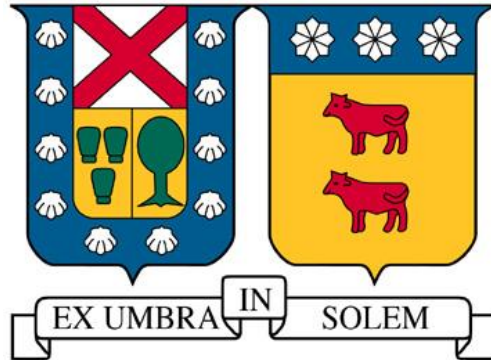


UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS
VALPARAISO – CHILE



Evaluación técnico-económica de alternativas de renovación
tecnológica de variadores de frecuencia de media tensión por
obsolescencia en División Ministro Hales

Bernardo Andrés Roca Fierro

TRABAJO FINAL PARA OPTAR AL GRADO DE
MAGÍSTER EN GESTIÓN DE ACTIVOS Y MANTENIMIENTO

PROFESOR GUÍA

: Sr. Cristian Carvallo González

OCTUBRE 2026



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☐ Memoria o trabajo de título ☒ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Evaluación técnico-económica de alternativas de renovación tecnológica de variadores de frecuencia de media tensión por obsolescencia en División Ministro Hales

Nombre del candidato(a): Bernardo Roca Fierro

Carrera / Grado: Magíster en Gestión de Activos y Mantenimiento

Campus: Campus Santiago, Vitacura Departamento: Industrias

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Cristian Carvallo Gonzalez, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☐ El trabajo **NO** contiene información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☒ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (marcar una opción):

☐ 6 meses ☒ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

☒ Considerando que la tesis incorpora antecedentes técnicos y económicos de división Ministro Hales de Codelco, incluyendo cotizaciones comerciales de proveedores, solicito restringir su publicación por 12 meses.

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 23/10/2026

Firma:

Firma digital: C. Carvallo.

23-10-2026

Estudiante o Candidato(a):

Fecha:

22/10/2026

Firma:

Resumen ejecutivo

La continuidad operacional de una planta concentradora minera depende de la disponibilidad y confiabilidad de sus activos. En este contexto, los variadores de frecuencia (VDF) de media tensión cumplen una función relevante en el accionamiento de equipos asociados a procesos de transporte, molienda e impulsión de pulpas. Sin embargo, su permanencia en servicio puede verse comprometida por la obsolescencia tecnológica, especialmente cuando existen restricciones en la disponibilidad de repuestos y soporte técnico del fabricante, lo que puede dificultar la recuperación de los equipos ante eventuales fallas.

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar técnica y económicamente alternativas de renovación tecnológica para 24 variadores de frecuencia de media tensión Power Electronics XMV660, instalados en el Chancador Primario y la Planta Concentradora de División Ministro Hales de CODELCO. Para estructurar la investigación se utiliza la secuencia DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) como marco metodológico, adaptando sus etapas a la gestión de activos. Su aplicación permite organizar el diagnóstico de obsolescencia, el análisis de antecedentes operacionales y de mantenimiento, la evaluación de criticidad y riesgos, y la comparación técnico-económica de alternativas de renovación, sin perseguir los objetivos estadísticos tradicionales de Six Sigma.

El análisis histórico consideró 57 eventos asociados a sistemas accionados mediante los variadores evaluados, con una indisponibilidad acumulada de 498,69 horas durante el período 2024–2025. Asimismo, se identificó que 11 de los 24 VDF se encuentran asociados a activos clasificados como críticos para la continuidad operacional. No obstante, las limitaciones en la calidad y precisión de los registros impiden atribuir directamente todos los eventos a fallas internas de los variadores. Por esta razón, el diagnóstico incorporó criterios de obsolescencia tecnológica, criticidad operacional, mantenibilidad y restricciones de soporte, complementando la información histórica de confiabilidad.

La evaluación consideró tres alternativas: mantener los equipos existentes sin realizar inversiones de renovación, modernizarlos mediante retrofit o reemplazarlos por variadores de nueva generación. De acuerdo con las cotizaciones del proveedor, las inversiones estimadas para retrofit y reemplazo alcanzan USD 4,06 millones y USD 4,32 millones,

respectivamente. La comparación económica se desarrolló mediante el Valor Actual de Costos (VAC), considerando un horizonte de evaluación de diez años y una tasa de descuento del 8 % anual. Asimismo, se analizaron las consecuencias económicas potenciales de eventos de indisponibilidad prolongada, reconociendo la incertidumbre asociada a su ocurrencia.

Los resultados determinaron un VAC de USD 3,27 millones para la alternativa retrofit y USD 3,48 millones para el reemplazo completo, siendo el retrofit la opción de menor costo actualizado bajo los supuestos considerados. Por su parte, el escenario sin inversión alcanzó un VAC de USD 48,50 millones, condicionado por la ocurrencia hipotética de dos eventos de indisponibilidad prolongada durante el horizonte de evaluación. Este último valor representa una exposición económica potencial y no una pérdida futura demostrada, por lo que no constituye, por sí solo, evidencia de que el reemplazo sea económicamente superior en todos los escenarios.

A partir de la evaluación integrada de obsolescencia tecnológica, criticidad operacional, confiabilidad y costos, se propone priorizar el reemplazo gradual de los 24 VDF por equipos de nueva generación, buscando una solución que proporcione mejores condiciones de confiabilidad y continuidad operacional a largo plazo. Si bien el retrofit presenta un menor VAC, el reemplazo completo ofrece un mayor alcance de renovación tecnológica, al incorporar componentes que permanecen originales en la alternativa retrofit, como el transformador de potencia. Esta diferencia permite fundamentar la recomendación desde la gestión del riesgo residual asociado a la obsolescencia y la búsqueda de una solución tecnológicamente más sostenible, sin asumir una eliminación total de las fallas futuras ni una mejora de confiabilidad cuantitativamente demostrada. La estrategia propuesta considera una programación referencial de intervención, medidas de transición, gestión de repuestos e indicadores de seguimiento para una eventual implementación, sujeta a la validación de las condiciones técnicas, de soporte y de costos correspondientes.

Palabras clave: Gestión de activos; DMAIC; Obsolescencia tecnológica; Variadores de frecuencia; Evaluación económica; Continuidad operacional.

Abstract

The operational continuity of a mineral processing plant depends on the availability and reliability of its assets. In this context, medium-voltage variable frequency drives (VFDs) play an important role in operating equipment associated with material handling, grinding, and slurry pumping processes. However, their continued operation may be compromised by technological obsolescence, particularly when spare parts availability and manufacturer technical support become limited, potentially increasing equipment recovery times following failures.

The objective of this study is to conduct a technical and economic evaluation of technological renewal alternatives for 24 Power Electronics XMV660 medium-voltage variable frequency drives installed at CODELCO's Ministro Hales Division, specifically in the Primary Crusher and Concentrator Plant. The DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, and Control) sequence is used as a methodological framework, adapting its five phases to asset management. This approach structures the assessment of technological obsolescence, the analysis of operational and maintenance records, the evaluation of asset criticality and associated risks, and the technical and economic comparison of renewal alternatives, without pursuing the conventional statistical objectives of Six Sigma.

The historical analysis identified 57 events associated with systems driven by the VFDs under evaluation, accounting for 498.69 hours of accumulated downtime during the 2024–2025 period. Additionally, 11 of the 24 VFDs were found to be associated with assets classified as critical to operational continuity. Nevertheless, limitations in the accuracy and completeness of maintenance records prevent all recorded events from being directly attributed to internal VFD failures. Consequently, the assessment incorporated technological obsolescence, operational criticality, maintainability, and technical support limitations to complement the historical reliability information.

Three alternatives were evaluated: maintaining the existing equipment without renewal investments, upgrading the drives through retrofit, and replacing them with new-generation VFDs. Based on supplier quotations, the estimated investments for retrofit and complete replacement amount to USD 4.06 million and USD 4.32 million, respectively. The

economic assessment was conducted using the Present Value of Costs (PVC), considering a ten-year evaluation horizon and an annual discount rate of 8%. The potential economic consequences of prolonged downtime events were also assessed, acknowledging the uncertainty associated with their occurrence.

The results indicate a PVC of USD 3.27 million for the retrofit alternative and USD 3.48 million for complete replacement, making retrofit the alternative with the lowest discounted cost under the assumptions considered. The no-investment scenario resulted in a PVC of USD 48.50 million, conditional on the hypothetical occurrence of two prolonged downtime events during the evaluation period. This amount represents potential economic exposure rather than a demonstrated future loss and, therefore, does not independently establish the economic superiority of complete replacement under all possible scenarios.

Based on an integrated assessment of technological obsolescence, operational criticality, reliability, and costs, the gradual replacement of the 24 VFDs with new-generation equipment is proposed, seeking a solution that offers improved conditions for long-term reliability and operational continuity. Although retrofit presents a lower PVC, complete replacement provides a broader scope of technological renewal by including components that remain unchanged under the retrofit alternative, such as the power transformer. This difference supports the recommendation from the perspective of managing residual risks associated with obsolescence and pursuing a more technologically sustainable solution, without assuming the complete elimination of future failures or a quantitatively demonstrated improvement in reliability. The proposed strategy includes an indicative replacement schedule, transition measures, spare parts management, and performance monitoring indicators to support potential implementation, subject to validation of the relevant technical, support, and cost conditions.

Keywords: Asset Management; DMAIC; Technological Obsolescence; Medium-Voltage Variable Frequency Drives; Technical and Economic Evaluation.

Índice

RESUMEN EJECUTIVO.....	2
ABSTRACT	4
ÍNDICE	6
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE TABLAS	9
INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES GENERALES	12
1.1. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	12
1.2. OBJETIVOS Y ALCANCES.....	12
1.2.1. <i>Objetivo General</i>	12
1.2.2. <i>Objetivos Específicos</i>	12
1.3. ALCANCE	13
1.4. ENFOQUE METODOLÓGICO GENERAL	14
CAPÍTULO 2 ESTADO DEL ARTE.....	16
2.1. ANTECEDENTES DEL CASO ESTUDIO	16
2.1.1. <i>Codelco</i>	16
2.1.2. <i>División Ministro Hales</i>	16
2.1.3. <i>Proceso productivo del cobre en División Ministro Hales</i>	17
2.1.4. <i>Sistema eléctrico de la División Ministro Hales</i>	18
2.1.5. <i>Variador de Frecuencia (VDF)</i>	19
2.2. CONTEXTO DE LA PROBLEMÁTICA	20
2.2.1. <i>Importancia de los Variadores de Frecuencia en la Continuidad Operacional</i>	20
2.2.2. <i>Contexto del problema</i>	21
2.2.3. <i>Estado actual de los variadores de frecuencia</i>	21
2.2.4. <i>Limitaciones de la información histórica de fallas</i>	22
2.2.5. <i>Riesgo asociado a la obsolescencia tecnológica</i>	23
2.3. CASOS SIMILARES	24
2.3.1. <i>Aplicación de DMAIC en la gestión del mantenimiento</i>	24
2.3.2. <i>Renovación de sistemas de control afectados por obsolescencia tecnológica</i>	25
2.3.3. <i>Modernización de activos eléctricos críticos por obsolescencia tecnológica</i>	27
2.3.4. <i>Evaluación de alternativas de reparación y reemplazo de activos</i>	28
2.4. MARCO TEÓRICO	30
2.4.1. <i>Gestión de Activos</i>	30

2.4.2.	<i>Obsolescencia Tecnológica</i>	31
2.4.3.	<i>Fundamentos de Six Sigma y su alcance en la investigación</i>	33
2.4.1.	<i>Metodología DMAIC y su aplicación a la evaluación de activos</i>	34
2.4.5.	<i>Esquema metodológico integrado de la investigación</i>	36
CAPÍTULO 3	DESARROLLO DEL TEMA	37
3.1.	ETAPA DEFINIR (DEFINE)	37
3.1.1.	<i>Definición del problema</i>	38
3.1.2.	<i>Alcance y universo de estudio</i>	39
3.1.3.	<i>Voz del negocio (Voice of Business)</i>	40
3.2.	ETAPA MEDIR (MEASURE)	41
3.2.1.	<i>Levantamiento y tratamiento de la información histórica</i>	42
3.2.2.	<i>Comportamiento histórico – Área Chancado</i>	42
3.2.3.	<i>Comportamiento histórico – Área Molienda</i>	45
3.2.4.	<i>Comportamiento histórico – Área Flotación</i>	48
3.2.5.	<i>Comportamiento histórico – Área Relaves</i>	51
3.2.6.	<i>Consolidación del comportamiento histórico de los VDF</i>	54
3.3.	ETAPA ANALIZAR (ANALYZE)	55
3.3.1.	<i>Análisis de obsolescencia tecnológica de los VDF</i>	56
3.3.2.	<i>Análisis del comportamiento histórico de fallas</i>	57
3.3.3.	<i>Análisis de criticidad operacional</i>	59
3.3.4.	<i>Análisis integrado de obsolescencia, confiabilidad y criticidad</i>	61
3.3.5.	<i>Diagnóstico técnico de la condición actual</i>	63
3.4.	ETAPA MEJORAR (IMPROVE)	63
3.4.1.	<i>Evaluación de alternativas de intervención</i>	64
3.4.2.	<i>Evaluación económica de alternativas</i>	67
3.4.3.	<i>Recomendación de inversión</i>	75
3.5.	ETAPA CONTROLAR (CONTROL)	76
3.5.1.	<i>Plan de transición</i>	76
3.5.2.	<i>Gestión de repuestos, soporte y mantenibilidad</i>	77
3.5.3.	<i>Indicadores de seguimiento y control</i>	78
CONCLUSIONES		80
BIBLIOGRAFÍA		82
ANEXOS		1

Índice de Figuras

Figura 2-1: Vista satelital de la división ministro Hales.	17
Figura 2-2: Planta molienda de la planta concentradora	18
Figura 2-3: Diagrama unilineal representativo del sistema eléctrico de potencia de la División Ministro Hales	18
Figura 2-4: Variador de Frecuencia Power Electronics XMV660	20
Figura 2-5: Ciclo DMAIC	34
Figura 2-6: Esquema metodológico integrado para la evaluación de alternativas de renovación tecnológica de VDF.	36
Figura 3-1: Pareto cantidad de eventos en área de chancado.	43
Figura 3-2: Pareto tiempo para reparar en área chancado.....	44
Figura 3-3: Jack Knife modos de eventos en área Chancado.	44
Figura 3-4: Pareto cantidad de fallas en área molienda.	46
Figura 3-5: Pareto tiempo para reparar en área molienda.....	46
Figura 3-6: Jack Knife modos de falla en área molienda.....	47
Figura 3-7: Pareto cantidad de fallas en área flotación.	48
Figura 3-8: Pareto tiempo para reparar en área flotación.....	49
Figura 3-9: Jack Knife modos de falla en área flotación.....	49
Figura 3-10: Pareto cantidad de fallas en área relaves.....	51
Figura 3-11: Pareto tiempo para reparar en área relaves.....	52
Figura 3-12: Jack Knife modos de falla en área relaves.....	52
Figura 3-13: Aviso de producto descatalogado correspondiente a la serie XMV660	56
Figura 3-14: Integración de variables para la evaluación del riesgo asociado a los VDF XMV660.	62
Figura 3-15: Componentes incluidos y excluidos del alcance de retrofit de los VDF XMV660.	66

Índice de Tablas

Tabla 3-1: Variadores de frecuencia considerados en el caso de estudio.	40
Tabla 3-2: Indicadores de comportamiento histórico de fallas.	45
Tabla 3-3: Resumen de eventos área molienda.	47
Tabla 3-4: Resumen horas de indisponibilidad área Flotación	50
Tabla 3-5: Resumen fallas área relaves	53
Tabla 3-6: Consolidado de eventos asociados a VDFs.....	54
Tabla 3-7: Identificación de variadores de frecuencia asociados a activos críticos.	60
Tabla 3-8: Costos retrofit VDF existentes.....	65
Tabla 3-9: Costos cambio de VDF por nueva versión (mismo fabricante).	67
Tabla 3-10: Parámetros para la evaluación económica	68
Tabla 3-11: Propuesta de intervención VDF por año.....	70
Tabla 3-12: Programación de inversión anual para reemplazo por VDF de nueva generación	70
Tabla 3-13: Escenario 1- Sin inversión.....	72
Tabla 3-14: Escenario 2 – Retrofit de los VDF existentes.....	73
Tabla 3-15: Escenario 3. Reemplazo por VDF de nueva generación.....	73
Tabla 3-16: Comparación económica de escenarios.....	74
Tabla 3-17: Indicadores de seguimiento y control de la renovación tecnológica.....	78

Introducción

En la industria minera, la continuidad operacional constituye un factor fundamental para asegurar la productividad y eficiencia de los procesos. En este contexto, los sistemas eléctricos y de accionamiento desempeñan un papel relevante, particularmente los variadores de frecuencia (VDF) de media tensión, los cuales permiten controlar la velocidad y el torque de motores eléctricos asociados a equipos esenciales para el proceso productivo.

