Power Apps, que gestiona la interfaz y el procesamiento de formularios. Los datos se almacenan en una lista de SharePoint, que funciona como base de datos central. Los planificadores de mantenimiento acceden y analizan esta información mediante Microsoft Access,

y la sincronización se realiza automáticamente para garantizar que los datos estén siempre actualizados, como se ilustra en la Figura 16.

Figura 16 Diagrama de arquitectura de la aplicación.



Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Modelo de la base de datos

El modelo de la base de datos ha sido diseñado conforme a la norma ISO 14224:2016, con el fin de estandarizar el registro de datos relevantes en la gestión de mantenimiento. Cada campo o columna fue seleccionado para asegurar un control detallado y trazable de las actividades, facilitando la gestión y el análisis de la información en cada intervención:

- ID: Identificador único para cada registro de mantenimiento, lo cual facilita el seguimiento y referencia de cada actividad.
- AREA y CLASE: Ubicación y tipo de equipo en la planta (por ejemplo, Chancado y Faja), que ayudan a ubicar el equipo específico donde se realizará el mantenimiento.

- EQUIPO: Nombre o código específico del equipo, como "FAJA CHT01", en el que se realiza la actividad de mantenimiento.
- FECHA EJECUCION: Fecha programada para la intervención.
- HR INICIO TRABAJO y HR FIN TRABAJO: Hora de inicio y finalización de la actividad de mantenimiento, permitiendo calcular la duración total del trabajo.
- HR PARADA INICIO y HR PARADA FINAL: Tiempos específicos en los que el equipo estuvo fuera de operación. Esto permite calcular el tiempo de parada para análisis de disponibilidad.
- AVANCE: Porcentaje de avance de la tarea.
- SUPERVISOR y TÉCNICOS (1-5): Identificación del personal asignado a la tarea, incluyendo el supervisor y los técnicos involucrados.
- ACTIVIDAD: Descripción de la tarea de mantenimiento realizada, agrupado por la acción de mantenimiento descrita por la ISO 14224:2016, según la Tabla 4 'Actividades de mantenimiento'.
- CLASE DE ACTIVIDAD y CONDICION DE ACTIVIDAD: Clasificación y estado de la tarea de mantenimiento (por ejemplo, Correctivo programado).
- OBSERVACIONES: Campo de texto libre para notas adicionales sobre la intervención, como condiciones especiales o detalles relevantes para el análisis.
- MANTENIBLE: Parte específica del equipo que fue intervenida (ejemplo: "Polín de retorno"), facilitando un registro detallado de las piezas mantenidas y el análisis de intervenciones recurrentes.
- OT: Número de Orden de Trabajo, que permite la integración de esta base de datos con sistemas CMMS como SAP para la creación y gestión automatizada de órdenes de trabajo.

- Datos adjuntos: Permite cargar documentos adicionales, como fotos o informes, lo que ayuda en la trazabilidad y análisis de las intervenciones.

La Tabla 6 complementa esta descripción al detallar cada campo diseñado en la base de datos con el tipo de datos que almacenará. Su estructura asegura que los registros sean precisos, consistentes y funcionales para los objetivos específicos del sistema de mantenimiento implementado.

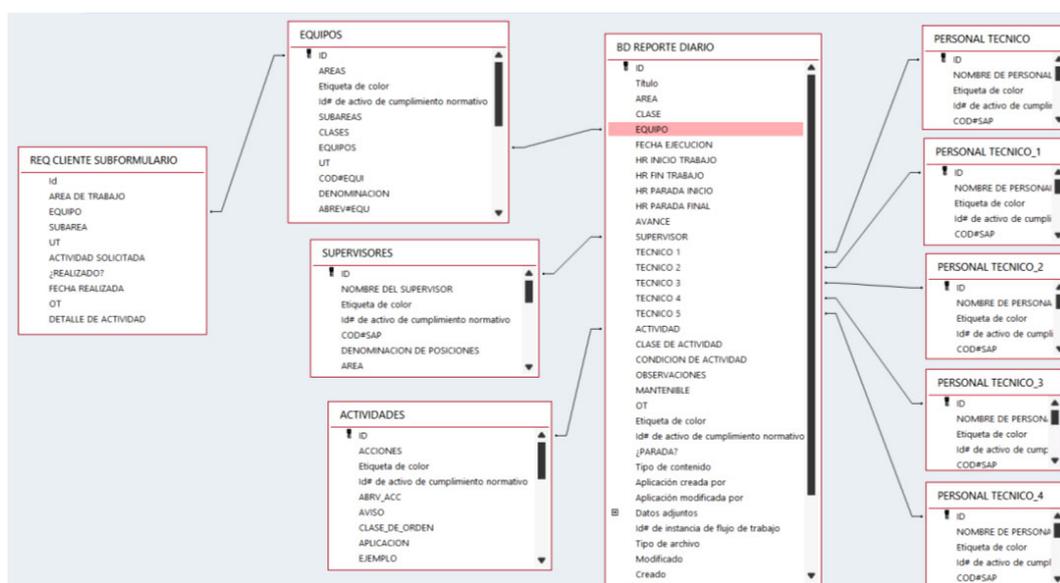
Tabla 6 Base de datos diseñada

Item	Nombre de campo	Tipo de datos
1	ID	Autonumeración
2	AREA	Texto corto
3	CLASE	Texto corto
4	EQUIPO	Texto corto
5	FECHA EJECUCION	Fecha/Hora
6	HR INICIO TRABAJO	Fecha/Hora
7	HR FIN TRABAJO	Fecha/Hora
8	HR PARADA INICIO	Fecha/Hora
9	HR PARADA FINAL	Fecha/Hora
10	AVANCE	Número
11	SUPERVISOR	Texto corto
12	TECNICO 1	Texto corto
13	TECNICO 2	Texto corto
14	TECNICO 3	Texto corto
15	TECNICO 4	Texto corto
16	TECNICO 5	Texto corto
17	ACTIVIDAD	Texto corto
18	CLASE DE ACTIVIDAD	Texto corto
19	CONDICION ACTIVIDAD	Texto corto
20	OBSERVACIONES	Texto corto
21	MANTENIBLE	Texto corto

Fuente: Elaboración propia

A continuación, la Figura 17 representa la estructura de relaciones entre las tablas de la base de datos en PowerApps, configurada de acuerdo con la norma ISO 14224:2016. Esta arquitectura facilita el registro estandarizado y la interconexión de información clave para el mantenimiento, abarcando datos de equipos, personal técnico y reportes diarios.

Figura 17 Relaciones de base de datos



Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Diseño de la interfaz de usuario

Una interfaz de usuario amigable es esencial para simplificar el registro y consulta de datos en una aplicación de mantenimiento, permitiendo que los usuarios realicen sus tareas de forma eficiente y precisa. Esto mejora la adopción de la herramienta, reduce errores y optimiza los procesos de mantenimiento. A continuación, se explicarán las tres pantallas principales de la aplicación: edición, visualización y detalle, cada una diseñada para cumplir funciones específicas en el flujo de trabajo del usuario:

- Pantalla de edición

La pantalla de edición permite registrar datos de acuerdo con la estructura de la base de datos. Esta pantalla cuenta con un formulario que, debido a la cantidad de datos, se tuvo que dividir en tres pestañas para optimizar la visibilidad: "Datos generales", "Personal" y "Detalle".

La primera pestaña, denominada "Datos generales" (ver Figura 18), permite registrar información básica sobre el equipo y la fecha de actividad. Incluye campos como "Área", "Clase", "Equipo", "Fecha de ejecución", "HR inicio trabajo", "HR fin trabajo", "¿Parada?" y "Avance". Estos datos son esenciales para identificar el equipo intervenido y registrar los tiempos de trabajo de manera precisa. Las listas dependientes implementadas en esta pestaña facilitan la selección de equipos mediante filtros por área y clase, optimizando el proceso de búsqueda y registro.

La segunda pestaña, "Personal" (ver Figura 19), está diseñada para registrar al personal técnico involucrado en la actividad de mantenimiento. Los campos incluyen "Supervisor" y "Técnicos", permitiendo registrar hasta cinco técnicos asignados a la tarea. Esta funcionalidad asegura un control detallado del personal participante, lo que facilita la trazabilidad y el análisis de recursos humanos empleados en las intervenciones.

La tercera pestaña, denominada "Detalle" (ver Figura 20), recopila información específica sobre la actividad realizada. Incluye campos como "Actividad", "Clase de actividad", "Observaciones" y "OT". Estos datos complementan el registro de la intervención, proporcionando un contexto más detallado y asegurando que las órdenes de trabajo estén correctamente documentadas. Además, el código que permite la funcionalidad de las tres pestañas se muestra en la Figura 21.