La gestión de estos activos requiere considerar no solo su comportamiento operacional y los antecedentes históricos de fallas, sino también las condiciones de soporte técnico, disponibilidad de repuestos y vigencia tecnológica. En este sentido, la obsolescencia representa un desafío para la gestión del ciclo de vida de los activos, debido a que un equipo puede mantener condiciones aceptables de funcionamiento y, simultáneamente, presentar restricciones que dificulten su recuperación ante una eventual falla.

En División Ministro Hales de CODELCO se identificó una población de 24 variadores de frecuencia de media tensión pertenecientes a la plataforma Power Electronics XMV660, instalados en el Chancador Primario y la Planta Concentradora, cuya tecnología ha sido declarada obsoleta por el fabricante. Esta condición genera incertidumbre respecto de la sostenibilidad de su operación a largo plazo, especialmente en aquellas aplicaciones asociadas a equipos de alta criticidad operacional.

Frente a esta problemática, surge la necesidad de evaluar alternativas de renovación tecnológica mediante un enfoque que integre antecedentes de confiabilidad, criticidad operacional, obsolescencia y evaluación económica. De esta manera, la decisión de inversión no depende exclusivamente de la frecuencia histórica de fallas, sino también de las consecuencias potenciales de mantener equipos con restricciones de soporte y disponibilidad de repuestos.

El presente trabajo desarrolla una evaluación técnica y económica de alternativas de renovación tecnológica para los 24 variadores de frecuencia identificados. Para estructurar la investigación se utiliza la secuencia DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) como marco metodológico, adaptando sus cinco fases a la gestión de activos industriales. Su aplicación permite organizar el diagnóstico de obsolescencia tecnológica, el análisis de antecedentes operacionales y de mantenimiento, la evaluación de criticidad

y riesgos, y la comparación técnico-económica de alternativas de intervención, incorporando una propuesta de seguimiento para una eventual implementación.

La investigación considera la evaluación de dos alternativas de renovación: la modernización de los variadores existentes mediante retrofit y su reemplazo por equipos de nueva generación. Asimismo, incorpora un escenario de continuidad operacional sin inversión, con el propósito de comparar las implicancias económicas de las distintas decisiones mediante el Valor Actual de Costos (VAC).

Finalmente, el estudio busca contribuir a la gestión de activos mediante una propuesta de renovación tecnológica sustentada en criterios técnicos y económicos, orientada a abordar preventivamente la obsolescencia y apoyar la toma de decisiones de inversión. Su alcance comprende el diagnóstico, la evaluación de alternativas y la formulación de una estrategia de intervención y seguimiento, sin considerar la ejecución física del reemplazo ni la medición posterior de sus resultados operacionales.

Capítulo 1 ANTECEDENTES GENERALES

1.1. Justificación del estudio

Considerando la condición de obsolescencia tecnológica de los variadores de frecuencia de media tensión, las restricciones de soporte técnico y disponibilidad de repuestos, así como los riesgos asociados a la continuidad operacional de los procesos involucrados, resulta necesario evaluar alternativas de renovación tecnológica que permitan fundamentar una decisión de inversión desde la perspectiva de la gestión de activos.

En este contexto, la presente investigación propone utilizar la metodología DMAIC como una herramienta estructurada para organizar el proceso de análisis, integrar antecedentes históricos de mantenimiento, criterios de gestión de activos, evaluación de criticidad y condiciones de obsolescencia tecnológica, con el propósito de generar una justificación técnica para la renovación de los variadores de frecuencia de media tensión de la Planta Concentradora de División Ministro Hales.

1.2. Objetivos y Alcances

1.2.1. Objetivo General

Evaluar técnica y económicamente alternativas de renovación tecnológica para los variadores de frecuencia de media tensión Power Electronics XMV660 instalados en el Chancador Primario y la Planta Concentradora de División Ministro Hales, integrando criterios de obsolescencia tecnológica, criticidad operacional, mantenibilidad, riesgo y costo del ciclo de vida, mediante un proceso de evaluación estructurado en las etapas DMAIC, con el propósito de fundamentar y priorizar una estrategia de renovación de activos

1.2.2. Objetivos Específicos

1. Caracterizar la población de variadores de frecuencia de media tensión objeto de estudio, identificando sus funciones operacionales, condición tecnológica, disponibilidad de repuestos, soporte del fabricante y calidad de los antecedentes de mantenimiento.

2. Diagnosticar la condición de obsolescencia tecnológica y el comportamiento histórico de los variadores, mediante el análisis de registros de eventos, indisponibilidad, mantenibilidad y restricciones de recuperación ante fallas.
3. Evaluar la criticidad operacional y los riesgos asociados a la continuidad de servicio de los variadores, integrando consecuencias potenciales de indisponibilidad, limitaciones de soporte tecnológico e incertidumbre de la información disponible.
4. Comparar técnica y económicamente las alternativas de continuidad operacional sin inversión, modernización mediante retrofit y reemplazo por equipos de nueva generación, considerando inversión, costos del ciclo de vida, riesgos residuales y escenarios de sensibilidad.
5. Proponer y priorizar una estrategia de renovación tecnológica de los variadores, estableciendo criterios de decisión, una programación referencial de intervención y mecanismos de seguimiento para su eventual implementación.

1.3. Alcance

El presente trabajo considera el análisis de 24 variadores de frecuencia de media tensión instalados en la Planta Concentradora de División Ministro Hales, los cuales han sido identificados dentro de una condición de fin de vida útil u obsolescencia tecnológica.

El estudio considera la revisión de antecedentes técnicos, registros históricos de fallas correspondientes al período comprendido entre los años 2024 y 2025, criticidad operacional, disponibilidad de repuestos, soporte del fabricante y alternativas de renovación de activos. La metodología DMAIC será utilizada como marco estructurado para desarrollar el análisis y fundamentar técnicamente la recomendación de renovación.

El alcance incluye la evaluación conceptual de alternativas como retrofit y reemplazo por nuevos equipos, considerando su impacto sobre la continuidad operacional, mantenibilidad, riesgo residual y gestión del ciclo de vida del activo. Adicionalmente, la evaluación económica contempla un horizonte de análisis proyectado entre los años 2026 y 2032

La presente investigación corresponde a un estudio aplicado de alcance descriptivo y exploratorio. Es descriptivo debido a que caracteriza la condición actual de los activos mediante antecedentes de obsolescencia tecnológica, criticidad, historial de fallas y

disponibilidad de soporte OEM. Asimismo, posee un carácter exploratorio al adaptar la metodología DMAIC a la evaluación y priorización de estrategias de renovación de activos industriales.

Quedan fuera del alcance la ingeniería de detalle, montaje, desmontaje, instalación física, comisionamiento en terreno y ejecución del proyecto de reemplazo.

1.4. Enfoque metodológico general

La presente investigación corresponde a un estudio aplicado de alcance descriptivo y exploratorio, orientado a la evaluación técnica y económica de alternativas de renovación tecnológica de variadores de frecuencia de media tensión afectados por obsolescencia en División Ministro Hales.

Para organizar el proceso de evaluación, se utiliza la secuencia DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) como estructura metodológica de la investigación. Su aplicación no tiene por finalidad reducir la variabilidad estadística de un proceso ni evaluar su capacidad mediante indicadores tradicionales de Six Sigma, sino proporcionar una secuencia lógica y trazable que permita relacionar el diagnóstico inicial, la información recopilada, los riesgos identificados, la comparación de alternativas y la propuesta de seguimiento.

Esta adaptación se fundamenta en antecedentes que muestran la posibilidad de integrar DMAIC con metodologías especializadas de mantenimiento, como el modelo híbrido DMAIC/TAM desarrollado por Trubetskaya et al. (2023). En el presente estudio, esta integración se orienta a la gestión de obsolescencia tecnológica, la evaluación de riesgos y el análisis de costos del ciclo de vida de activos industriales.

La etapa Definir establece el problema, los límites de la investigación y las necesidades del negocio. La etapa Medir caracteriza la condición de los activos mediante información operacional, registros de mantenimiento y antecedentes de obsolescencia. La etapa Analizar integra criticidad operacional, consecuencias de falla, mantenibilidad, incertidumbre y riesgo tecnológico. La etapa Mejorar comprende la formulación y evaluación técnico-económica de las alternativas de continuidad operacional sin inversión, modernización mediante retrofit y reemplazo completo. Finalmente, la etapa Controlar

establece mecanismos propuestos de seguimiento, gestión de repuestos y monitoreo para apoyar una eventual implementación.

La investigación no contempla la ejecución física de las alternativas ni la validación operacional posterior de sus resultados. Por lo tanto, las etapas Mejorar y Controlar se desarrollan a nivel de propuesta de decisión, planificación y seguimiento futuro. DMAIC cumple una función de organización metodológica, mientras que las herramientas de gestión de activos, evaluación de riesgos y análisis económico proporcionan los fundamentos técnicos para recomendar una estrategia de renovación tecnológica.

Capítulo 2 ESTADO DEL ARTE

2.1. Antecedentes del caso estudio

2.1.1. Codelco

CODELCO es una empresa estatal chilena dedicada a la explotación y producción de cobre, posicionándose como uno de los principales productores a nivel mundial. Durante 2025 alcanzó una producción anual de 1. kTM de cobre fino, equivalente al 26,16% de la producción nacional. Su relevancia estratégica para la economía chilena y para la industria minera la convierte en una organización donde la continuidad operacional de los activos productivos resulta fundamental.

2.1.2. División Ministro Hales

La División Ministro Hales corresponde a la división más reciente de CODELCO y se encuentra ubicada en la Región de Antofagasta. Sus operaciones consideran una Planta Concentradora y un Complejo de Tostación destinados al procesamiento de minerales sulfurados de cobre. La presente investigación se desarrolla específicamente en la Planta Concentradora, donde operan los variadores de frecuencia objeto de estudio. En la figura 2-2 se observan los principales procesos industriales de la División Ministro Hales desde una vista satelital.

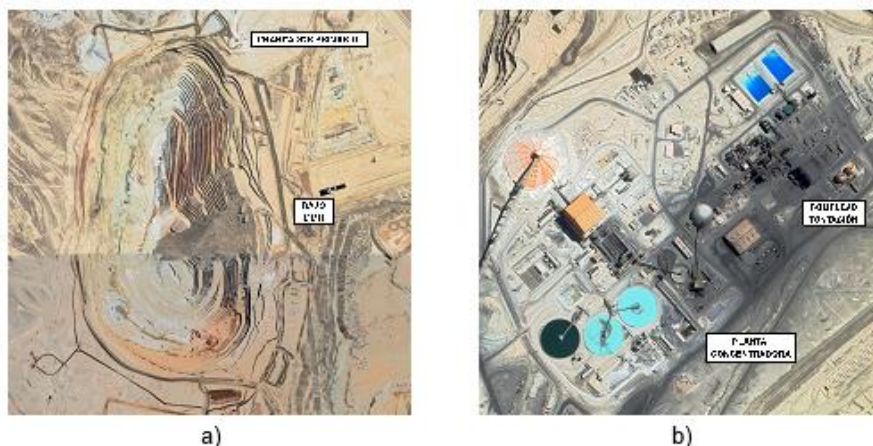


Figura 2-1: Vista satelital de la división ministro Hales.
a) Rajo a cielo abierto; b) Planta concentradora
Fuente. Elaboración propia a partir de imágenes de Google Earth

2.1.3. Proceso productivo del cobre en División Ministro Hales

La División Ministro Hales procesa principalmente minerales sulfurados de cobre mediante una ruta concentradora que considera las etapas de chancado, molienda, flotación y disposición de relaves. Estas etapas permiten reducir el tamaño del mineral, liberar las especies de interés y concentrar el cobre para su posterior procesamiento y comercialización.

El proceso comienza con la extracción y transporte del mineral desde la mina hacia el chancado primario, donde se realiza la primera reducción de tamaño. Posteriormente, el material es procesado en la Planta Concentradora mediante las etapas de molienda y flotación, donde se produce la separación y concentración del cobre contenido en la mineralización. Finalmente, el concentrado es sometido a procesos de espesamiento, mientras que el material remanente es gestionado mediante el sistema de relaves.

Los variadores de frecuencia de media tensión analizados en esta investigación se encuentran distribuidos en distintas áreas de la Planta Concentradora, principalmente en sistemas de transporte de mineral, bombas de impulsión y equipos asociados a los procesos de molienda, flotación y relaves. Debido a su función dentro del proceso productivo, la continuidad operacional de estos activos resulta fundamental para mantener la disponibilidad de la planta y asegurar el cumplimiento de los objetivos de producción.

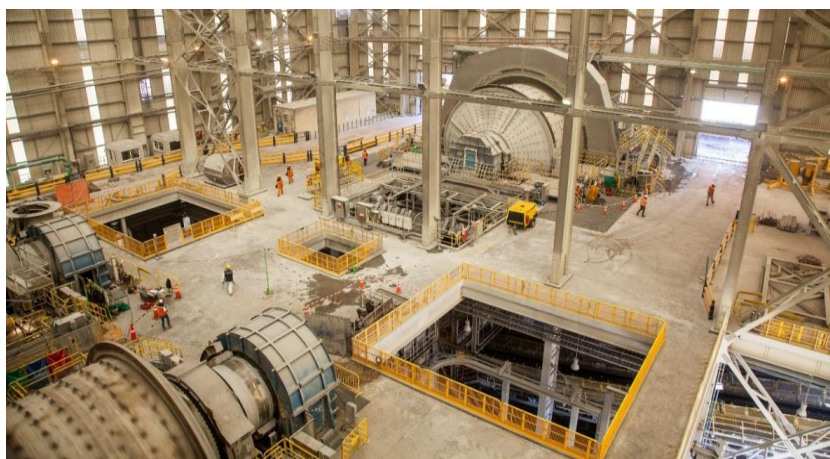


Figura 2-2: Planta molinda de la planta concentradora
 Planta molinda de la planta concentradora
 Fuente. Sitio web CODELCO

2.1.4. Sistema eléctrico de la División Ministro Hales

La infraestructura eléctrica de la División Ministro Hales (DMH) está constituida por un sistema de transmisión y distribución de energía que permite abastecer los distintos procesos productivos de la operación minera. El suministro eléctrico proviene del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), mediante su conexión con la subestación principal de la división. La distribución de energía considera principalmente los niveles de tensión de 220 kV, 23 kV y 4,16 kV, además de niveles inferiores destinados a cargas específicas.

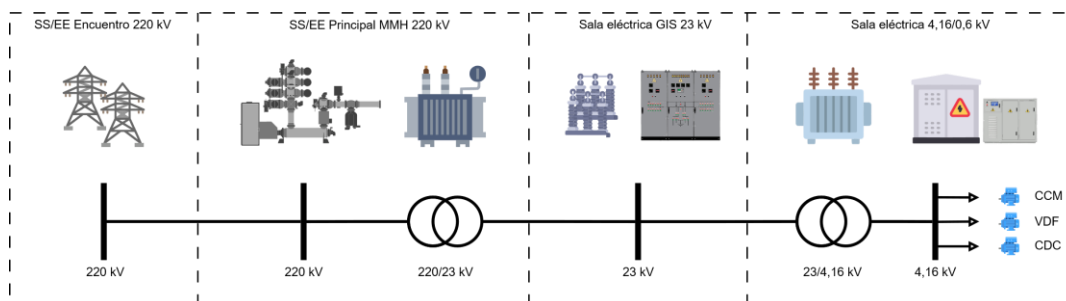


Figura 2-3: Diagrama unilineal representativo del sistema eléctrico de potencia de la División Ministro Hales
 Fuente. Elaboración propia.

La subestación principal DMH recibe energía en 220 kV y dispone de una configuración de doble barra, equipos de maniobra y protección, y transformadores de potencia destinados a reducir la tensión a 23 kV. Desde este nivel, la energía se distribuye hacia las diferentes instalaciones de la división mediante circuitos de media tensión,

abasteciendo las subestaciones unitarias y salas eléctricas asociadas a los procesos productivos.

En las subestaciones unitarias se realiza la transformación de tensión de 23 kV a 4,16 kV, permitiendo alimentar los sistemas de accionamiento eléctrico de la planta. Las salas eléctricas concentran equipos de distribución, protección y control, entre los que se encuentran centros de control de motores, sistemas de respaldo de energía y variadores de frecuencia. Estos últimos permiten regular la velocidad y las condiciones de operación de los motores eléctricos asociados a distintos procesos industriales.

En este contexto, los variadores de frecuencia de media tensión Power Electronics XMV660, objeto del presente estudio, forman parte de los sistemas de accionamiento utilizados en el Chancador Primario y la Planta Concentradora de DMH. Su integración a la infraestructura eléctrica y su participación en procesos productivos relevantes hacen necesario evaluar las condiciones de mantenibilidad, soporte tecnológico y continuidad operacional asociadas a estos equipos. Por lo tanto, la descripción del sistema eléctrico permite contextualizar su función dentro de la operación, mientras que los apartados siguientes profundizan en sus características técnicas y en la problemática de obsolescencia tecnológica que fundamenta la investigación.

2.1.5. Variador de Frecuencia (VDF)

Un Variador de Frecuencia (VDF) es un dispositivo electrónico utilizado para controlar la velocidad y el torque de motores eléctricos mediante la regulación de la tensión y frecuencia de salida. Su aplicación permite optimizar el desempeño operacional de los equipos, mejorar la eficiencia energética y adecuar las condiciones de operación a los requerimientos del proceso.

En la industria minera, los VDF de media tensión son ampliamente utilizados en equipos de alta potencia, tales como correas transportadoras, bombas de impulsión y sistemas de molienda. En la Planta Concentradora de División Ministro Hales, estos equipos forman parte de la infraestructura eléctrica crítica que soporta la continuidad operacional de los procesos productivos.

Debido a su función dentro del proceso y a la condición de obsolescencia tecnológica identificada en la plataforma XMV660, los VDF constituyen el principal objeto de estudio de la presente investigación.



Figura 2-4: Variador de Frecuencia Power Electronics XMV660
Fuente. Sitio web Power Electronics

2.2. Contexto de la problemática

2.2.1. Importancia de los Variadores de Frecuencia en la Continuidad Operacional

Los variadores de frecuencia de media tensión constituyen uno de los principales sistemas de accionamiento utilizados en la industria minera para el control de motores eléctricos de gran potencia. Su aplicación permite regular la velocidad y el torque de los motores de acuerdo con los requerimientos operacionales del proceso, contribuyendo a mejorar la eficiencia energética, disminuir esfuerzos mecánicos y optimizar el control de las distintas etapas de producción.

En la Planta Concentradora de División Ministro Hales, los variadores de frecuencia se encuentran asociados a equipos de alta criticidad operacional, tales como correas transportadoras, bombas de impulsión, sistemas de molienda y otros equipos cuya indisponibilidad puede afectar directamente la continuidad del proceso productivo.

Debido a la función estratégica que desempeñan estos equipos, su gestión no solo debe considerar aspectos relacionados con el mantenimiento correctivo o preventivo, sino

también con la administración de su ciclo de vida, disponibilidad tecnológica, mantenibilidad y capacidad de recuperación frente a una eventual falla.

En este contexto, la adecuada planificación de la renovación tecnológica de los variadores de frecuencia constituye un aspecto relevante dentro de la gestión de activos, ya que permite reducir riesgos asociados a la continuidad operacional, disponibilidad de repuestos y soporte técnico especializado.

El presente trabajo se centra en el análisis de uno de estos activos críticos, utilizando herramientas de gestión de activos, confiabilidad y mejora continua para desarrollar una metodología que permita fundamentar técnicamente la necesidad de su renovación.

2.2.2. Contexto del problema

La continuidad operacional de una planta concentradora depende de la disponibilidad y confiabilidad de los activos que participan en las distintas etapas del proceso productivo. Entre ellos, los variadores de frecuencia de media tensión desempeñan un rol fundamental al controlar motores eléctricos asociados a equipos críticos, tales como correas transportadoras, bombas de impulsión y sistemas de molienda.

Estos equipos constituyen parte esencial de la infraestructura eléctrica de la planta, por lo que una eventual indisponibilidad puede afectar directamente la producción y generar pérdidas operacionales significativas.

Tradicionalmente, las decisiones de reemplazo de activos industriales se sustentan en indicadores cuantitativos asociados al deterioro de su desempeño, tales como frecuencia de fallas, horas de indisponibilidad, costos de mantenimiento o pérdida de confiabilidad. En el caso de los variadores de frecuencia analizados, se registraron 57 eventos de falla y 498,69 horas de indisponibilidad acumulada durante el período 2024-2025. No obstante, la principal preocupación identificada no corresponde a estos indicadores históricos, sino a la condición de obsolescencia tecnológica declarada por el fabricante y la consecuente pérdida de soporte OEM y disponibilidad de repuestos.

2.2.3. Estado actual de los variadores de frecuencia

La obsolescencia tecnológica corresponde a la condición en que un equipo o sistema pierde progresivamente su capacidad de mantenerse y sostenerse tecnológicamente debido a la discontinuidad de componentes, restricciones en la disponibilidad de repuestos, disminución del soporte del fabricante o incompatibilidad con tecnologías

actuales. Esta condición no implica necesariamente que el equipo haya dejado de funcionar o que presente un deterioro de su desempeño operacional, sino que puede comprometer su mantenibilidad y capacidad de recuperación ante futuras fallas.

Como parte de la estrategia de gestión de activos desarrollada en la Planta Concentradora de División Ministro Hales, se realizó una evaluación técnica sobre un universo de 24 variadores de frecuencia de media tensión pertenecientes a la plataforma tecnológica XMV660, considerando antecedentes de obsolescencia tecnológica, disponibilidad de repuestos, soporte OEM e historial de fallas registrados entre 2024 y 2025. La evaluación identificó que 14 de los 24 equipos registraron eventos de falla durante el período analizado, acumulando un total de 57 eventos y 498,69 horas de indisponibilidad. No obstante, el principal hallazgo correspondió a la condición de obsolescencia tecnológica declarada por el fabricante, junto con las crecientes restricciones para acceder a repuestos, soporte especializado y actualizaciones tecnológicas.

2.2.4. Limitaciones de la información histórica de fallas

Con el propósito de evaluar el comportamiento histórico del activo objeto de estudio, se analizó la información proveniente de los registros de mantenimiento e imputaciones de fallas disponibles en la organización.

Durante este proceso se identificó que los registros históricos presentan distintos niveles de detalle, debido a que las imputaciones son realizadas principalmente por personal operativo y se encuentran orientadas al restablecimiento de la operación más que a la identificación precisa del componente que originó la falla.

Como consecuencia de ello, gran parte de los eventos registrados hacen referencia al equipo funcional afectado (motor, bomba o sistema accionado), sin permitir establecer con certeza si la causa raíz corresponde al variador de frecuencia, al motor eléctrico, al sistema de protección u otro componente del circuito de potencia.

Esta condición limita la posibilidad de calcular indicadores de confiabilidad específicos del variador de frecuencia basados exclusivamente en información histórica de fallas, constituyendo además una oportunidad de mejora para los procesos de gestión de activos y calidad de los registros de mantenimiento.

2.2.5. Riesgo asociado a la obsolescencia tecnológica

La obsolescencia tecnológica constituye una condición de riesgo para la continuidad operacional, asociada a la pérdida progresiva de soporte del fabricante, la discontinuidad de componentes críticos y las restricciones en la disponibilidad de repuestos. Esta condición no implica necesariamente un aumento de la frecuencia de fallas del equipo, sino una posible disminución de su mantenibilidad y capacidad de recuperación ante futuras contingencias.

Como antecedentes cuantitativos, el análisis histórico identificó 57 eventos asociados a los sistemas accionados por los VDF, con una indisponibilidad acumulada de 498,69 horas durante el período 2024–2025. Asimismo, 11 de los 24 variadores evaluados se encuentran asociados a activos clasificados como críticos para la continuidad operacional. Estos antecedentes permiten dimensionar la exposición operacional de los sistemas involucrados; sin embargo, debido a las limitaciones de los registros de mantenimiento, no es posible atribuir la totalidad de los eventos y tiempos de indisponibilidad a fallas internas de los variadores ni establecer una probabilidad de falla específica asociada a su obsolescencia.

En consecuencia, el riesgo tecnológico se evalúa considerando la criticidad operacional de los activos, las restricciones de soporte del fabricante y la disponibilidad de componentes de reemplazo. Si bien estas condiciones pueden dificultar la recuperación de los equipos ante una eventual falla, la información disponible no permite cuantificar directamente un incremento futuro del tiempo medio de reparación (MTTR). Por ello, la evaluación de alternativas de renovación incorpora estos factores como criterios técnicos de decisión, complementados posteriormente con el análisis económico de escenarios de indisponibilidad, cuyos resultados corresponden a estimaciones condicionadas por los supuestos establecidos en el estudio.

2.3. Casos similares

2.3.1. Aplicación de DMAIC en la gestión del mantenimiento

La aplicación de DMAIC en la gestión del mantenimiento industrial ha sido abordada en investigaciones orientadas a mejorar la eficiencia de las intervenciones, reducir los tiempos de indisponibilidad y optimizar el desempeño operacional de los activos. Estos estudios permiten identificar cómo las etapas Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar pueden organizar el análisis de problemas de mantenimiento e integrarse con herramientas especializadas para apoyar la toma de decisiones.

En el ámbito minero, Basualdo Larrazábal (2025) desarrolló una investigación orientada al mejoramiento del proceso de cambio de *latch bar* en una flota de palas electromecánicas 7495HR mediante la metodología Six Sigma y el ciclo DMAIC. El estudio analizó registros históricos de los años 2023 y 2024, identificando un tiempo promedio de intervención de 6,16 horas, superior al objetivo operacional establecido de entre 3 y 4 horas. Mediante herramientas de diagnóstico, análisis de causas y evaluación del desempeño, se identificaron oportunidades de mejora relacionadas con la estandarización de procedimientos, la planificación de recursos y las condiciones de ejecución de los trabajos.

Como resultado, la investigación formuló propuestas orientadas a reducir los tiempos de intervención y mejorar la eficiencia del proceso de mantenimiento. Asimismo, incorporó una evaluación económica que permitió analizar la conveniencia de implementar las mejoras propuestas. Este antecedente resulta relevante porque demuestra la utilización de DMAIC como una secuencia estructurada para relacionar el diagnóstico de un problema operacional con la formulación y evaluación de soluciones.

Por otra parte, Trubetskaya et al. (2024) desarrollaron un modelo híbrido que integra DMAIC con la metodología de gestión de paradas de mantenimiento (*Turnaround Maintenance*, TAM), aplicado a una instalación de procesamiento de productos lácteos en Irlanda. La investigación tuvo como propósito optimizar la ejecución de una parada anual de mantenimiento, mediante la identificación de oportunidades de mejora y la aplicación coordinada de herramientas de Lean Six Sigma y gestión de mantenimiento. Los

resultados reportaron una reducción del 36 % en la duración de la parada y un beneficio económico adicional de 8,9 millones de euros para la organización.

Este segundo antecedente evidencia que DMAIC puede integrarse con enfoques especializados de mantenimiento, proporcionando una secuencia sistemática para el diagnóstico, análisis, implementación y seguimiento de mejoras. No obstante, debe señalarse que los autores aplicaron herramientas de Lean Six Sigma y evaluaron resultados de una intervención ejecutada, por lo que su alcance difiere del presente estudio.

En conjunto, ambas investigaciones muestran aplicaciones de DMAIC en problemas de mantenimiento industrial, aunque centradas principalmente en la mejora del desempeño de procesos e intervenciones operacionales. En contraste, la presente investigación aborda una decisión de renovación tecnológica de variadores de frecuencia de media tensión afectados por obsolescencia, donde el propósito no es reducir la variabilidad estadística de un proceso, sino evaluar alternativas considerando criticidad operacional, mantenibilidad, soporte tecnológico, riesgo y costo del ciclo de vida. En consecuencia, DMAIC se adopta como una estructura organizativa del análisis, mientras que la fundamentación de la decisión se desarrolla mediante herramientas específicas de gestión de activos y evaluación técnico-económica.

2.3.2. Renovación de sistemas de control afectados por obsolescencia tecnológica

La obsolescencia tecnológica constituye una problemática relevante en los sistemas de automatización industrial, especialmente cuando los equipos continúan cumpliendo sus funciones operacionales, pero presentan restricciones asociadas a la discontinuidad de fabricación, disponibilidad de repuestos y soporte técnico del fabricante. En este contexto, Navarro Farías desarrolló una investigación orientada al diseño de la renovación del sistema de control de los estanques de productos finales del Terminal Marítimo Quintero de ENAP, mediante la sustitución de controladores lógicos programables (PLC) Schneider Modicon TSX Compact por una plataforma Schneider Modicon M340.

El estudio identificó que los controladores existentes mantenían un funcionamiento operacional satisfactorio; sin embargo, su condición de obsolescencia tecnológica representaba un riesgo para la continuidad futura del sistema. Entre las principales restricciones se encontraban la discontinuidad del hardware, la limitada disponibilidad de repuestos y la dependencia de un número reducido de especialistas familiarizados con la tecnología instalada, lo que dificultaba asegurar su mantenibilidad a largo plazo.