Figura 18 Pantalla de edición de registro – Datos generales

The image displays two side-by-side screenshots of a web application interface for editing a record. Both screenshots are titled 'REGISTRO DE DATOS' and feature three tabs: 'Datos generales', 'Personal', and 'Detalle'.
The left screenshot shows the 'Datos generales' tab. It contains the following fields:

- AREA: A dropdown menu.
- CLASE DE EQUIPO: A dropdown menu.
- EQUIPO: A dropdown menu.
- FECHA EJECUCION: A date picker showing '9 noviembre 2024'.
- TRABAJO section with two time pickers:
 - HR INICIO TRABAJO: Set to 16:30.
 - HR FIN TRABAJO: Set to 18:00.

The right screenshot shows the 'Personal' tab. It contains the following fields:

- EQUIPO: A dropdown menu.
- FECHA EJECUCION: A date picker showing '9 noviembre 2024'.
- TRABAJO section with two time pickers:
 - HR INICIO TRABAJO: Set to 9:00.
 - HR FIN TRABAJO: Set to 9:00.
- ¿PARADA?: A toggle switch currently set to 'No'.
- AVANCE: A dropdown menu.

Fuente: Elaboración propia

Figura 19 Pantalla de edición de registro – Personal

The image shows a screenshot of the 'REGISTRO DE DATOS' form with the 'Personal' tab selected. The 'Datos generales' tab is also visible. The form contains the following fields:

- SUPERVISOR: A dropdown menu with the placeholder text 'Buscar elementos'.
- TECNICO 1: A dropdown menu with the placeholder text 'Buscar elementos'.
- TECNICO 2: A dropdown menu with the placeholder text 'Buscar elementos'.
- TECNICO 3: A dropdown menu with the placeholder text 'Buscar elementos'.
- TECNICO 4: A dropdown menu with the placeholder text 'Buscar elementos'.
- TECNICO 5: A dropdown menu with the placeholder text 'Buscar elementos'.

Fuente: Elaboración propia

Figura 20 Pantalla de edición de registro – Detalle

REGISTRO DE DATOS

Datos generales Personal Detalle

ACTIVIDAD
Buscar elementos

CLASE DE ACTIVIDAD
Buscar elementos

CONDICION DE ACTIVIDAD
Buscar elementos

DETALLE DE TRABAJO REALIZADO

OT

Fuente: Elaboración propia

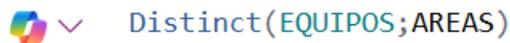
Figura 21 Secciones de pantalla de edición de aplicación

```
Table(  
  {id: 1; seccion: "Datos generales"};  
  {id: 2; seccion: "Personal"};  
  {id: 3; seccion: "Detalle"}  
)
```

Fuente: Elaboración propia

Para implementar una selección precisa de equipos en la pantalla de edición, se desarrolló un sistema de filtrado dependiente que permite al usuario ubicar el equipo adecuado en tres etapas: selección del área, luego de la clase de equipo dentro de esa área y, finalmente, del equipo específico. Este proceso optimiza la navegación en la lista de equipos registrados en la base de datos llamada *EQUIPOS*, asegurando que los usuarios accedan de manera rápida y precisa al equipo deseado según su ubicación y categoría en la planta concentradora. Las Figura 22, 23 y 24 muestran el código utilizado para implementar este filtrado dinámico de equipos en cada una de estas etapas.

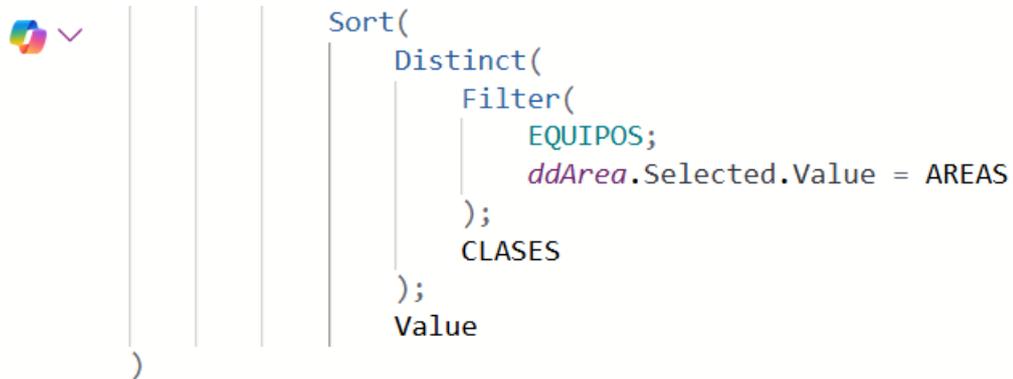
Figura 22 Controles de lista desplegable tipo dependiente – 1er filtro



Distinct(EQUIPOS;AREAS)

Fuente: Elaboración propia

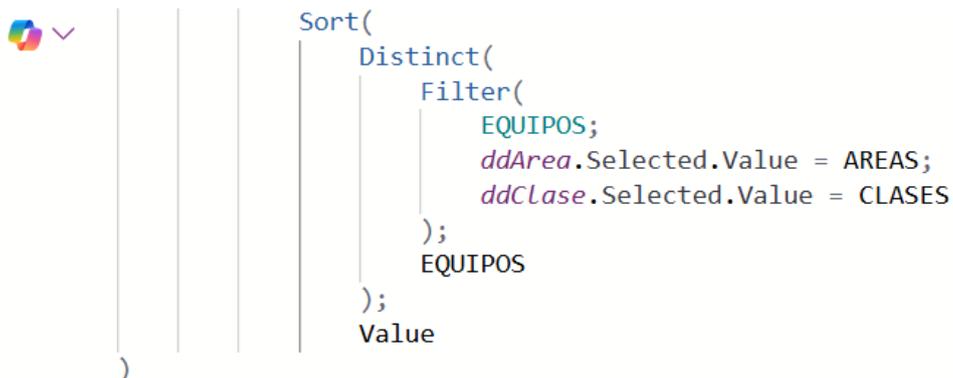
Figura 23 Controles de lista desplegable tipo dependiente – 2do filtro



```
Sort(  
  Distinct(  
    Filter(  
      EQUIPOS;  
      ddArea.Selected.Value = AREAS  
    );  
    CLASES  
  );  
  Value  
)
```

Fuente: Elaboración propia

Figura 24 Controles de lista desplegable tipo dependiente – 3er filtro



```
Sort(  
  Distinct(  
    Filter(  
      EQUIPOS;  
      ddArea.Selected.Value = AREAS;  
      ddClase.Selected.Value = CLASES  
    );  
    EQUIPOS  
  );  
  Value  
)
```

Fuente: Elaboración propia

- Pantalla de visualización

Para la pantalla de visualización, se implementó un filtro por fecha utilizando un selector denominado "DatePicker1". Este componente permite a los usuarios seleccionar una fecha específica, y, a partir de ella, la galería de visualización filtra automáticamente los datos para mostrar solo la información

correspondiente a ese día en particular, facilitando así la consulta de registros diarios de mantenimiento. La Figura 25 muestra el código de este proceso de filtrado.

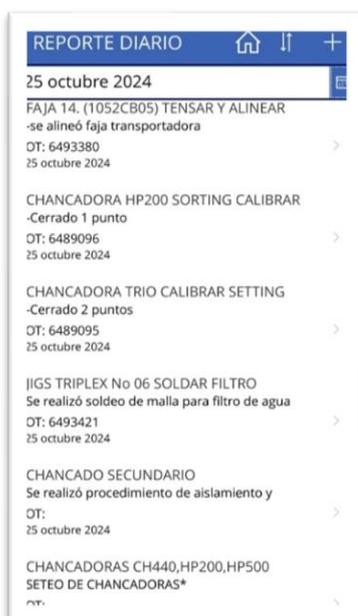
Figura 25 Filtro de pantalla de visualización por fecha

```
Filter(  
    'BD REPORTE DIARIO';  
    'FECHA EJECUCION' = DatePicker1.SelectedDate  
)
```

Fuente: Elaboración propia

La pantalla de visualización, ver Figura 26, permite consultar los registros de mantenimiento mediante una galería filtrada por el filtro de fecha.