Para abordar esta problemática, la investigación consideró alternativas relacionadas con la continuidad de la condición existente y distintas modalidades de desarrollo de la ingeniería de renovación, incluyendo contratación externa y ejecución interna. La evaluación contempló aspectos técnicos, operacionales y económicos, tales como compatibilidad con la infraestructura instalada, soporte tecnológico, factibilidad de implementación e integración con los procedimientos de mantenimiento de la organización. A partir de estos antecedentes, se desarrolló una propuesta de renovación del sistema de control orientada a reducir las restricciones asociadas a su obsolescencia.

Este antecedente resulta relevante para la presente investigación porque evidencia que la necesidad de renovar un activo tecnológico no depende exclusivamente de una elevada frecuencia histórica de fallas. La continuidad operacional también puede verse comprometida por la pérdida de soporte del fabricante, la disponibilidad limitada de componentes y las dificultades de recuperación ante eventuales fallas.

La relación con el caso de estudio de División Ministro Hales radica en que los variadores de frecuencia Power Electronics XMV660 presentan una problemática de obsolescencia tecnológica que requiere evaluar estrategias para sostener su operación futura. No obstante, existe una diferencia importante: mientras la investigación de Navarro Farías se concentra en el diseño de una renovación de sistemas de control, la presente tesina compara alternativas de continuidad sin inversión, modernización mediante retrofit y reemplazo completo de variadores de frecuencia, integrando criterios de riesgo operacional y costo del ciclo de vida. Por lo tanto, el estudio de ENAP constituye un antecedente para fundamentar la necesidad de renovación tecnológica, pero no demuestra por sí mismo la superioridad del reemplazo completo frente al retrofit.

2.3.3. Modernización de activos eléctricos críticos por obsolescencia tecnológica.

La obsolescencia tecnológica constituye un factor relevante en las decisiones de modernización de activos eléctricos críticos, especialmente cuando la continuidad operacional depende de equipos cuya fabricación ha sido descontinuada o que presentan restricciones de soporte técnico y disponibilidad de repuestos. En este contexto, Estay Loo desarrolló una investigación orientada a la evaluación técnico-económica de la modernización de los accionamientos eléctricos asociados a motores sincrónicos de la molienda convencional de la Planta Concentradora de Codelco División Andina.

El estudio consideró una población de trece motores sincrónicos con antigüedades comprendidas entre 40 y 55 años. A partir de los antecedentes técnicos recopilados, se identificaron condiciones asociadas al envejecimiento de los equipos, restricciones de mantenibilidad, disponibilidad de repuestos y riesgos para la continuidad operacional. Aunque parte de los activos mantenía un funcionamiento satisfactorio, su antigüedad y las limitaciones tecnológicas constituían factores relevantes para evaluar estrategias de modernización.

Para fundamentar las decisiones de intervención, la investigación integró antecedentes de confiabilidad, criticidad operacional, condición tecnológica, disponibilidad de soluciones en el mercado y evaluación económica mediante costos del ciclo de vida. Este enfoque permitió considerar no solamente la inversión requerida, sino también las consecuencias potenciales de la indisponibilidad de los equipos y las restricciones para mantenerlos operativos en el largo plazo.

Uno de los principales aportes de este antecedente es reconocer que la necesidad de modernizar un activo crítico no depende exclusivamente de una elevada frecuencia histórica de fallas. La evaluación también debe considerar las consecuencias operacionales de una eventual detención, la capacidad de recuperación del equipo, la disponibilidad de repuestos y la sostenibilidad tecnológica de la solución adoptada.

La relación con la presente investigación radica en que los variadores de frecuencia Power Electronics XMV660 de División Ministro Hales presentan una problemática de obsolescencia que requiere evaluar alternativas para sostener la continuidad operacional. Sin embargo, mientras el estudio de División Andina aborda la modernización de accionamientos eléctricos asociados a motores sincrónicos, esta tesina compara

específicamente la continuidad de los equipos existentes, su modernización mediante retrofit y el reemplazo completo por variadores de nueva generación. En consecuencia, el antecedente aporta criterios técnicos, operacionales y económicos para estructurar la evaluación, sin establecer por sí mismo cuál de las alternativas resulta más conveniente para los VDF estudiados.

2.3.4. Evaluación de alternativas de reparación y reemplazo de activos

La decisión de reparar o reemplazar activos industriales constituye un problema relevante en la gestión del ciclo de vida, debido a la necesidad de equilibrar los costos de inversión, mantenimiento, confiabilidad y riesgos asociados a la continuidad operacional. En este contexto, Abdi y Taghipour (2019) desarrollaron una investigación orientada a formular un modelo de decisión para determinar la conveniencia económica de mantener un equipo mediante reparaciones o sustituirlo por uno nuevo, incorporando factores de incertidumbre, calidad del mantenimiento e impactos ambientales.

La metodología propuesta considera dos etapas complementarias. La primera corresponde a un modelo determinístico que estructura los costos asociados a las alternativas de reparación y reemplazo. La segunda incorpora un enfoque probabilístico mediante redes bayesianas, con el propósito de representar la incertidumbre de los parámetros de entrada y las relaciones entre variables como la calidad del mantenimiento preventivo, la efectividad de las reparaciones, la confiabilidad y los riesgos que pueden modificar los costos durante el ciclo de vida del activo.

Para ilustrar la aplicación del modelo, los autores desarrollaron un caso de estudio correspondiente a una trituradora de plástico, comparando la continuidad operacional del equipo existente mediante reparaciones con su reemplazo por una unidad nueva. El análisis permitió evaluar cómo las condiciones de mantenimiento, el comportamiento de las fallas, los eventos de riesgo y los impactos ambientales influyen en la conveniencia de cada alternativa. Asimismo, se examinaron escenarios de intervención para analizar cómo la modificación de determinados factores de riesgo podía alterar los resultados económicos.

Uno de los principales aportes de esta investigación es que la comparación entre reparación y reemplazo no se limita al costo inicial de adquisición. Los autores incorporan

costos futuros, incertidumbre, mantenibilidad y consecuencias de los eventos de riesgo, reconociendo que las condiciones de operación y mantenimiento pueden modificar la conveniencia económica de una decisión a lo largo del tiempo.

Este antecedente presenta una relación directa con la presente tesina, debido a que la evaluación de los variadores de frecuencia Power Electronics XMV660 requiere comparar alternativas con diferentes inversiones, condiciones de soporte tecnológico y riesgos residuales. Sin embargo, mientras Abdi y Taghipour desarrollan un modelo probabilístico de reparación y reemplazo, la presente investigación utiliza una evaluación técnico-económica basada en costos del ciclo de vida, criticidad operacional y escenarios de sensibilidad, considerando las limitaciones de la información histórica disponible. En consecuencia, el estudio aporta fundamentos para integrar el riesgo y la incertidumbre en la comparación de alternativas, sin que ello implique aplicar íntegramente el modelo de redes bayesianas desarrollado por los autores.

Los antecedentes revisados evidencian distintos enfoques para abordar problemas de mantenimiento, obsolescencia tecnológica y decisiones de renovación de activos industriales. Las investigaciones relacionadas con DMAIC muestran su aplicación como estructura de análisis y mejora en procesos de mantenimiento, mientras que los estudios de modernización tecnológica destacan la importancia de considerar las restricciones de soporte del fabricante, disponibilidad de repuestos, mantenibilidad y continuidad operacional. Por su parte, los modelos de reparación y reemplazo de activos incorporan criterios económicos, riesgos e incertidumbre para fundamentar decisiones de inversión. Sin embargo, los casos analizados no abordan específicamente la comparación entre continuidad operacional sin inversión, modernización mediante retrofit y reemplazo completo de variadores de frecuencia de media tensión afectados por obsolescencia tecnológica. En este contexto, la presente investigación integra estos antecedentes mediante una evaluación técnico-económica estructurada en las etapas DMAIC, considerando criticidad operacional, riesgos residuales y costos del ciclo de vida, con el propósito de fundamentar una estrategia de renovación tecnológica para los variadores Power Electronics XMV660 de División Ministro Hales.

2.4. Marco teórico

2.4.1. Gestión de Activos

La gestión de activos corresponde al conjunto de actividades coordinadas que permiten a una organización obtener valor a partir de sus activos durante todo su ciclo de vida. De acuerdo con la norma ISO 55000, los activos deben ser gestionados considerando un equilibrio entre desempeño, riesgo y costo, de modo de contribuir al cumplimiento de los objetivos estratégicos de la organización. Bajo este enfoque, la toma de decisiones asociada a operación, mantenimiento, renovación y reemplazo de activos debe sustentarse en criterios objetivos que permitan maximizar el valor generado para el negocio.

La gestión de activos trasciende las actividades tradicionales de mantenimiento, incorporando una visión integral del ciclo de vida del activo desde su adquisición hasta su retiro de servicio. Este enfoque permite evaluar no sólo la condición física de los equipos, sino también factores asociados a su confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad tecnológica, soporte del fabricante, criticidad operacional y riesgos asociados a su eventual indisponibilidad.

Uno de los principios fundamentales de la gestión de activos consiste en reconocer que la decisión de reemplazar un activo no debe basarse exclusivamente en su antigüedad o frecuencia histórica de fallas. En muchos casos, un activo puede continuar operando dentro de parámetros aceptables de desempeño y, aun así, representar un riesgo significativo para la organización debido a restricciones asociadas a la disponibilidad de repuestos, soporte técnico especializado o sostenibilidad tecnológica futura. En este contexto, las decisiones de renovación deben considerar tanto el comportamiento histórico del activo como su capacidad de continuar generando valor en los años siguientes.

Dentro de este marco, la obsolescencia tecnológica constituye un elemento relevante para la gestión de activos industriales. Cuando un fabricante declara una plataforma tecnológica fuera de producción o limita la provisión de soporte y repuestos, el riesgo asociado al activo cambia significativamente, aun cuando su condición operacional permanezca estable. Bajo estas circunstancias, la gestión de activos busca anticiparse a escenarios futuros de indisponibilidad mediante estrategias de renovación, modernización

o reemplazo que permitan preservar la continuidad operacional y reducir la exposición al riesgo.

En la industria minera, donde gran parte de la producción depende de activos eléctricos y mecánicos de alta criticidad, la gestión de activos adquiere una importancia estratégica. Una falla prolongada en equipos que participan directamente en el proceso productivo puede generar pérdidas económicas significativas, afectar el cumplimiento de metas operacionales y comprometer la estabilidad de la operación. Por esta razón, las organizaciones incorporan criterios de criticidad, riesgo operacional, costo del ciclo de vida y sostenibilidad tecnológica como elementos centrales en la toma de decisiones relacionadas con inversiones de renovación.

La presente investigación se enmarca dentro de este enfoque, ya que busca fundamentar la renovación de variadores de frecuencia de media tensión desde una perspectiva de gestión de activos. En consecuencia, el análisis no se limita a evaluar la frecuencia histórica de fallas de los equipos, sino que incorpora elementos relacionados con obsolescencia tecnológica, disponibilidad de soporte OEM, acceso a repuestos, criticidad operacional y riesgo económico, permitiendo desarrollar una propuesta de renovación sustentada en criterios técnicos, operacionales y de negocio.

2.4.2. Obsolescencia Tecnológica

La obsolescencia tecnológica corresponde a la condición en la cual un activo, componente o sistema pierde su capacidad de mantenerse sostenible dentro de la operación debido a la discontinuidad de fabricación, limitaciones de soporte técnico, escasez de repuestos o disponibilidad de tecnologías más avanzadas. Esta condición no necesariamente implica una pérdida inmediata de funcionalidad, ya que muchos equipos continúan operando de manera satisfactoria aun cuando han sido declarados obsoletos por sus fabricantes. Sin embargo, la capacidad de mantener dichos activos en servicio disminuye progresivamente a medida que se reducen las opciones de reparación, actualización y soporte especializado.

Desde la perspectiva de la gestión de activos, la obsolescencia tecnológica constituye un riesgo que puede afectar la sostenibilidad futura de la operación. Un activo tecnológicamente obsoleto puede mantener niveles aceptables de disponibilidad y confiabilidad durante largos períodos, pero enfrentar dificultades crecientes ante una falla crítica debido a la limitada disponibilidad de repuestos, la desaparición de soporte OEM y

la pérdida de conocimiento técnico asociado a la tecnología instalada. Bajo estas condiciones, el riesgo operacional ya no depende únicamente de la frecuencia de fallas, sino también de la capacidad de recuperación del sistema frente a eventos futuros.

La literatura distingue distintas formas de obsolescencia. La obsolescencia funcional ocurre cuando una tecnología deja de satisfacer los requerimientos operacionales actuales, mientras que la obsolescencia tecnológica se produce cuando la plataforma continúa cumpliendo su función, pero pierde soporte del fabricante o deja de contar con componentes disponibles para su mantenimiento. También puede existir una obsolescencia de mercado, asociada a la sustitución progresiva de una tecnología por alternativas de mejor desempeño, menor costo o mayor disponibilidad. En los tres casos, la consecuencia final es una reducción de la sostenibilidad del activo durante el resto de su ciclo de vida.

Un concepto frecuentemente asociado a la obsolescencia tecnológica corresponde a las condiciones de **End of Life (EOL)** y **End of Support (EOS)** definidas por los fabricantes. El estado End of Life indica que un producto o plataforma tecnológica deja de fabricarse comercialmente, mientras que End of Support señala el término del soporte técnico oficial, incluyendo asistencia especializada, actualizaciones y provisión de componentes críticos. Estas condiciones incrementan significativamente el riesgo operacional debido a que limitan la capacidad de recuperación frente a fallas y dificultan la planificación de mantenimiento de largo plazo.

En el ámbito industrial, la obsolescencia tecnológica constituye una de las principales razones que justifican procesos de modernización y renovación de activos. Diversas organizaciones optan por estrategias de retrofit, actualización parcial o reemplazo completo de equipos con el objetivo de restablecer el acceso a soporte OEM, mejorar la disponibilidad futura de repuestos y reducir la exposición a riesgos operacionales. La selección de la alternativa más conveniente depende de factores como criticidad del activo, costo de la inacción, disponibilidad tecnológica y horizonte de vida útil esperado.

La presente investigación se desarrolla precisamente bajo esta problemática. Los variadores de frecuencia de media tensión pertenecientes a la plataforma XMV660 continúan operando dentro de parámetros aceptables de desempeño; sin embargo, han sido declarados obsoletos por el fabricante, limitando progresivamente la disponibilidad de repuestos y soporte especializado. En consecuencia, el análisis de renovación propuesto no se sustenta exclusivamente en la ocurrencia histórica de fallas, sino en el riesgo

asociado a la pérdida de sostenibilidad tecnológica de los activos y su potencial impacto sobre la continuidad operacional de la Planta Concentradora de División Ministro Hales.

2.4.3. Fundamentos de Six Sigma y su alcance en la investigación

Six Sigma es una metodología de mejora continua orientada a reducir la variabilidad de los procesos, disminuir defectos y mejorar su desempeño mediante el análisis sistemático de información cuantitativa. Su desarrollo se inició en Motorola durante la década de 1980 y posteriormente se extendió a diversos sectores industriales, incluyendo manufactura, mantenimiento y gestión de operaciones.