Figura 26 Pantalla de visualización de registro

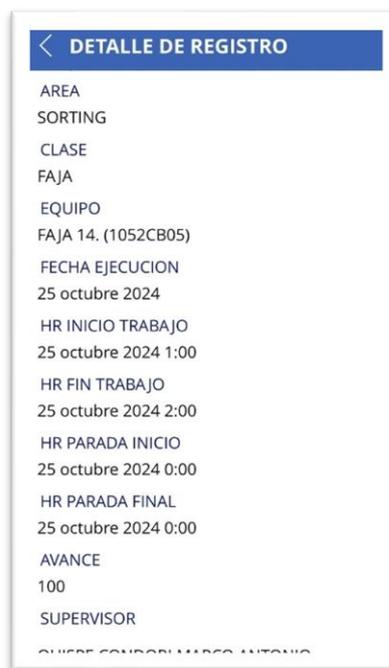


Fuente: Elaboración propia

- Pantalla de detalle

La pantalla de detalle, ilustrada en la Figura 27, permite a los usuarios revisar y verificar los registros de mantenimiento ingresados en la aplicación. Esta pantalla proporciona una vista detallada de cada registro, lo que facilita la validación de la información y asegura que los datos sean correctos y completos antes de ser archivados en la base de datos.

Figura 27 Pantalla de detalle de registro



Fuente: Elaboración propia

3.3.4 Automatización de creación de órdenes de trabajo

En la gestión de mantenimiento, la automatización es clave para optimizar el tiempo y reducir los errores manuales, especialmente en procesos repetitivos como la creación de órdenes de trabajo. Mediante la automatización, se agilizan tareas administrativas, liberando tiempo que el personal puede dedicar a actividades estratégicas y se minimizan los riesgos de errores en la entrada de datos, que suelen ocurrir en procesos manuales.

3.3.4.1 Conexión entre SharePoint y MS Access

En este trabajo, la integración de SharePoint con MS Access facilita la gestión de registros. SharePoint actúa como la base de datos central, mientras que MS Access permite a los planificadores de mantenimiento acceder y editar la información de manera directa y en tiempo real.

Para asegurar la consistencia de datos entre plataformas, se diseñó un formulario en MS Access que permite la visualización y edición de los registros de mantenimiento de manera directa y accesible. Como se muestra en la Figura 28, este formulario incluye los campos principales de la base de datos, tales como el área, clase, equipo, fecha de ejecución, entre otros, garantizando que cualquier cambio realizado en Access se refleje de manera uniforme en SharePoint. Además, se incorporaron botones de navegación para desplazarse entre los registros, así como funciones para guardar, buscar o eliminar información. Esta interfaz facilita no solo la manipulación de los datos, sino que también asegura que la información sea consistente y coherente en todas las plataformas que participan en el flujo de trabajo de mantenimiento.

Figura 28 Formulario de registro en MS Access



CONFIPETROL

REPORTE DIARIO PLANTA

ID

Área	<input type="text" value="CHANCADO"/>	Hora de inicio de trabajo	<input type="text" value="17/11/2024 10:00:00"/>
Clase	<input type="text" value="CHANCADORA CONICA"/>	Hora de fin de trabajo	<input type="text" value="17/11/2024 12:30:00"/>
Equipo	<input type="text" value="CHANCADORA HP200"/>	Hora de inicio de parada	<input type="text" value="17/11/2024"/>
Fecha de ejecución	<input type="text" value="17/11/2024"/>	Hora de fin de parada	<input type="text" value="17/11/2024"/>

Supervisor	<input type="text" value="QUISPE CONDORI MARCO ANTONIO"/>	% Avance	<input type="text" value="100"/>
Técnico 1	<input type="text" value="ORTIZ CARLOS"/>	Actividad	<input type="text" value="REENGRASE/LUBRICACION"/>
Técnico 2	<input type="text" value="LIGUE RICAR"/>	Clase de Actividad	<input type="text" value="PREVENTIVO"/>
Técnico 3	<input type="text"/>	Condición de actividad	<input type="text" value="EQUIPO OPERANDO"/>
Técnico 4	<input type="text"/>		
Técnico 5	<input type="text"/>		

Mantenible	<input type="text" value="SISTEMA DE FIJACIÓN"/>		
OT	<input type="text" value="6500178"/>		
Observaciones	<input style="width: 100%; height: 100%;" type="text" value="Reengrase de sist. De fijación de CHANCADORA NORBERG HP200Lubricante : Mobilgrease XHP222Cantidad : 150 gr"/>		

Fuente: Elaboración propia

3.3.4.2 Consulta SQL para extracción de datos

En el desarrollo del formulario en MS Access, se implementó una consulta SQL que permite extraer registros específicos de acuerdo con la fecha seleccionada. Esta funcionalidad facilita la generación de órdenes de trabajo al filtrar los datos de un día determinado y exportarlos directamente a una plantilla en Excel, que luego puede ser utilizada en el CMMS para la creación de órdenes de trabajo. El código de la consulta SQL utilizada para esta función se presenta en la Figura 29.

Figura 29 Consulta SQL para filtrado de registros por fecha

```
1 SELECT [BD REPORTE DIARIO].AREA,
2 [BD REPORTE DIARIO].CLASE,
3 [BD REPORTE DIARIO].EQUIPO,
4 [BD REPORTE DIARIO].[FECHA EJECUCION],
5 [BD REPORTE DIARIO].[HR INICIO TRABAJO],
6 [BD REPORTE DIARIO].[HR FIN TRABAJO],
7 DateDiff("n",[BD REPORTE DIARIO].[HR INICIO TRABAJO],[BD REPORTE DIARIO].[HR FIN TRABAJO])/60 AS [TIEMPO DE ACTIVIDAD],
8 [BD REPORTE DIARIO].[HR PARADA INICIO],
9 [BD REPORTE DIARIO].[HR PARADA FINAL],
10 DateDiff("n",[BD REPORTE DIARIO].[HR PARADA INICIO],[BD REPORTE DIARIO].[HR PARADA FINAL])/60 AS [HRS PARADAS],
11 [BD REPORTE DIARIO].AVANCE,
12 [BD REPORTE DIARIO].ACTIVIDAD,
13 [BD REPORTE DIARIO].[CLASE DE ACTIVIDAD],
14 [BD REPORTE DIARIO].[CONDICION DE ACTIVIDAD],
15 [BD REPORTE DIARIO].OBSERVACIONES,
16 [BD REPORTE DIARIO].[TECNICO 1],
17 [BD REPORTE DIARIO].[TECNICO 2],
18 [BD REPORTE DIARIO].[TECNICO 3],
19 [BD REPORTE DIARIO].[TECNICO 4],
20 [BD REPORTE DIARIO].[TECNICO 5],
21 [BD REPORTE DIARIO].MANTENIBLE
22 FROM [BD REPORTE DIARIO]
23 WHERE ((([BD REPORTE DIARIO].[FECHA EJECUCION])=[Inserte fecha:]);
```

Fuente: Elaboración propia

La consulta admite dos formatos de fecha para facilitar el ingreso y filtrado de datos: "DD.MM.AAAA" o "DD/MM/AAAA".

3.3.4.3 Creación de órdenes con macros en Visual Basic

Para estandarizar las órdenes de trabajo en el CMMS (SAP), se utilizó una plantilla diseñada para procesar los datos extraídos de la consulta en MS Access. Esta plantilla permite generar un reporte diario de actividades en el formato requerido por la compañía minera y, simultáneamente, completar los campos necesarios para ejecutar una macro en VBA que automatiza la creación de las órdenes de trabajo.

La plantilla consta de tres hojas principales: 'PEGAR', 'REPORTE DIARIO' y 'MACRO'. En la hoja 'PEGAR' (ver Figura 30), se deben insertar los datos de la consulta manteniendo la estructura establecida. A partir de esta información, la hoja 'REPORTE DIARIO' genera un reporte con fórmulas y formatos condicionales, mientras que la hoja 'MACRO' (ver Figura 31) organiza los datos para que el código en VBA pueda crear automáticamente las órdenes en SAP.

La macro en VBA utiliza los siguientes campos: AVISO, DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDAD, UBICACIÓN TÉCNICA, EQUIPO, PUESTO DE TRABAJO, SUPERVISOR, TIPO DE OT, FECHA, CANTIDAD, HORAS y DESCRIPCIÓN LARGA. La Tabla 7 define cómo el campo "Actividad" determina el tipo de aviso y clase de orden asignada. Por ejemplo, actividades como 'Ajustar/Regular' o 'Cambiar' corresponden al aviso 'M3' y clase de orden 'PM02', mientras que tareas como 'Desenergizar' o 'Empalme' utilizan el aviso 'M1' y la clase de orden 'PM14'.