Este enfoque promueve la toma de decisiones basada en datos, la identificación de causas que afectan el desempeño y la evaluación objetiva de oportunidades de mejora. En su aplicación tradicional, Six Sigma utiliza herramientas estadísticas e indicadores como defectos por millón de oportunidades (DPMO), nivel sigma e índices de capacidad de proceso (C_p y C_{pk}), que permiten evaluar el comportamiento de procesos repetitivos respecto de requisitos o límites de especificación establecidos.

No obstante, la presente investigación no tiene como propósito reducir la variabilidad de un proceso productivo ni evaluar su capacidad estadística. Su objeto de estudio corresponde a una población de variadores de frecuencia de media tensión afectados por obsolescencia tecnológica, cuya condición debe analizarse considerando restricciones de soporte del fabricante, disponibilidad de repuestos, mantenibilidad, criticidad operacional y consecuencias potenciales de indisponibilidad. Adicionalmente, las limitaciones de clasificación y trazabilidad de los registros históricos de fallas dificultan establecer mediciones estadísticas representativas atribuibles exclusivamente a los variadores.

En consecuencia, no se utilizarán indicadores como DPMO, nivel sigma, C_p o C_{pk} , debido a que no se dispone de un proceso repetitivo con oportunidades de defecto y límites de especificación definidos para los fines de esta evaluación. En su lugar, se emplearán antecedentes técnicos, operacionales y económicos pertinentes a la gestión de activos. De Six Sigma se adopta específicamente la secuencia DMAIC como estructura metodológica para organizar el diagnóstico, el análisis de riesgos, la comparación de alternativas de renovación y la propuesta de seguimiento, sin considerar que la investigación constituye una implementación integral de Six Sigma.

2.4.1. Metodología DMAIC y su aplicación a la evaluación de activos

DMAIC es una secuencia metodológica compuesta por cinco etapas: Definir (*Define*), Medir (*Measure*), Analizar (*Analyze*), Mejorar (*Improve*) y Controlar (*Control*). Aunque tiene su origen en Six Sigma, puede utilizarse como una estructura para organizar el diagnóstico de problemas, el análisis de información, la evaluación de soluciones y su posterior seguimiento.

En esta investigación, DMAIC se utiliza como marco organizativo para evaluar alternativas de renovación tecnológica de variadores de frecuencia de media tensión afectados por obsolescencia. Su aplicación se complementa con herramientas de gestión de activos, análisis de criticidad, evaluación de riesgos y costos del ciclo de vida, sin contemplar el cálculo de indicadores estadísticos tradicionales de capacidad de proceso.



Figura 2-5: Ciclo DMAIC
Fuente: Adaptado de Felizzola y Luna (2014)

2.4.1.1. Etapa Definir (Define)

Esta etapa permite establecer el problema que motiva la investigación, delimitar su alcance e identificar las necesidades operacionales que deben ser consideradas. En el contexto de la gestión de activos, comprende la identificación de los equipos involucrados, sus funciones y las restricciones que pueden comprometer su continuidad operacional.

2.4.1.2. Etapa Medir (Measure)

Consiste en recopilar y examinar información que permita caracterizar la condición actual de los activos. Considera antecedentes técnicos, registros de mantenimiento, indisponibilidad y restricciones de soporte tecnológico, prestando especial atención a la calidad, trazabilidad y limitaciones de los datos disponibles.

2.4.1.3. Etapa Analizar (Analyze)

Esta etapa busca interpretar los antecedentes recopilados e identificar los factores que condicionan la continuidad operacional de los activos. Integra criterios de criticidad, consecuencias potenciales de falla, mantenibilidad, obsolescencia tecnológica y riesgos asociados a la permanencia en servicio.

2.4.1.4. Etapa Mejorar (Improve)

Comprende la formulación y comparación de alternativas destinadas a enfrentar la problemática identificada. Para la evaluación de activos tecnológicos, considera criterios técnicos, operacionales y económicos, incluyendo inversión, costos del ciclo de vida y riesgos residuales. En esta investigación, la etapa se desarrolla a nivel de evaluación y propuesta, sin contemplar la ejecución física de la alternativa seleccionada.

El resultado esperado de esta etapa corresponde a la definición de una estrategia de mejora técnicamente justificada, capaz de abordar las causas identificadas en la etapa de análisis y generar beneficios sostenibles para la organización.

2.4.1.5. Etapa Controlar (Control)

Corresponde a la definición de mecanismos de seguimiento que permitan verificar, en una eventual implementación, el desempeño de la estrategia propuesta. Incluye indicadores, responsabilidades y criterios de revisión asociados a la continuidad operacional, el soporte tecnológico y la gestión de los activos. Dado que la investigación no contempla la implementación de las alternativas, esta etapa se limita al diseño de un esquema de seguimiento futuro, sin presentar resultados de control validados operacionalmente.

2.4.5. Esquema metodológico integrado de la investigación

La Figura 2-10 presenta la integración de las cinco etapas DMAIC con las herramientas de análisis y los resultados previstos para la evaluación técnico-económica de los variadores de frecuencia XMV660. Este esquema establece la secuencia de trabajo utilizada en el capítulo 3 y permite relacionar el diagnóstico de obsolescencia, la evaluación de riesgos y la comparación de alternativas con la propuesta de renovación tecnológica.

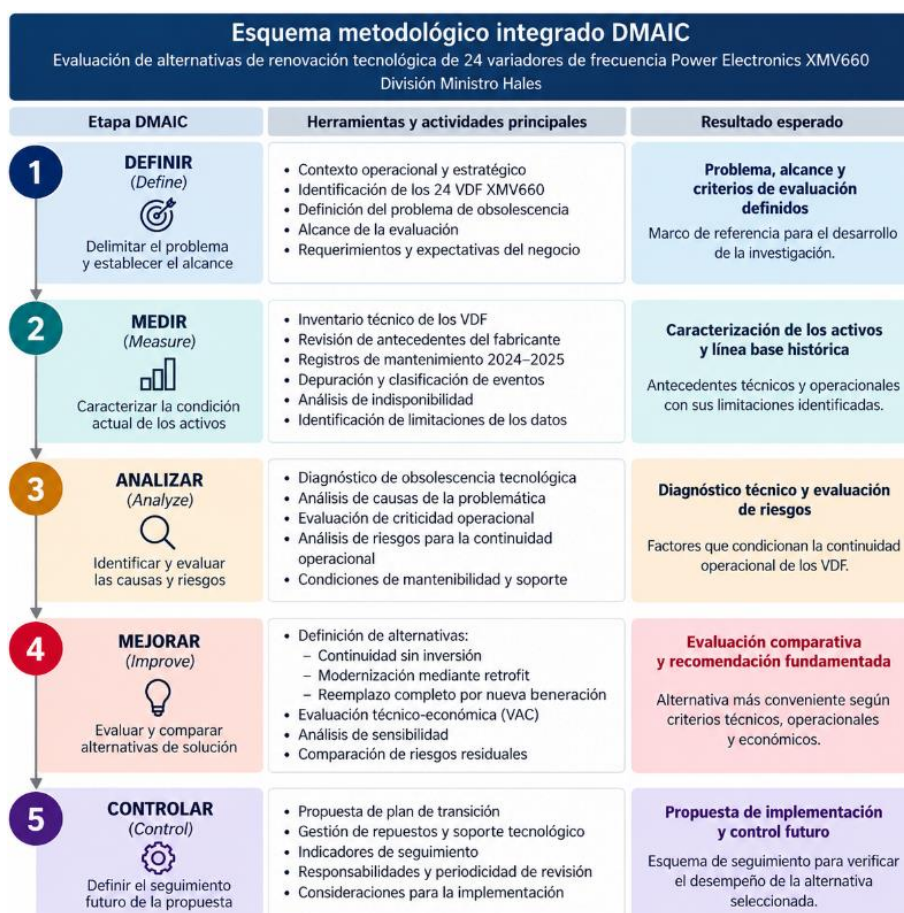


Figura 2-6: Esquema metodológico integrado para la evaluación de alternativas de renovación tecnológica de VDF.

Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 3 DESARROLLO DEL TEMA

En el presente capítulo se desarrolla la evaluación técnico-económica de alternativas de renovación tecnológica de los variadores de frecuencia de media tensión instalados en la Planta Concentradora y Chancador Primario de División Ministro Hales, utilizando las etapas DMAIC como estructura metodológica para organizar el análisis.

El estudio considera una población de 24 variadores de frecuencia Power Electronics XMV660, distribuidos en distintas áreas del proceso productivo y asociados principalmente al accionamiento de bombas y correas transportadoras. Para su evaluación se integran antecedentes técnicos, registros históricos de mantenimiento correspondientes al período 2024–2025, información de criticidad operacional y documentación relacionada con la obsolescencia tecnológica de la plataforma instalada.

El desarrollo se organiza secuencialmente en las etapas Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. Inicialmente se delimita el problema y se caracteriza la condición de los activos a partir de la información disponible. Posteriormente, se analizan los antecedentes de mantenimiento, las restricciones tecnológicas y los riesgos asociados a la continuidad operacional. Sobre esta base se comparan las alternativas de mantener los equipos existentes, modernizarlos mediante retrofit o reemplazarlos por variadores de nueva generación, considerando criterios técnicos, operacionales y económicos.

Finalmente, se formula una propuesta de estrategia de renovación tecnológica y se establecen mecanismos de seguimiento para su eventual implementación. La investigación no contempla la ejecución física de las alternativas ni la validación posterior de sus resultados operacionales; por lo tanto, las etapas Mejorar y Controlar se desarrollan a nivel de evaluación, planificación y propuesta.

3.1. Etapa Definir (Define)

La aplicación de la etapa Definir se centra en establecer con precisión la problemática asociada a los variadores de frecuencia de media tensión instalados en la Planta Concentradora y Chancador Primario de División Ministro Hales, delimitando los activos que forman parte del estudio y los antecedentes que justifican su evaluación.

El caso de estudio considera los variadores de frecuencia pertenecientes a la plataforma XMV660, utilizados para el accionamiento de equipos relevantes para la continuidad del proceso productivo. Si bien estos equipos se mantienen actualmente en operación, su permanencia en servicio debe ser evaluada considerando su antigüedad tecnológica y los antecedentes disponibles respecto de su ciclo de vida.

Bajo este contexto, la etapa Definir establece el problema que será abordado durante el desarrollo del estudio, delimita el universo de activos considerados y recoge las necesidades del negocio asociadas a la continuidad operacional y gestión del ciclo de vida de estos equipos.

3.1.1. Definición del problema

División Ministro Hales dispone de un conjunto de variadores de frecuencia de media tensión pertenecientes a la plataforma XMV660, instalados para el accionamiento de equipos asociados a distintas etapas del proceso productivo de la Planta Concentradora y Chancador Primario. Estos activos han permanecido en operación durante varios años y actualmente forman parte de sistemas cuya disponibilidad resulta relevante para la continuidad operacional de la planta.

La problemática abordada en este estudio surge debido a que la plataforma tecnológica instalada ha avanzado dentro de su ciclo de vida, existiendo antecedentes relacionados con su discontinuidad tecnológica, disponibilidad de repuestos y continuidad del soporte especializado. Esta condición genera la necesidad de evaluar oportunamente la estrategia de gestión de estos activos, aun cuando los equipos continúen operando y su comportamiento histórico no necesariamente evidencie una alta frecuencia de fallas.

Esta situación plantea una dificultad desde el punto de vista de la gestión de activos, debido a que una decisión de renovación basada exclusivamente en la cantidad de fallas históricas podría no representar adecuadamente el riesgo asociado a mantener en operación una plataforma tecnológica en proceso de obsolescencia. Por otra parte, la renovación anticipada de equipos que aún se encuentran operativos requiere contar con antecedentes técnicos y económicos suficientes que permitan sustentar la decisión.

En consecuencia, el problema central del estudio corresponde a determinar si la condición actual de los variadores de frecuencia XMV660 justifica establecer una estrategia de

renovación tecnológica, considerando conjuntamente su comportamiento histórico, condición de obsolescencia y criticidad dentro del proceso productivo.

3.1.2. Alcance y universo de estudio

El estudio considera un universo de 24 variadores de frecuencia de media tensión pertenecientes a la plataforma XMV660, instalados en la Planta Concentradora y Chancador Primario de División Ministro Hales. Estos equipos se encuentran asociados principalmente al accionamiento de bombas y correas transportadoras pertenecientes a distintas etapas del proceso productivo.

El alcance comprende la revisión y análisis de los antecedentes disponibles relacionados con el comportamiento histórico de los equipos, registros de mantenimiento y fallas, tiempos de detención, condición de obsolescencia tecnológica, disponibilidad de repuestos, soporte del fabricante y criticidad operacional de los activos asociados. Asimismo, se consideran los antecedentes técnicos y económicos necesarios para evaluar posteriormente las alternativas de intervención aplicables a la plataforma instalada.

Para el análisis del comportamiento histórico se utilizan los registros disponibles correspondientes al período 2024-2025, los cuales son clasificados y evaluados según las áreas operacionales consideradas en el estudio. Debido a las características de los registros disponibles, la identificación de eventos asociados específicamente al VDF se realiza considerando la información contenida en las notificaciones y descripciones de falla, reconociendo las limitaciones existentes en la trazabilidad y nivel de detalle de dichas imputaciones.

El estudio se orienta a la evaluación de los VDF desde una perspectiva de confiabilidad, obsolescencia tecnológica, criticidad y gestión de activos, por lo que no considera el análisis detallado del diseño electrónico interno de los variadores, modificaciones de las lógicas de control ni el diagnóstico específico de fallas mecánicas de los equipos accionados.

La Tabla 3-1 presenta la identificación de los 24 variadores considerados en el estudio, indicando su TAG, modelo, aplicación, características principales y ubicación dentro de la planta.

N°	TAG	MODELO VDF-NUEVO	APLICACIÓN	CORRIENTE	UBICACIÓN
1	3371-VDF-013	PowerDrive, RMVC5100-4.16/70-ATB	Bomba Alimentación Cajón Recepción Relaves (Serv.Interm)	70	Sala 3370
2	3371-VDF-014	PowerDrive RMVC5100-4.16/70-ATB	Bomba Alimentación Cajón Recepción Relaves (Serv.StdBy)	70	Sala 3370
3	3371-VDF-015	PowerDrive RMVC5100-4.16/70-ATB	Bomba Alimentación Cajón Recepción Relaves (Serv.Interm)	70	Sala 3370
4	3371-VDF-016	PowerDrive RMVC5100-4.16/70-ATB	Bomba Alimentación Cajón Recepción Relaves (Serv.StdBy)	70	Sala 3370
5	3212-VDF-001	PowerDrive RMVC5100-4.16/70-ATB	Correa Transp. Alimentación Molino SAG	70	Sala 3200
6	3331-VDF-001	PowerDrive RMVC5100-4.16/100-ATB	Bomba Concentrado de Flotación Primer Barrido	100	Sala 3320
7	3331-VDF-002	PowerDrive RMVC5100-4.16/100-ATB	Bomba Concentrado de Flotación Primer Barrido	100	Sala 3320
8	3331-VDF-005	PowerDrive RMVC5100-4.16/100-ATB	Bomba Concentrado de Flotación Primera Limpieza	100	Sala 3320
9	3331-VDF-006	PowerDrive RMVC5100-4.16/100-ATB	Bomba Concentrado de Flotación Primera Limpieza	100	Sala 3320
10	3332-VDF-001	PowerDrive RMVC5100-4.16/140-ATB	Bomba Relaves Flotación Primer Barrido	130	Sala 3320
11	3332-VDF-002	PowerDrive RMVC5100-4.16/140-ATB	Bomba Relaves Flotación Primer Barrido	130	Sala 3320
12	3374-VDF-006	PowerDrive RMVC5100-4.16/140-ATB	Bomba Impulsión Agua Recuperada	130	Sala 3370
13	3323-VDF-001	PowerDrive RMVC5100-4.16/140-ATB	Bomba Alimentación Batería Hidrociclones Remolienda	140	Sala 3110
14	3323-VDF-002	PowerDrive RMVC5100-4.16/140-ATB	Bomba Alimentación Batería Hidrociclones Remolienda	140	Sala 3110
15	3323-VDF-003	PowerDrive RMVC5100-4.16/140-ATB	Bomba Alimentación Batería Hidrociclones Remolienda	140	Sala 3110
16	3114-VDF-001	PowerDrive RMVC5100-4.16/180-ATB	Correa Transp. Descarga Chancador Primario	180	Sala 3110
17	3375-VDF-005	PowerDrive RMVC5100-4.16/280-ATB	Bomba Alimentación Canaleta de Relaves	280	Sala 3370
18	3375-VDF-010	PowerDrive RMVC5100-4.16/280-ATB	Bomba de Impulsión de Relaves	280	Sala 3370
19	3242-VDF-001	PowerDrive RMVC5100-4.16/365-ATB	Bomba Alimentación Hidrociclones	365	Sala 3200
20	3242-VDF-002	PowerDrive RMVC5100-4.16/365-ATB	Bomba Alimentación Hidrociclones	365	Sala 3200
21	3242-VDF-003	PowerDrive RMVC5100-4.16/365-ATB	Bomba Alimentación Hidrociclones	365	Sala 3200
22	3242-VDF-004	PowerDrive RMVC5100-4.16/365-ATB	Bomba Alimentación Hidrociclones	365	Sala 3200
23	3115-VDF-001	PowerDrive RMVC5100-4.16/460-ATB	Correa Transp.Overland, acopio de gruesos (master)	460	Sala 3110
24	3115-VDF-002	PowerDrive RMVC5100-4.16/460-ATB	Correa Transp.Overland, acopio de gruesos (slave)	460	Sala 3110

Tabla 3-1: Variadores de frecuencia considerados en el caso de estudio.

Fuente: Elaboración propia a partir del catastro de activos eléctricos de la Planta Concentradora de División Ministro Hales (2026)

3.1.3. Voz del negocio (Voice of Business)

La necesidad del negocio asociada al presente caso de estudio se relaciona principalmente con asegurar la continuidad operacional de los procesos productivos en los cuales se encuentran instalados los variadores de frecuencia de media tensión, manteniendo niveles adecuados de disponibilidad y reduciendo la exposición a detenciones prolongadas asociadas a estos activos.

Desde la perspectiva de gestión de activos, la permanencia en operación de la plataforma XMV660 requiere considerar no solo su desempeño histórico, sino también la capacidad de la organización para responder ante futuras fallas. En este contexto, adquieren relevancia factores como la disponibilidad de repuestos, la continuidad del soporte técnico especializado y la posibilidad de recuperar oportunamente los equipos ante una eventual indisponibilidad.

La necesidad del negocio consiste, por tanto, en disponer de antecedentes técnicos y económicos que permitan definir oportunamente una estrategia para la gestión del ciclo de vida de estos activos, evitando que las decisiones de intervención se produzcan únicamente como respuesta a una falla de difícil recuperación o a una pérdida significativa de disponibilidad.

Bajo este enfoque, el requerimiento principal del negocio se establece como:

Asegurar la continuidad operacional de los procesos asociados a los VDF de media tensión mediante una estrategia de gestión de activos que permita anticipar los riesgos derivados de su condición tecnológica y sustentar oportunamente las decisiones de renovación.

3.2. Etapa Medir (MEASURE)

A partir del universo de activos definido en la etapa anterior, se realiza el levantamiento y caracterización de la información histórica disponible para los variadores de frecuencia considerados en el estudio. Para ello, se utilizan los registros de mantenimiento y detenciones correspondientes al período 2024-2025, complementados con los antecedentes técnicos disponibles en el informe de vida útil de los equipos.

La información es analizada considerando las principales áreas operacionales donde se encuentran instalados los VDF: Chancado, Molienda, Flotación y Relaves. Para cada área se revisan los eventos registrados, su frecuencia y los tiempos de detención asociados, utilizando como apoyo indicadores de confiabilidad y herramientas de análisis tales como MTBF, MTTR, diagramas de Pareto y Jack-Knife.

Debido a que los registros históricos provienen de imputaciones operacionales y de mantenimiento, su nivel de detalle no siempre permite identificar de manera inequívoca al variador de frecuencia como causa directa de una detención. Por esta razón, durante esta etapa se realiza una revisión y clasificación de los registros disponibles, manteniendo trazabilidad respecto de las limitaciones de la información utilizada.

El resultado de esta etapa permite establecer una línea base del comportamiento histórico registrado para los sistemas analizados, la cual será utilizada posteriormente, junto con los antecedentes de obsolescencia tecnológica y criticidad operacional, para desarrollar la etapa Analizar.

3.2.1. Levantamiento y tratamiento de la información histórica

Para establecer la línea base del comportamiento de los equipos considerados en el estudio, se utilizaron los registros históricos de mantenimiento y detenciones correspondientes al período 2024-2025. El levantamiento consideró aproximadamente dos años de información, clasificando los eventos según área operacional y filtrando principalmente aquellos asociados a las especialidades de electricidad e instrumentación, de acuerdo con el criterio utilizado en el estudio de vida útil de los VDF.

Los registros fueron organizados considerando las áreas de Chancado, Molienda, Flotación y Relaves, identificando para cada una de ellas los principales modos de falla, frecuencia de eventos y tiempos de detención. A partir de esta información se utilizaron diagramas de Pareto para representar la distribución de eventos y tiempos de reparación, complementados con diagramas Jack-Knife para caracterizar el comportamiento de los principales modos de falla.

Para los eventos clasificados como “VDF en falla”, se identificaron los equipos involucrados y las horas de detención asociadas. Adicionalmente, se utilizaron los indicadores MTBF y MTTR disponibles para cada área, con el propósito de complementar la caracterización del comportamiento histórico de los sistemas analizados.

Considerando las limitaciones de trazabilidad previamente identificadas en los registros de mantenimiento, los eventos clasificados como “VDF en falla” se utilizan como antecedentes históricos asociados a los sistemas de accionamiento, evitando atribuir al variador aquellos eventos cuya causa específica no pueda establecerse a partir de la información disponible. Esta consideración permite mantener consistencia entre la calidad de los datos utilizados y las conclusiones derivadas posteriormente del análisis.

3.2.2. Comportamiento histórico – Área Chancado

Para el área de Chancado se realizó la caracterización del comportamiento histórico de las fallas asociadas a las especialidades eléctrica e instrumentación, considerando la frecuencia de ocurrencia y los tiempos de detención registrados durante el período analizado.

La distribución de los eventos fue representada mediante diagramas de Pareto, tanto para la cantidad de fallas como para los tiempos de reparación. Este análisis se complementó mediante un diagrama Jack-Knife, permitiendo representar conjuntamente la frecuencia de ocurrencia y el impacto asociado a los principales modos de falla identificados en esta área.

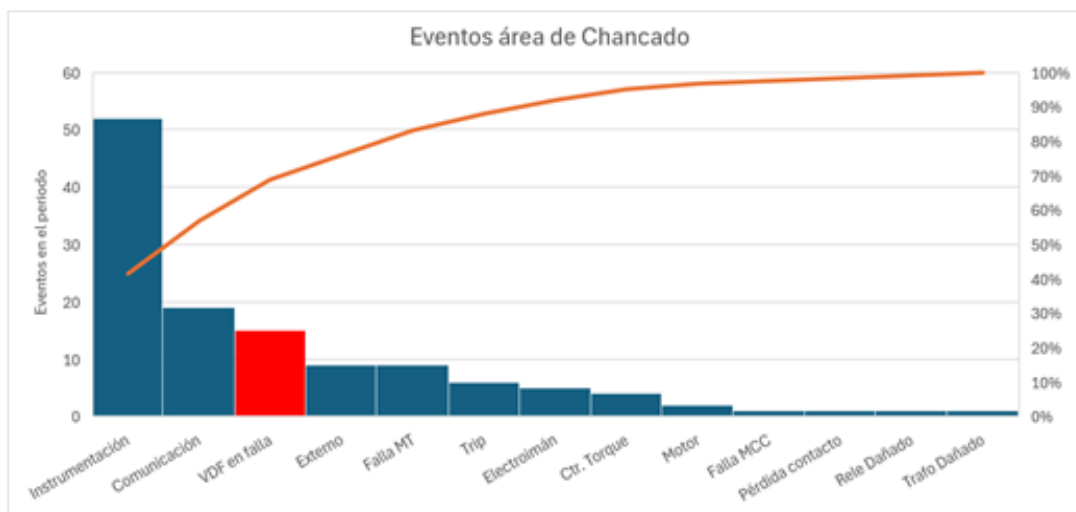


Figura 3-1: Pareto cantidad de eventos en área de chancado.

Fuente: Elaboración propia a partir de eventos de registro históricos entre 2024-2025

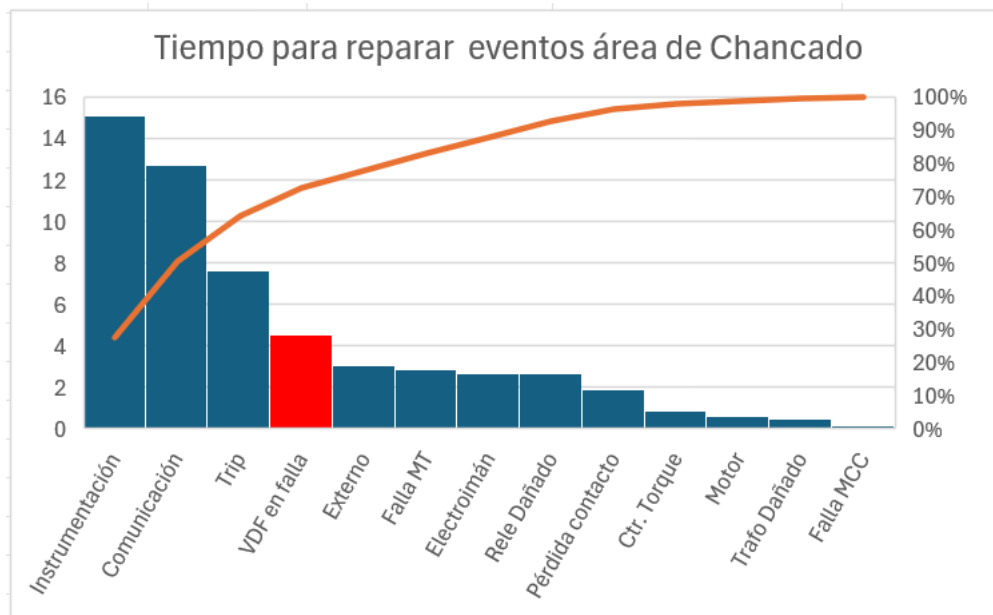


Figura 3-2: Pareto tiempo para reparar en área chancado.
Fuente: Elaboración propia a partir de eventos de registro históricos entre 2024-2025

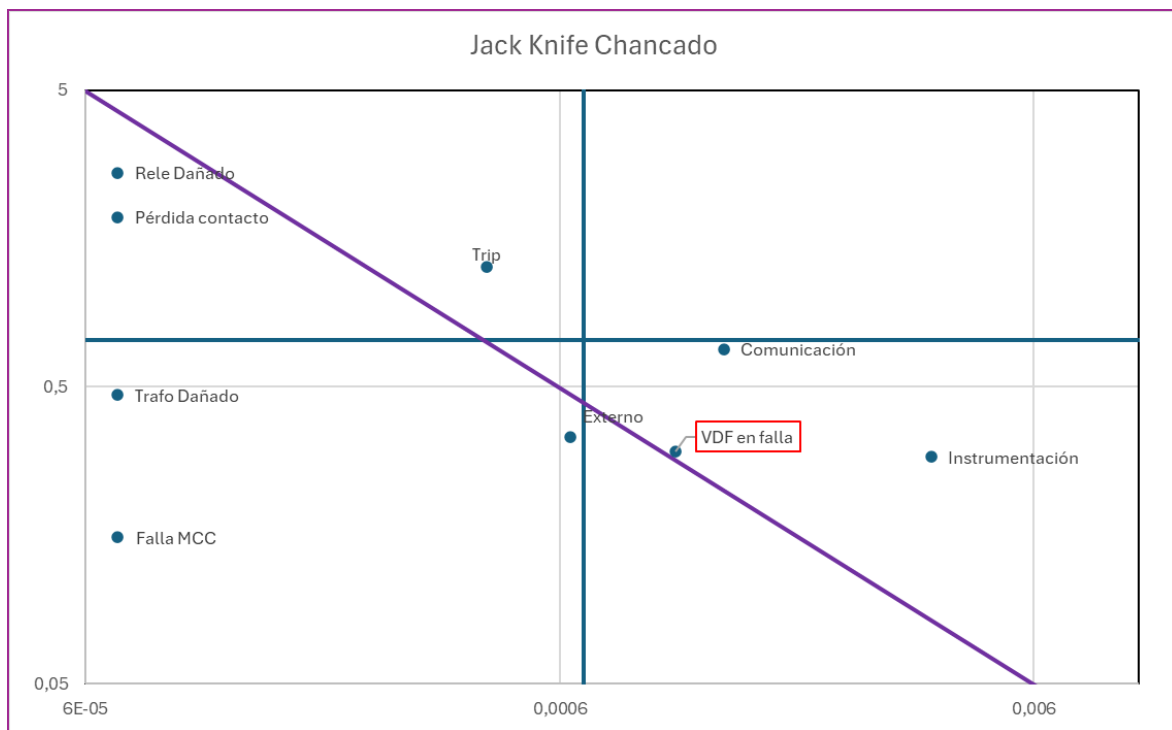


Figura 3-3: Jack Knife modos de eventos en área Chancado.
Fuente: Elaboración propia a partir de eventos de registro históricos entre 2024-2025

Dentro de los modos de falla registrados se identificaron eventos asociados a instrumentación, pérdida de señal de comunicación, trip y “VDF en falla”. Los indicadores obtenidos para estos modos se presentan en la Tabla 3-2.

Área Chancado			
Modo de evento	MTBF	MTTR	Fallas periodo
Instrumentación	274 h	0,29 h	52
Perdida Señal Comunicación	750 h	0,67 h	19
Trip	2374 h	1,27 h	6
VDF en falla	950 h	0,3 h	15

Tabla 3-2: Indicadores de comportamiento histórico de fallas.

Fuente: Elaboración propia a partir de eventos de registro históricos entre 2024-2025

Para el modo clasificado como “VDF en falla” se registraron 15 eventos durante el período analizado, con un MTBF de 950 horas y un MTTR de 0,30 horas. Los antecedentes disponibles permiten además identificar eventos asociados a los equipos 3114-VDF-001 y 3315-VDF-001, con tiempos de detención registrados de aproximadamente 3,0 y 1,53 horas, respectivamente, totalizando aproximadamente 4,53 horas de detención asociadas a esta clasificación.