Tabla 7 Tipo de orden y aviso en SAP por acción

ACCIONES	ABRV ACC	AVISO	CLASE DE ORDEN
AJUSTAR/REGULAR	A/REGU.	M3	PM02
BLOQUEO/DESBLOQUEAR	B/DESB.	M3	PM02
CALIBRAR	CALIBR.	M3	PM02
CAMBIAR	CAMBIAR.	M3	PM02
CONEXIÓN	CONEXI.	M3	PM02
CORTE	CORTE.	M3	PM02
DESENERGIZAR	DESENERG.	M1	PM14
DESMONTAR/MONTAR	DESMON/MONT.	M3	PM02
EMPALME	EMPALM.	M1	PM14
ENCHAQUETAR	ENCHAQ.	M3	PM02
ENERGIZAR	ENERGI.	M1	PM14
ENJEBADO	ENJEBA.	M3	PM02
EXTRAER	EXTRAE.	M3	PM02
HABILITAR Y CAMBIAR	HAB/CAMB.	M3	PM02
HABILITAR/FABRICAR	HAB/FAB.	M3	PM02
INSPECCION	INSPEC.	M3	PM02
INSPECCION/AJUSTE	INSP/A.	M3	PM02
INSTALAR	INSTAL.	M3	PM02
LIMPIEZA	LIMPZA.	M3	PM02
MANTENIMIENTO	MANTTO.	M3	PM02
MEDIR	MEDIR.	M3	PM02
MODIFICAR	MODIFI.	M3	PM02
ORDEN Y LIMPIEZA	ORD&LIMP.	M1	PM14
REENGRASE/LUBRICACION	RE/LUB.	M3	PM02
REPARAR	REPARAR.	M3	PM02
REPONER	REPONE.	M3	PM02
REUBICAR	REUBIC.	M1	PM14
REVISION/CAMBIAR	REV/CA.	M3	PM02
SOLDAR	SOLDAR.	M3	PM02
TENSAR Y ALINEAR	T/ALIN.	M3	PM02
VERIFICAR NIVEL	VER/NV.	M3	PM02
REVISAR	REVISAR.	M3	PM02
HABILITAR/DESMONTAR	HAB/DESM.	M3	PM02
PRUEBA	PRUEBA.	M3	PM02

Fuente: Elaboración propia

Este proceso asegura que las órdenes sean consistentes con la estandarización de órdenes de trabajo de la planta y alineadas con la ISO 14224:2016.

Figura 30 Plantilla de Excel - reporte de actividades diarias

AREA	CLASE	EQUIPO	FECHA EJECUCION	HRS PARADAS	AVANCE	ACTIVIDAD	CLASE DE ACTIVIDAD	CONDICION DE ACTIVIDAD	OBSERVACIONES	TECNICO 1
SOLDADURA	MOLINO	MOLINO VERTICAL	17/01/2024	0	100.00	DESMONTAR	MISCELÁNEOS	OTROS	Desmontaje y montaje de barandas para traslado de intercambiador de calor	COA PACHA JOSE
SOLDADURA	BOMBA	BOMBA 5FB	17/01/2024	0	100.00	MODIFICAR	MISCELÁNEOS	OTROS	Modificación de techo del tablero eléctrico	APAZA LOPEZ NE!
SOLDADURA	TALLER	TALLER SOLDADURA	17/01/2024	0	75.00	LIMPIEZA	MISCELÁNEOS	TALLER	Se realizo orden y limpieza en área de molinos	APAZA LOPEZ NE!
CHANCADO	ELECTROIMAN	ELECTRO IMAN 01 CH	17/01/2024	0	100.00	TENSAR Y AL	MISCELÁNEOS	OTROS	Alineamiento de banda electroíman	LIGUE COLQUE RI
SORTING	FAJA	FAJA 07. (1051CB07)	17/01/2024	1	100.00	CAMBIAR	CORRECTIVO PROGRAMADO	PARADA DE EQUIPO	cambio de pml 40 chute de alimentación hp200 y cambio de pernos abellanado d	MANCHA AGUILA
SORTING	FAJA	FAJA 11. (1052CB02)	17/01/2024	1	100.00	CAMBIAR	CORRECTIVO PROGRAMADO	PARADA DE EQUIPO	Cambio de chaqueta metálica Equipo. Faja 1052cb 002	SALAZAR CISNERC
SORTING	MUESTREADOR	MUESTREADOR PRECONC	17/01/2024	1	100.00	CAMBIAR	CORRECTIVO PROGRAMADO	PARADA DE EQUIPO	Cambio de mandiles Equipo. Muestreador pre concentrado	SALAZAR CISNERC
SORTING	FAJA	FAJA 09. (1051CB09)	17/01/2024	1	100.00	CAMBIAR	CORRECTIVO PROGRAMADO	PARADA DE EQUIPO	Cambio raspador primari	COLCA MIRANDA
SORTING	AREA ORE SORTING	ORE SORTING	17/01/2024	1	100.00	INSPECCION	CORRECTIVO PROGRAMADO	EQUIPO OPERANDO	lubricación de motores Fajas1052CB001/002/003/004/005 y colector de polvo So	RAMOS ATAMARI
SORTING	FAJA	FAJA 06. (1051CB06)	17/01/2024	1	100.00	HABILITAR/FI	CORRECTIVO PROGRAMADO	TALLER	fabricacion de chaquetas metalicas.	MANCHA AGUILA
SOLDADURA	CELDA	CELDA DR500.SV3.	17/01/2024	0	100.00	REPARAR	CORRECTIVO PROGRAMADO	EQUIPO OPERANDO	ACOPLAMIENTO DE EJE PALETAS A MOTOREDUCTOR.	LLAVILLA MAMAN
CHANCADO	CHANCADORA QUIJADA	CHANCADORA 24X36B	17/01/2024	0	100.00	SOLDAR	CORRECTIVO PROGRAMADO	EQUIPO OPERANDO	Soldeo de bigas base de anclaje.	APAZA LOPEZ NE!

Fuente: Elaboración propia

Figura 31 Plantilla de Excel - macro de creación de órdenes en SAP

AVISO	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	UBICACION TECNICA	EQUIPO	PUESTO DE TRABAJO	SUPERVISOR	TIPO DE OT	FECHA	CANTIDAD	HORAS	DESCRIPCION LARGA
M3	MOLVER DESMONTAJE DE BARANDAS	S1236-41	10002667	MECPTAIE	JHUIARAYA	PM02	17.01.2024	2	4.50	Desmontaje y montaje de barandas para traslado de intercambiador de calor
M3	BB 5FB MODIFI. TECHO DE TABLERO ELECTRICO	S1237-281	10005902	SOLPTAIE	JHUIARAYA	PM02	17.01.2024	2	4.50	Modificación de techo del tablero eléctrico
M3	TALLER LIMPZA AFEA MOLINDS	S1211		SOLPTAIE	JHUIARAYA	PM02	17.01.2024	2	1.00	Se realizo orden y limpieza en área de molinos
M3	E.IMANITIALIN.BANDA ELECTROIMAN	S1211-334	10003555	MECPTAIE	JHUIARAYA	PM02	17.01.2024	2	2.00	Alineamiento de banda electróman
M3	FAJA 07 CAMBIAR PML40	S1301-03002-11	10013066	MECPTAIE	JHUIARAYA	PM02	17.01.2024	2	5.00	cambio de pml 40 chute de alimentación hp200 y cambio de pernos abellanado de chaquetas metálic
M3	FAJA 11 CAMBIAR CHAQUETAS METALICAS	S1302-05004	10013067	SOLPTAIE	JHUIARAYA	PM02	17.01.2024	2	5.00	Cambio de chaqueta metálica Equipo. Faja 1052cb 002
M3	MUEST.P. CAMBIAR MANDILES	S1302-05002		SOLPTAIE	JHUIARAYA	PM02	17.01.2024	2	0.00	Cambio de mandiles Equipo. Muestreador pre concentrado
M3	FAJA 09 CAMBIAR RASPADOR	S1301-03002-15	10013070	MECPTAIE	JHUIARAYA	PM02	17.01.2024	2	0.00	Cambio raspador primari
M3	SDRT. INSP. MOTORES	S1302		SOLPTAIE	JHUIARAYA	PM02	17.01.2024	1	0.00	lubricación de motores Fajas 1052CB001002003004005 y colector de polvo Sorters
M3	FAJA 06 HABFAB.chaquetas metalicas	S1301-03002-09	10013064	SOLPTAIE	JHUIARAYA	PM02	17.01.2024	2	5.00	fabricación de chaquetas metalicas.
M3	DR500.SV3.REPARAR.PALETA DE MOTOREDUCTOR	S1244-3131	10010900	MECPTAIE	JHUIARAYA	PM02	17.01.2024	2	3.00	ACDPLAMIENTO DE EJE PALETAS A MOTOREDUCTOR.
M3	24X36B SOLDAR BUA DE ANCLAJE	S1211-2221	10010481	SOLPTAIE	JHUIARAYA	PM02	17.01.2024	2	2.50	Soldo de bigas base de anclaje.
#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	0.01.1900	0	0.00	0.00
#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	0.01.1900	0	0.00	0.00
#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	0.01.1900	0	0.00	0.00
#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	0.01.1900	0	0.00	0.00
#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	0.01.1900	0	0.00	0.00
#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	0.01.1900	0	0.00	0.00
#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	0.01.1900	0	0.00	0.00
#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	0.01.1900	0	0.00	0.00
#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	0.01.1900	0	0.00	0.00
#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	0.01.1900	0	0.00	0.00
#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	0.01.1900	0	0.00	0.00
#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	0.01.1900	0	0.00	0.00
#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	0.01.1900	0	0.00	0.00
#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	0.01.1900	0	0.00	0.00
#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	0.01.1900	0	0.00	0.00
#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	#ND	0.01.1900	0	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

Los campos 'UBICACIÓN TÉCNICA' y 'EQUIPO' se obtienen de la tabla 'Equipos'. La fórmula BUSCARV en Excel permite vincular la selección realizada en la aplicación con los datos necesarios para SAP. Campos como 'FECHA', 'CANTIDAD' y 'HORAS' se extraen directamente de la consulta en MS Access. La cantidad se calcula según los técnicos registrados en la actividad, y las horas se obtienen como la diferencia entre el inicio y fin del trabajo.

El campo 'PUESTO DE TRABAJO' es completado manualmente por el planificador, eligiendo entre opciones como mecánico (MECPTA1E), soldador (SOLPTA1E) y electricista (ELECTA1E).

Finalmente, la 'DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDAD' incluye una codificación específica del equipo de 8 caracteres, seguida de la acción de mantenimiento y el ítem mantenible, con un formato como 'FAJA 09.CAMBIAR.RASPADOR'. Esta estructura, limitada a 40 caracteres, asegura la compatibilidad con SAP.

La macro en VBA, cuyo código parcial de ejecución completa el proceso, se muestra en la Figura 32, que por motivos de espacio no se detalla el código del VBA completo.

Figura 32 Código en VBA para de creación de órdenes en SAP

```
Sub CRITICIDADVARIOS()  
Dim SapGuiAuto  
Dim Application  
If Not IsObject(Application) Then  
    Set SapGuiAuto = GetObject("SAPGUI")  
    Set Application = SapGuiAuto.GetScriptingEngine  
End If  
If Not IsObject(Connection) Then  
    Set Connection = Application.Children(0)  
End If  
If Not IsObject(session) Then  
    Set session = Connection.Children(0)  
End If  
If IsObject(WScript) Then  
    WScript.ConnectObject session, "on"  
    WScript.ConnectObject Application, "on"  
End If  
  
XFIN = Range("A" & Cells.Rows.Count).End(xlUp).Row  
For i = 3 To XFIN  
    AV = Cells(i, 1)  
    AC = Cells(i, 2)  
    UT = Cells(i, 3)  
    EQ = Cells(i, 4)  
    PT = Cells(i, 5)  
    ST = Cells(i, 6)  
    OT = Cells(i, 7)  
    FE = Cells(i, 8)  
    CT = Cells(i, 9)  
    HT = Cells(i, 10)  
    TEXT1 = Cells(i, 12)  
    TEXT2 = Cells(i, 13)  
    TEXT3 = Cells(i, 14)  
    TEXT4 = Cells(i, 15)  
    TEXT5 = Cells(i, 16)  
  
    If AV = "M7" Then  
        session.findById("wnd[0]/tbar[0]/okcd").Text = "IW21"  
        session.findById("wnd[0]").sendVKey 0  
        session.findById("wnd[0]/usr/ctxtRIW000-QMART").Text = AV  
        session.findById("wnd[0]").sendVKey 0  
        session.findById("wnd[0]/usr/subSCREEN_1:SAPLIQS0:1050/subNOTIF_TYPE:SAPLIQS0:1051/txtVIQMEL-QMTXT").Text = AC  
    End If  
End For
```

Fuente: Elaboración propia

La macro en VBA automatiza la creación de órdenes de mantenimiento en SAP utilizando la transacción IW21 para generar un aviso, configurado según el tipo definido en el archivo de Excel. Una vez creado el aviso, la macro asocia los campos del Excel con los campos requeridos en SAP y procede a generar automáticamente una orden de mantenimiento desde dicho aviso. El resumen de funcionamiento es el siguiente:

1. Establece conexión con SAP: Utiliza el motor de scripting de SAP GUI para abrir una sesión activa.
2. Define los datos de entrada: Extrae información desde un archivo de Excel, incluyendo:
 - Tipo de aviso (AV), por ejemplo, M7.
 - Ubicación técnica (UT) y equipo (EQ).
 - Texto descriptivo (campos TEXT1 a TEXT5).
 - Otros datos necesarios como fecha (FE) y cantidad (CT).
3. Crea un aviso de mantenimiento:
 - Abre la transacción IW21.
 - Introduce los valores extraídos del Excel en los campos correspondientes del aviso en SAP.
4. Genera la orden de mantenimiento:
 - Desde el aviso, ejecuta los pasos necesarios para crear la orden, incluyendo la asignación de ubicaciones técnicas, equipos, textos y demás parámetros requeridos.
5. Itera por los registros:
 - Procesa todos los registros de la hoja de Excel desde la fila 3 hasta la última fila con datos, garantizando que cada actividad se registre en SAP como aviso y orden.

La macro simplifica un proceso que, de forma manual, sería altamente repetitivo y propenso a errores, especialmente al trabajar con grandes volúmenes de datos.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4.1 Análisis de resultados

4.1.1 Pruebas de funcionamiento

El propósito de las pruebas realizadas fue asegurar que la aplicación en PowerApps cumpla con los requerimientos de estandarización y confiabilidad en el registro de datos de fallas, garantizando consistencia en los datos y facilitando su uso para la gestión de mantenimiento.

Test de Prueba 1

Durante la implementación inicial de la aplicación, se utilizaban filtros de "Área" y "Subárea" para ubicar los equipos. Sin embargo, debido a la extensa cantidad de equipos por Subárea, la búsqueda se volvió ineficiente y complicaba la selección del equipo deseado. Esto ralentizaba el proceso y afectaba la experiencia del usuario, dificultando el acceso rápido a los datos.

Por ejemplo, si se quería elegir el equipo "Faja cht01" en el área de chancado terciario, inicialmente había que escoger entre diversos equipos, ver Tabla 8, de diferentes tipos. Para solucionar este problema, se sugirió añadir un filtro adicional.

Tabla 8 Test prueba 1 - Equipos de chancado terciario

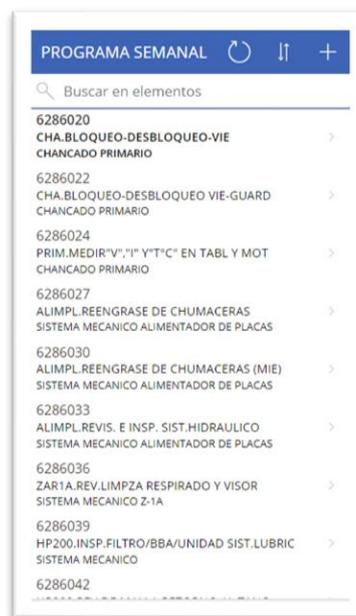
ÁREAS	SUBÁREAS	CLASES	EQUIPOS	UT	ABREV.EQUI
Chancado	Chancado terciario	Chancadora cónica	Chancadora hp500	S1213-311	Hp500.
Chancado	Chancado terciario	Grúa puente	Grúa puente 10 tn	S1213-41	Grua.ter.
Chancado	Chancado terciario	Faja	Faja cht01	S1213-1011	Cht01.
Chancado	Chancado terciario	Faja	Faja cht02	S1213-1021	Cht02.
Chancado	Chancado terciario	Faja	Faja cht03	S1213-1031	Cht03.
Chancado	Chancado terciario	Faja	Faja cht04	S1213-1041	Cht04.
Chancado	Chancado terciario	Faja	Faja cht05	S1213-1051	Cht05.

Fuente: Elaboración propia

Test de Prueba 2

La aplicación presentó problemas de rendimiento al superar los 2000 registros en la galería de visualización. La gran cantidad de datos no solo ralentizaba la carga de la aplicación, sino que también dificultaba la búsqueda de registros específicos en el historial, lo cual generaba una experiencia de usuario menos fluida y eficiente, ver Figura 33.