3.2.3. Comportamiento histórico – Área Molienda

Para el área de Molienda se analizaron los eventos registrados durante el período 2024-2025, considerando su frecuencia de ocurrencia y los tiempos de detención asociados. La caracterización se realizó mediante diagramas de Pareto de cantidad de fallas y tiempos de reparación, complementados con un análisis Jack-Knife. Estas herramientas permiten representar el comportamiento histórico de los principales modos de evento registrados en esta área. El informe de vida útil utiliza precisamente estos tres análisis para Molienda.

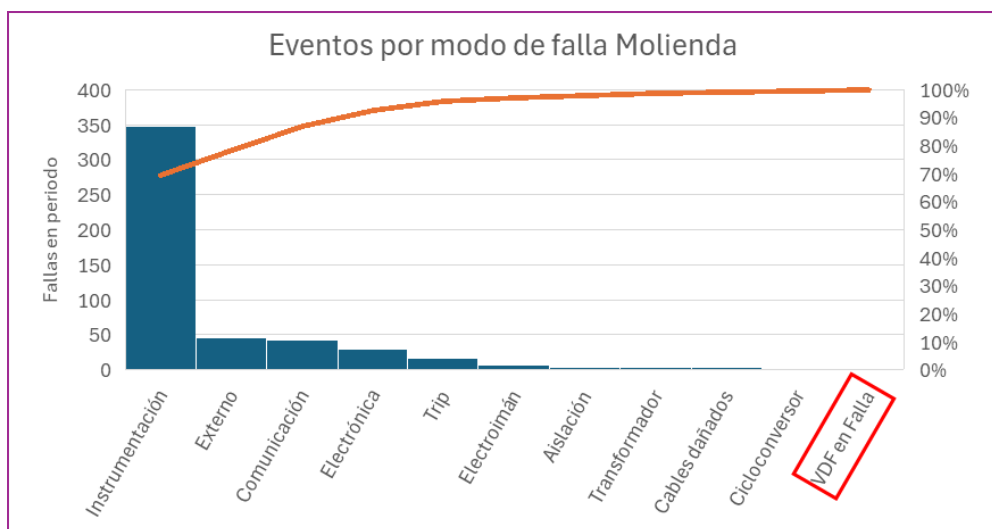


Figura 3-4: Pareto cantidad de fallas en área molienda.
Fuente: Elaboración propia a partir de eventos de registro históricos entre 2024-2025

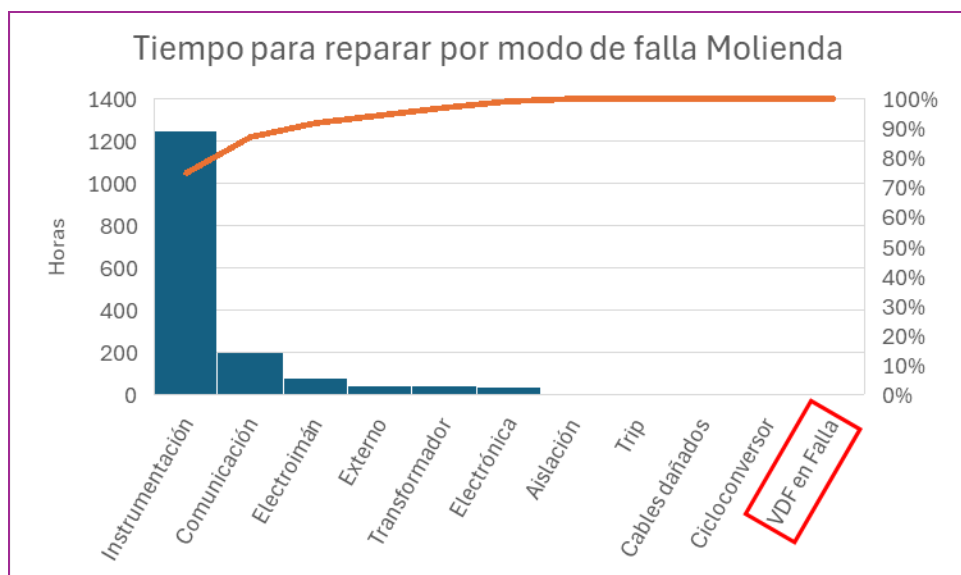


Figura 3-5: Pareto tiempo para reparar en área molienda.
Fuente: Elaboración propia a partir de eventos de registro históricos entre 2024-2025

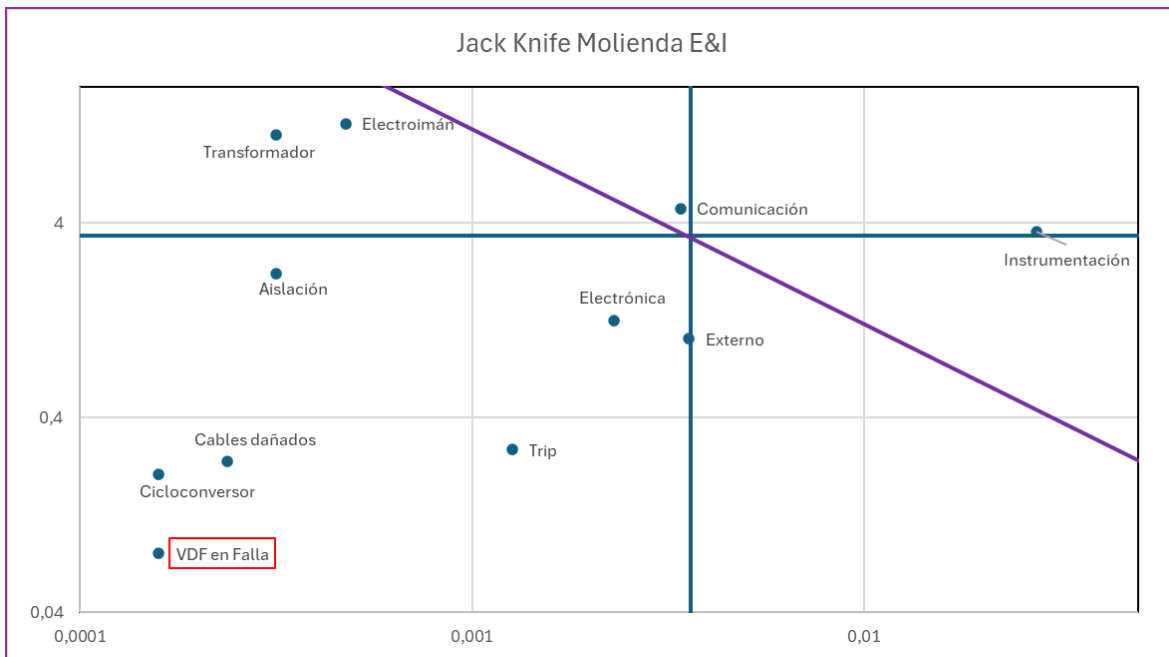


Figura 3-6: Jack Knife modos de falla en área molienda.
Fuente: Elaboración propia a partir de eventos de registro históricos entre 2024-2025

Los registros muestran que los principales modos de evento corresponden a instrumentación y pérdida de señal de comunicación, mientras que los eventos clasificados como “VDF en falla” presentan una frecuencia considerablemente menor. Para esta última clasificación se registraron 2 eventos, correspondientes a 0,16 horas de detención acumulada durante el período analizado.

Sector Molienda			
Modo de evento	MTBF	MTTR	Fallas periodo
Instrumentación	36,30 h	3,59 h	348
Perdida Señal Comunicación	293 h	4,74 h	43
VDF en falla	6315 h	0,08 h	2

Tabla 3-3: Resumen de eventos área molienda.
Fuente: Elaboración propia a partir de registros históricos 2024-2025

Los dos eventos asociados a VDF corresponden a los equipos **3242-VDF-003** y **3242-VDF-004**, asociados al sistema de alimentación de hidrociclones, con tiempos de detención registrados de **0,086 h** y **0,075 h**, respectivamente. El documento de vida útil

identifica al primero como equipo crítico y señala que el segundo actúa como respaldo dentro del mismo proceso.

Los resultados obtenidos muestran que, dentro del período evaluado, los eventos clasificados como “VDF en falla” presentan una **baja frecuencia y un reducido tiempo de detención en el área de Molienda**, constituyendo la línea base histórica que posteriormente será contrastada con los antecedentes de obsolescencia tecnológica y criticidad operacional durante la etapa Analizar.

3.2.4. Comportamiento histórico – Área Flotación

Para el área de Flotación se analizaron los eventos registrados durante el período de estudio, considerando su frecuencia de ocurrencia y los tiempos de detención asociados. La caracterización se realizó mediante diagramas de Pareto de cantidad de fallas y tiempos de reparación, complementados con un análisis Jack-Knife, manteniendo el mismo criterio aplicado en las áreas de Chancado y Molienda.

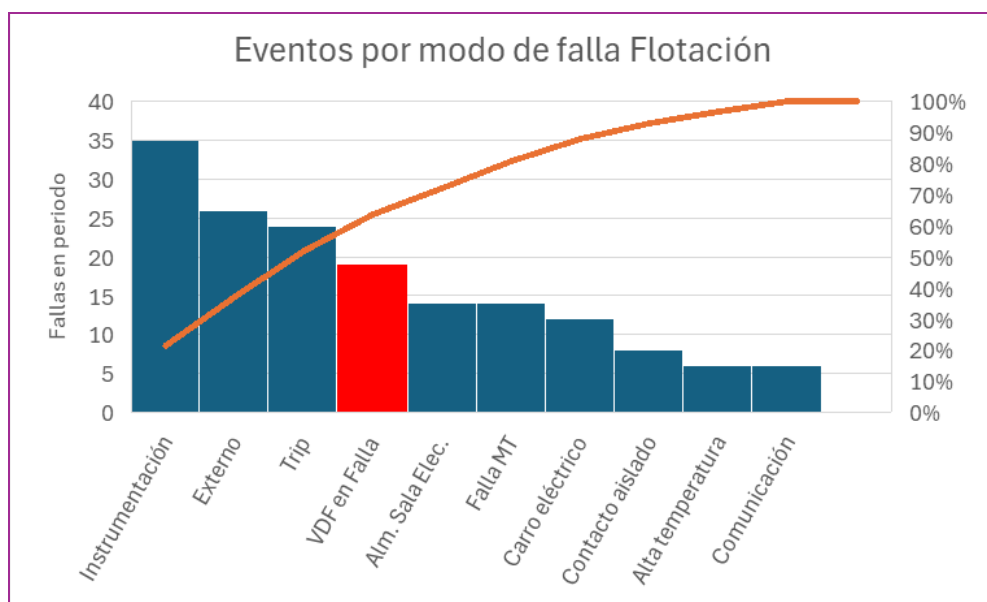


Figura 3-7: Pareto cantidad de fallas en área flotación.

Fuente: Elaboración propia a partir de eventos de registro históricos entre 2024-2025

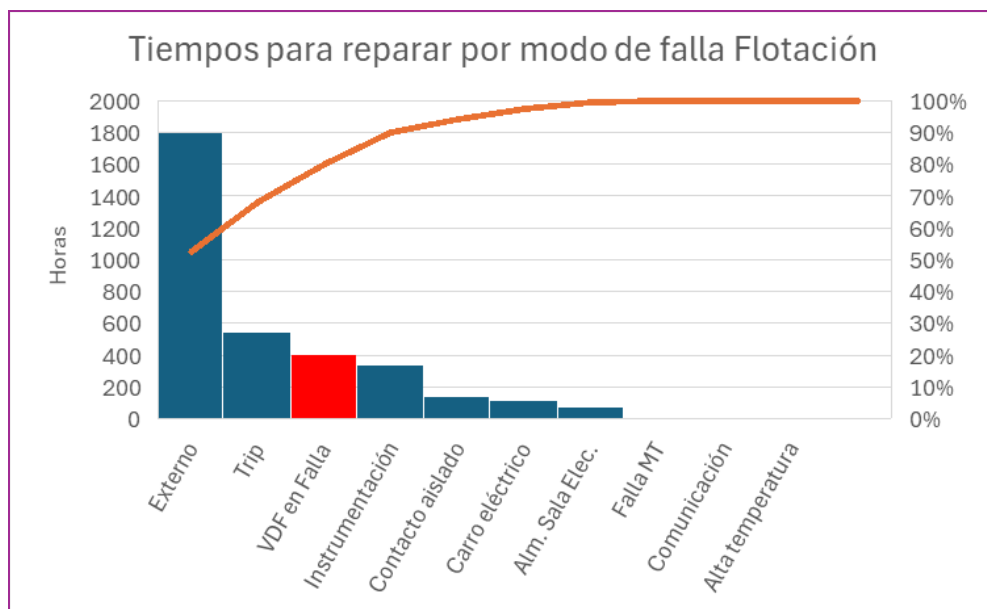


Figura 3-8: Pareto tiempo para reparar en área flotación.
Fuente: Elaboración propia a partir de eventos de registro históricos entre 2024-2025

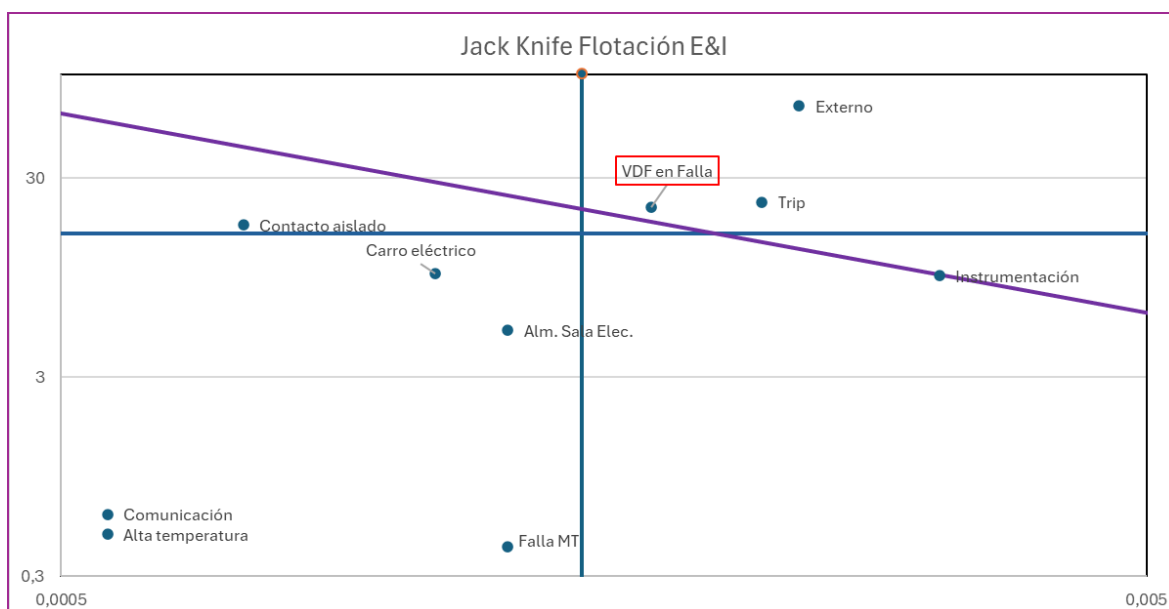


Figura 3-9: Jack Knife modos de falla en área flotación.
Fuente: Elaboración propia a partir de eventos de registro históricos entre 2024-2025

Los registros históricos muestran que los principales modos de falla identificados en el área corresponden a eventos asociados a factores externos, trip y eventos clasificados como “VDF en falla”. Para esta última clasificación se registraron 19 eventos, con un MTBF de 572 horas y un MTTR de 21,54 horas.