Figura 33 Exceso de registros en pantalla de visualización

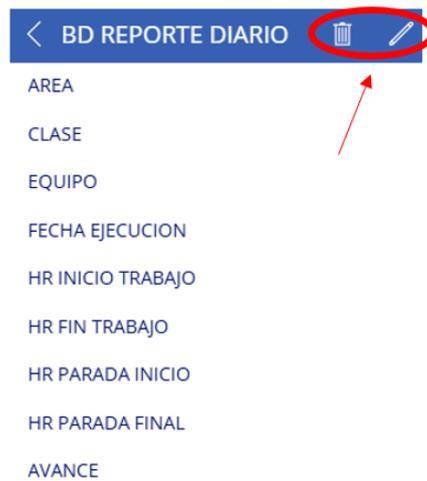


Fuente: Elaboración propia

Test de Prueba 3

Originalmente, los registros de la aplicación podían ser editados directamente desde la pantalla de detalles. Esta opción presentaba un riesgo de modificaciones accidentales o no autorizadas en los datos, como se observa en la parte superior derecha de la Figura 34.

Figura 34 Posibilidad de eliminación de registros



Fuente: Elaboración propia

La Tabla 9 presenta un resumen de los problemas identificados en cada uno de los test de prueba, incluyendo las dificultades observadas en los filtros de búsqueda de equipos, la visualización de registros y la edición de datos desde la aplicación.

Tabla 9 Test de pruebas de aplicativo

Test de Prueba	Ocurrencia de Reporte	Descripción de la Prueba	Problema Observado
Test de Prueba 1	Ocurrencia de Reporte 1	Filtro de búsqueda de equipo	Búsqueda extensa debido a demasiados equipos en Subárea.
Test de Prueba 2	Ocurrencia de Reporte 2	Visualización de registros	La aplicación se volvía lenta con más de 2000 registros en la galería.
Test de Prueba 3	Ocurrencia de Reporte 3	Edición de registros	Problemas al editar registros directamente desde la aplicación.

Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Estandarización y creación de órdenes de trabajo

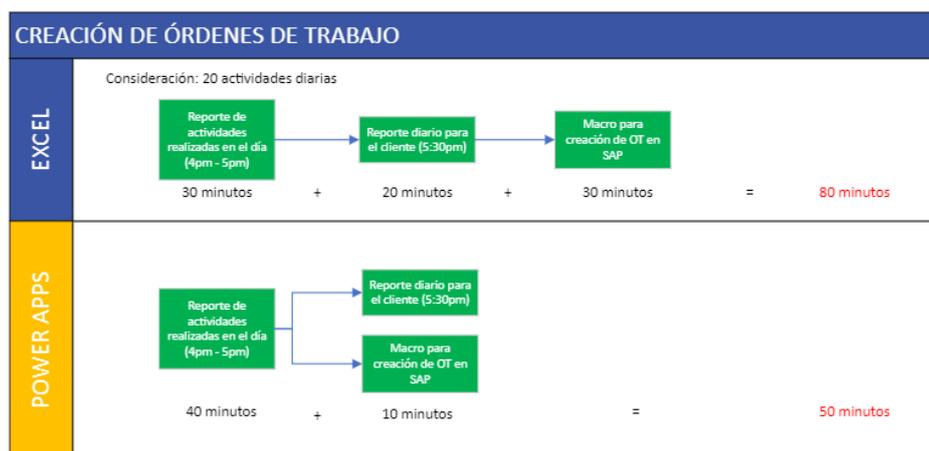
La implementación de PowerApps permitió establecer un estándar tanto en los reportes de actividades diarias como en la generación de órdenes de trabajo en SAP. Esta estandarización facilita el seguimiento y control de la

información registrada, mejorando la confiabilidad y consistencia de los datos de mantenimiento. En el caso de los reportes, PowerApps asegura que todos los datos ingresados sigan un formato unificado, optimizando su interpretación y análisis. Este aspecto es crucial para asegurar que la toma de decisiones sea precisa y basada en información homogénea.

4.1.3 Reducción de tiempo en la creación de órdenes de trabajo

Uno de los resultados más destacables es la reducción significativa en el tiempo dedicado a la creación de órdenes de trabajo en SAP. Como se muestra en la imagen adjunta, el proceso anterior usando Excel tomaba aproximadamente 80 minutos para gestionar 20 actividades diarias, mientras que, con PowerApps, el tiempo se reduce a 50 minutos, logrando un ahorro del 37.5%, ver Figura 35.

Figura 35 Comparativos en tiempo de generación de órdenes en SAP



Fuente: Elaboración propia

Este ahorro de tiempo fue posible gracias a la automatización del flujo de datos: los datos recolectados mediante PowerApps se integran directamente en SAP mediante un archivo de Excel preformateado y una macro, eliminando la

necesidad de realizar tareas repetitivas como la copia y pegado manual. Esto no solo optimiza el tiempo del planificador de mantenimiento, sino que también reduce el margen de error humano en la entrada de datos.

4.2 Discusión de resultados

4.2.1 Discusión de pruebas de funcionamiento

Discusión de ocurrencia reporte 1

Para mejorar este aspecto, se decidió reemplazar el filtro de "Subárea" por el de "Clase de Equipo", siguiendo la clasificación propuesta por la norma ISO 14224. Esta modificación facilitó la búsqueda, ya que la "Clase de Equipo" permite una segmentación más precisa y eficiente. Con este ajuste, la identificación de equipos se volvió más ágil y específica, optimizando la experiencia de usuario en la búsqueda de información.

Discusión de ocurrencia reporte 2

Para mejorar la velocidad y facilidad de acceso, se implementó un filtro de fecha a través del componente DatePicker1. Esta nueva funcionalidad permite al usuario filtrar los registros de un día específico, limitando la carga de datos en la pantalla de visualización. Con este cambio, la aplicación se volvió más rápida y manejable, facilitando el acceso a información precisa de manera ágil.

Discusión de ocurrencia reporte 3

Para evitar estos riesgos, se decidió eliminar los botones de edición en la pantalla de detalles. Ahora, cualquier modificación debe ser solicitada al planificador y realizada en MS Access, con lo cual se garantiza un mayor control

sobre los cambios realizados. Esta medida permite mantener la integridad de los registros y asegura una trazabilidad más confiable en el manejo de los datos.

La Tabla 10 muestra las soluciones implementadas para cada problema identificado en los test de prueba, detallando los ajustes realizados en los filtros de búsqueda, la optimización de la visualización de registros y las mejoras en el control de edición de datos.

Tabla 10 Discusión de pruebas

Test de Prueba	Ocurrencia de Reporte	Descripción de la Prueba	Problema Observado	Solución Implementada	Resultados
Test de Prueba 1	Ocurrencia de Reporte 1	Filtro de búsqueda de equipo	Búsqueda extensa debido a demasiados equipos en Subárea	Se cambió el segundo filtro a "Clase de Equipo" según la ISO 14224	Mejora en la velocidad y precisión de la búsqueda
Test de Prueba 2	Ocurrencia de Reporte 2	Visualización de registros	La aplicación se volvía lenta con más de 2000 registros en la galería	Se añadió el filtro de fecha (DatePicker1) para visualizar registros específicos	Reducción del tiempo de carga y mejora en la usabilidad
Test de Prueba 3	Ocurrencia de Reporte 3	Edición de registros	Problemas al editar registros directamente desde la aplicación	Se eliminó la opción de edición directa; cambios gestionados en MS Access	Mejora en la confiabilidad y control de la edición

Fuente: Elaboración propia

4.2.2 Beneficios en la planificación y eficiencia operativa

La reducción en el tiempo de creación de órdenes de trabajo permite que los planificadores de mantenimiento puedan enfocarse en otras actividades de valor agregado, como la programación anticipada de intervenciones y el análisis de tendencias de fallas. Esto repercute positivamente en la eficiencia operativa, ya que, al reducir el tiempo de administración, se optimizan los tiempos de respuesta ante las necesidades de mantenimiento, mejorando la disponibilidad de los equipos en la planta.

4.2.3 Evaluación comparativa con el proceso anterior

La comparación entre el flujo de trabajo anterior (usando Excel) y el nuevo proceso (con PowerApps) revela que la simplificación del proceso ha reducido los pasos necesarios para la creación de órdenes de trabajo. Este cambio no solo agiliza el flujo de trabajo, sino que también incrementa la confiabilidad de los datos al reducir los posibles errores de transcripción, que eran más comunes en el proceso manual anterior.

CONCLUSIONES

- La implementación de una gestión de mantenimiento a través de PowerApps, basada en la norma ISO 14224:2016, mejoró la confiabilidad de los datos de falla en la unidad minera de estaño. Al estandarizar y automatizar los registros de mantenimiento, se logró una mayor uniformidad en la información, lo cual facilita el análisis y la toma de decisiones estratégicas para la optimización de recursos y la reducción de inactividad en los equipos críticos.
- La configuración de la aplicación en PowerApps permitió estandarizar el proceso de recolección y registro de datos de fallas de manera efectiva, alineando estos registros con los lineamientos de la ISO 14224:2016. Esto asegura que la información registrada sea consistente y confiable, minimizando errores en el ingreso de datos y facilitando su uso en análisis posteriores para la mejora continua de la gestión de mantenimiento.
- La automatización de la creación de órdenes de trabajo en el CMMS (SAP) a partir de datos estandarizados fue exitosa, mejorando los tiempos de respuesta en la gestión de mantenimiento y reduciendo el riesgo de errores. Con PowerApps, el tiempo para gestionar 20 actividades diarias pasó de 80 a 50 minutos, logrando un ahorro del 37.5%.
- La automatización del flujo de datos entre la base de datos y el CMMS (SAP) redujo considerablemente el tiempo necesario para la creación de órdenes de trabajo, lo que incrementa la eficiencia operativa en la planificación de mantenimiento. Este enfoque automatizado permitió una gestión más ágil y efectiva de los recursos de mantenimiento, lo que contribuye a una menor inactividad de los equipos y a una mayor disponibilidad operativa en la unidad minera.

RECOMENDACIONES

Una de las principales recomendaciones derivadas de este trabajo es considerar la migración de la base de datos actual en SharePoint a una basada en SQL. Esto permitiría manejar de manera más robusta grandes volúmenes de información y realizar consultas más rápidas y complejas. Aunque esta transición conlleva costos iniciales de adquisición e implementación, los beneficios en términos de escalabilidad, confiabilidad y soporte técnico la convierten en una inversión estratégica a largo plazo, especialmente en escenarios de alta demanda de datos.

Además, se sugiere desarrollar una aplicación nativa para dispositivos móviles con sistemas operativos Android e iOS. Esto mejoraría significativamente la fluidez y accesibilidad de la herramienta, al aprovechar de manera más eficiente los recursos del hardware. Una aplicación nativa también permitiría trabajar en modo offline, asegurando que el personal pueda registrar datos incluso en áreas con baja conectividad, y sincronizarlos posteriormente con la base de datos central, lo cual sería conveniente para el rubro minero donde la conectividad suele ser baja.

Otra área de mejora clave es la incorporación de herramientas de análisis predictivo mediante minería de datos avanzada. Esto habilitaría la capacidad de identificar patrones de fallas recurrentes y predecir posibles problemas futuros. Al implementar estas técnicas, se podrían priorizar intervenciones preventivas más efectivas y reducir las paradas imprevistas, optimizando los recursos destinados al mantenimiento.

Por último, es esencial implementar un programa de capacitación continua para los usuarios finales de la aplicación, como supervisores y planificadores de mantenimiento. Esto asegurará que el sistema sea utilizado de manera eficiente y uniforme, reduciendo errores y mejorando la adopción general de las herramientas. Además, fortalecer las competencias digitales del personal facilitará la transición hacia sistemas más avanzados y alineados con los principios de la Industria 4.0.

REFERENCIAS

Society of Automotive Engineers. (2009). SAE JA1011: *Evaluation criteria for reliability-centered maintenance processes*. SAE International.

Palmer, R. D. (2012). *Maintenance Planning and Scheduling Handbook* (3ra ed.). McGraw-Hill

International Organization for Standardization (ISO). (2016). ISO 14224:2016. Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. <https://www.iso.org/standard/62548.html>

Campos-López, O., Tolentino-Eslava, G., Toledo-Velázquez, M., & Tolentino-Eslava, R. (2019). Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos. *Científica*, 23(1), 51-59. <https://doi.org/10.46842/ipn.cien.v23n1a06>

Society for Maintenance and Reliability Professionals. (2020). *SMRP best practices: Metrics and measures* (6th ed.). Society for Maintenance and Reliability Professionals.

Gulati, R. (2020). *Maintenance and Reliability Best Practices* (3ra ed.). Industrial Press.

Ruiz y Yarita (2021). Monitoreo del proceso de mantenimiento de grupos electrógenos bajo la normativa ISO 14224, en una central termoeléctrica de la región Loreto. [Tesis profesional, Universidad Privada Antenor Orrego]. <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/7833>

Abad, Y. (2022). Implementación de una aplicación móvil para la gestión del mantenimiento en una empresa de venta de máquinas y equipos en Lima. [Tesis

profesional, Universidad Tecnológica del Perú].

<https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/6708>

Muñante, E. (2022). *Tipos de tareas de mantenimiento*. LinkedIn.

<https://www.linkedin.com/pulse/tipos-de-tareas-mantenimiento-ing-cip-cmrp-edison-mu%C3%B1ante-mendoza/>

Microsoft. (2024, 16 de agosto). *Power Apps: Overview*. Recuperado de <https://learn.microsoft.com/es-es/power-apps/powerapps-overview>

Microsoft. (s.f.). *Introducción a Power Apps*. Recuperado el [2024], de <https://learn.microsoft.com/es-es/power-apps/powerapps-overview>

CMMS. (s. f.). *Parte II: Criterios generales de la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)*. CMMS. Recuperado el [2024], de <https://cmms.pe/parte-ii-criterios-generales-de-la-metodologia-del-mantenimiento-centrado-en-la-confiabilidad-rcm/>

Amazon Web Services. (s.f.). *¿Qué es la minería de datos?* Amazon Web Services. Recuperado el [2024] de <https://aws.amazon.com/es/what-is/data-mining/>

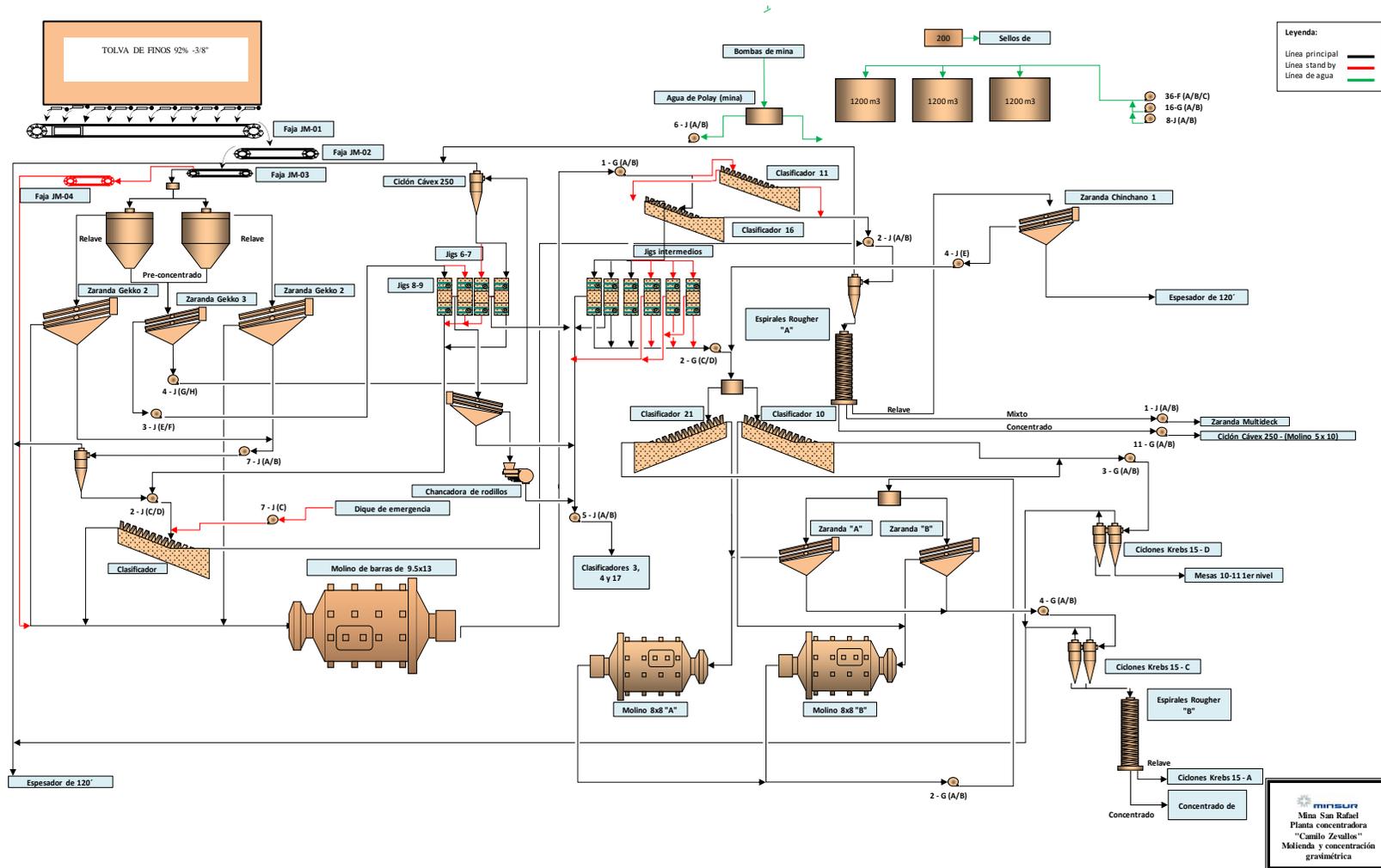
SAP. (s.f.). *¿Qué es la minería de datos?*. SAP. Recuperado de <https://www.sap.com/latinamerica/products/technology-platform/hana/what-is-data-mining.html>

IBM. (s.f.). *What is Data Mining?* Recuperado de <https://www.ibm.com/es-es/topics/data-mining>

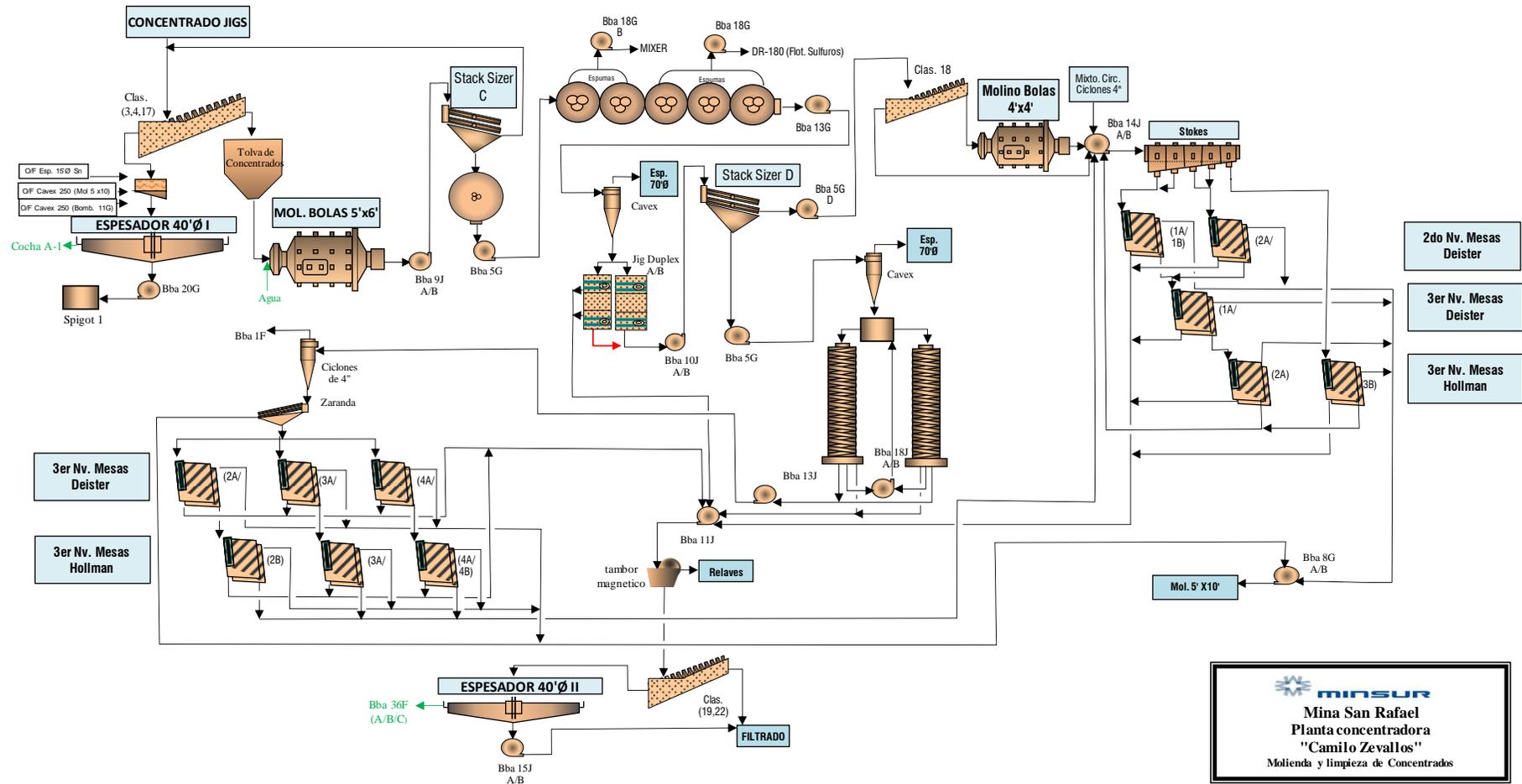
ANEXOS

Anexo 1 Detalle de diagrama de flujo de molienda.....	1
Anexo 2 Detalle de diagrama de flujo de proceso de flotación	2
Anexo 3 Detalle de diagrama de flujo de proceso de gravimetría.....	3
Anexo 4 Detalle de flujo de proceso de espesamiento y filtrado	4

Anexo 1 Detalle de diagrama de flujo de molienda

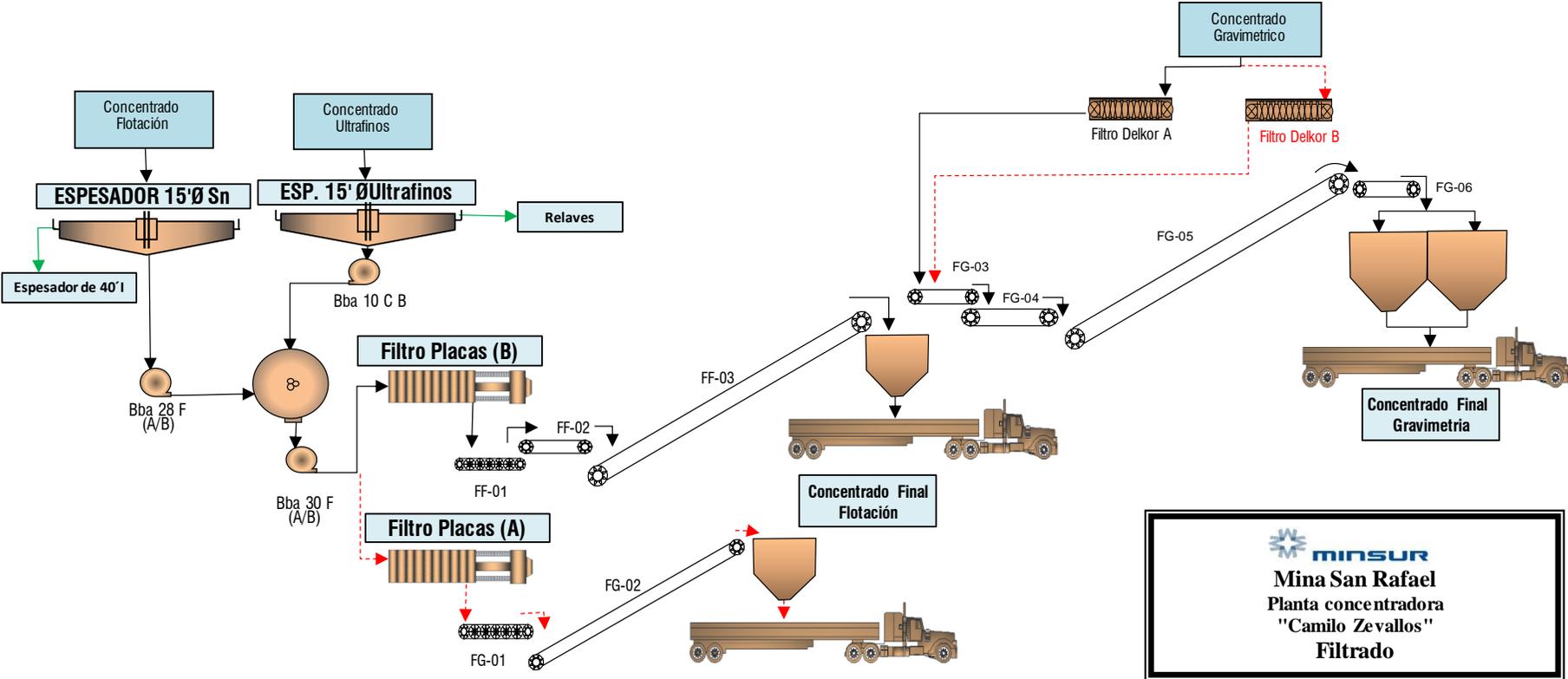


Anexo 3 Detalle de diagrama de flujo de proceso de gravimetría




Mina San Rafael
Planta concentradora
"Camilo Zevallos"
 Molienda y limpieza de Concentrados

Anexo 4 Detalle de flujo de proceso de espesamiento y filtrado




MINSUR
Mina San Rafael
Planta concentradora
"Camilo Zevallos"
Filtrado