Los indicadores obtenidos se presentan en la Tabla 3.4.

Sector Flotación			
Modo de evento	MTBF	MTTR	Fallas periodo
Externo	418 h	69,27 h	36
Trip	453 h	22,72 h	24
VDF en falla	572 h	21,54 h	19

Tabla 3-4: Resumen horas de indisponibilidad área Flotación

Fuente: Elaboración propia a partir de eventos de registro históricos entre 2024-2025

A diferencia de lo observado en el área de Molienda, los eventos asociados a VDF en Flotación presentan tiempos de detención acumulados significativamente mayores. Durante el horizonte analizado, los 19 eventos clasificados bajo esta condición representan aproximadamente **409 horas de detención**.

Los equipos asociados a estos registros corresponden a:

- **3323-VDF-001**, alimentación batería de hidrociclones: **0,56 h** de detención.
- **3323-VDF-002**, alimentación batería de hidrociclones: **14,31 h** de detención.
- **3323-VDF-003**, alimentación batería de hidrociclones stand-by: **0,15 h** de detención.
- **3331-VDF-005**, bomba de concentrado de Flotación Primera Limpieza: **99,90 h** de detención.
- **3331-VDF-006**, bomba de concentrado de Flotación Primera Limpieza: **294,37 h** de detención.

De acuerdo con la clasificación contenida en el estudio de vida útil, los equipos que concentran estas detenciones no se encuentran clasificados como activos críticos. No obstante, los registros permiten establecer que el área de Flotación presenta una contribución relevante al tiempo de detención acumulado asociado a eventos clasificados como “VDF en falla”.

Estos antecedentes constituyen la línea base histórica correspondiente al área de Flotación y serán posteriormente integrados con la condición de obsolescencia y la criticidad operacional durante la etapa Analizar.

3.2.5. Comportamiento histórico – Área Relaves

Para el área de Relaves se analizaron los eventos registrados durante el período de estudio, considerando la frecuencia de ocurrencia y los tiempos de detención asociados. Al igual que en las áreas anteriores, la caracterización se realizó mediante diagramas de Pareto de cantidad de fallas y tiempos de reparación, complementados con un análisis Jack-Knife.

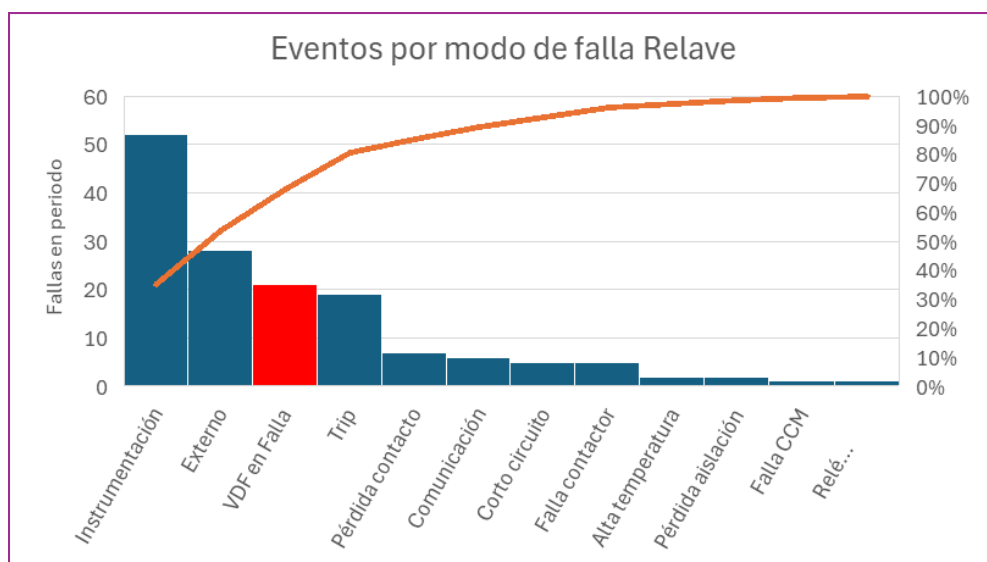


Figura 3-10: Pareto cantidad de fallas en área relaves
Fuente: Elaboración propia a partir de eventos de registro históricos entre 2024-2025

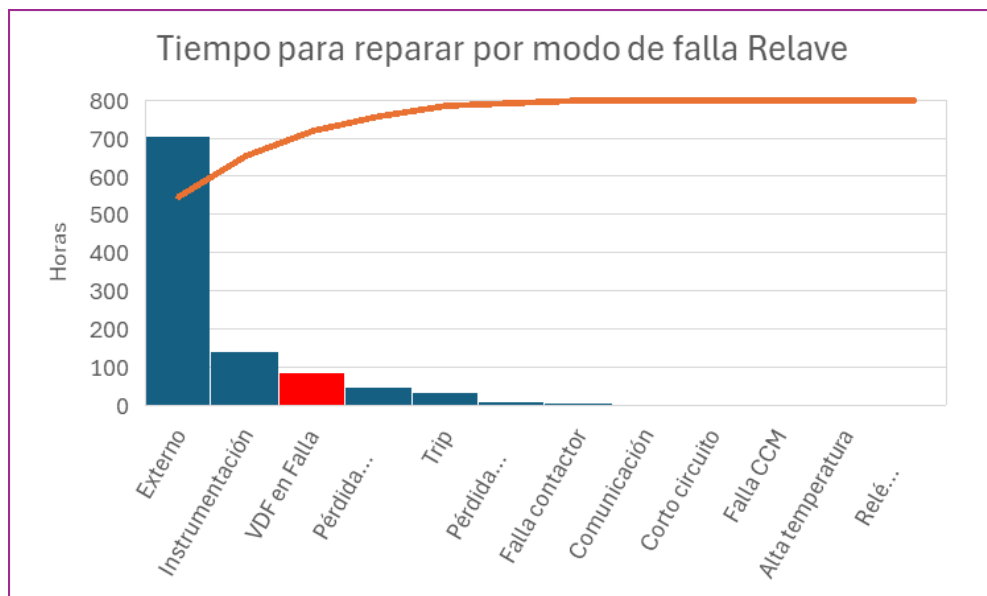


Figura 3-11: Pareto tiempo para reparar en área relaves.
Fuente: Elaboración propia a partir de eventos de registro históricos entre 2024-2025

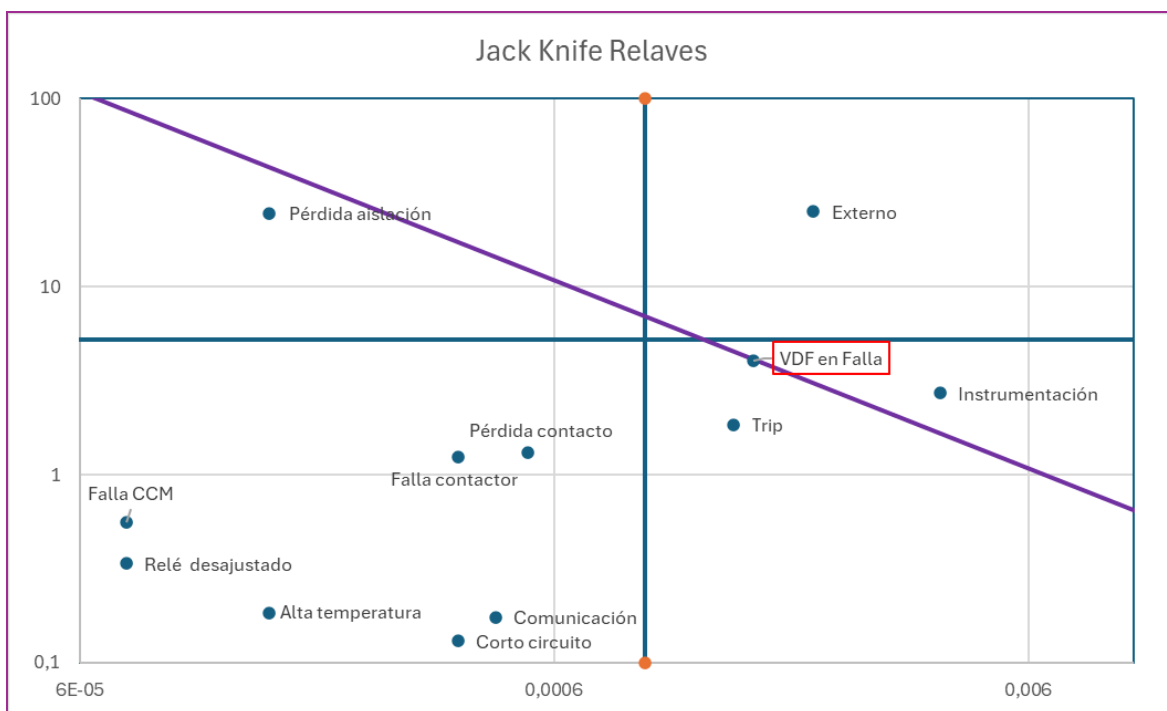


Figura 3-12: Jack Knife modos de falla en área relaves.
Fuente: Elaboración propia a partir de eventos de registro históricos entre 2024-2025

Los registros históricos muestran que los principales modos de falla identificados corresponden a eventos asociados a factores externos, instrumentación y eventos clasificados como “VDF en falla”. Para esta última clasificación se registraron 21 eventos, con un MTBF de 632 horas y un MTTR de 4,06 horas.

Los indicadores correspondientes al área de Relaves se presentan en la Tabla 3-5.

Sector Relaves			
Modo de evento	MTBF	MTTR	Fallas periodo
Externo	474 h	25,18 h	28
Instrumentación	255 h	2,72 h	52
VDF en falla	632 h	4,06 h	21

Tabla 3-5: Resumen fallas área relaves

Fuente: Elaboración propia a partir de eventos de registro históricos entre 2024-2025

Durante el horizonte analizado, los 21 eventos clasificados como “VDF en falla” representaron aproximadamente 85 horas de detención acumulada. En el análisis Jack-Knife desarrollado en el estudio de vida útil, este modo de falla se posiciona en el cuadrante denominado “agudo”, cercano a la curva de indisponibilidad.

Los eventos registrados se encuentran asociados a cinco variadores de frecuencia:

- **3371-VDF-013**, Bomba Alimentación Cajón Recepción Relaves: **2,00 h** de detención.
- **3371-VDF-014**, Bomba Alimentación Cajón Recepción Relaves: **74,40 h** de detención.
- **3371-VDF-016**, Bomba Alimentación Cajón Recepción Relaves: **0,17 h** de detención.
- **3375-VDF-005**, Bomba Alimentación Canaleta de Relaves: **7,68 h** de detención.
- **3375-VDF-010**, Bomba de Impulsión de Relaves: **0,37 h** de detención.

De acuerdo con la clasificación utilizada en el estudio de vida útil, los equipos 3375-VDF-005 y 3375-VDF-010 se encuentran asociados a activos clasificados como críticos, mientras que los tres equipos restantes corresponden a activos no críticos.

Los resultados obtenidos permiten establecer la línea base histórica correspondiente al área de Relaves, la cual será posteriormente integrada con los antecedentes de criticidad operacional y obsolescencia tecnológica durante la etapa Analizar.

3.2.6. Consolidación del comportamiento histórico de los VDF

A partir de los resultados obtenidos para las áreas de Chancado, Molienda, Flotación y Relaves, se realizó la consolidación de los eventos clasificados como “**VDF en falla**”, con el propósito de establecer una visión global del comportamiento histórico de los variadores de frecuencia considerados en el estudio.

Durante el período analizado se registraron **57 eventos** asociados a esta clasificación, distribuidos de manera heterogénea entre las distintas áreas operacionales. Asimismo, estos eventos representaron aproximadamente **498,69 horas de detención acumulada**, observándose diferencias significativas tanto en la frecuencia de ocurrencia como en la duración de las detenciones.

La Tabla 3.6 presenta el consolidado de los resultados obtenidos.

Área	Eventos de VDF	Horas de detención (h)	MTBF (H)	MTTR (h)
Chancado	15	4,53	950	0,30
Molienda	2	0,16	6.315	0,08
Flotación	19	409,29	572	21,54
Relaves	21	85	632	4,06
Total	57	498,69	-	-

Tabla 3-6: Consolidado de eventos asociados a VDFs

Fuente: Elaboración propia a partir de eventos de registro históricos entre 2024-2025

Los resultados evidencian que la distribución de los eventos y de las horas de detención no es uniforme entre las áreas evaluadas. Mientras Molienda registra 2 eventos y aproximadamente 0,16 horas de detención, Flotación concentra una proporción importante del tiempo total registrado, aun cuando su cantidad de eventos es similar a la observada en otras áreas.

Por otra parte, el levantamiento realizado permitió identificar que 14 de los 24 VDF considerados en el estudio presentan registros asociados a eventos durante el período

evaluado, mientras que los equipos restantes no presentan eventos identificados bajo esta clasificación en la información analizada.

Esta consolidación constituye la línea base cuantitativa del comportamiento histórico de los VDF y permite establecer las diferencias existentes entre las distintas áreas operacionales. Estos resultados serán utilizados en la etapa Analizar junto con los antecedentes de obsolescencia tecnológica y criticidad operacional, con el propósito de evaluar la condición de los activos desde una perspectiva integrada.

3.3. Etapa Analizar (ANALYZE)

A partir de la línea base obtenida en la etapa Medir, se analiza la condición de los variadores de frecuencia considerados en el estudio, integrando el comportamiento histórico registrado con los antecedentes de obsolescencia tecnológica y la criticidad operacional de los activos asociados.

Los resultados obtenidos muestran que el comportamiento histórico de los VDF presenta diferencias relevantes entre las distintas áreas de la planta, tanto en frecuencia de eventos como en tiempos de detención. Sin embargo, estos antecedentes representan el desempeño observado durante el período analizado y, por sí solos, no permiten caracterizar completamente el riesgo asociado a la continuidad futura de los equipos.

En particular, el análisis debe considerar que los VDF pertenecen a una misma plataforma tecnológica y que su condición futura no depende únicamente de la ocurrencia histórica de fallas, sino también de factores relacionados con el ciclo de vida tecnológico, la disponibilidad de repuestos, la continuidad del soporte especializado y las consecuencias operacionales derivadas de una eventual indisponibilidad.

Por esta razón, en esta etapa se analizan de manera conjunta tres dimensiones principales: la obsolescencia tecnológica de la plataforma instalada, el comportamiento histórico de fallas y la criticidad operacional de los equipos asociados. La integración de estos antecedentes permitirá establecer un diagnóstico técnico de la condición actual y determinar los factores que deberán ser considerados posteriormente en la evaluación de alternativas de intervención.

3.3.1. Análisis de obsolescencia tecnológica de los VDF

Los 24 variadores de frecuencia considerados en el presente estudio pertenecen a la serie XMV660 de Power Electronics, plataforma que actualmente se encuentra en condición de obsolescencia tecnológica. Esta condición constituye un antecedente relevante para evaluar la continuidad futura de los equipos, debido a que afecta directamente la disponibilidad de repuestos y las posibilidades de recuperación ante eventuales fallas.

En noviembre de 2024 se emitió un aviso formal informando que la serie XMV660 había sido definitivamente descatalogada, luego de haber transcurrido más de diez años desde el término de su producción. El documento señala además que ya no se dispone de repuestos para esta serie, situación que limita la capacidad de efectuar reparaciones que requieran el reemplazo de componentes específicos.

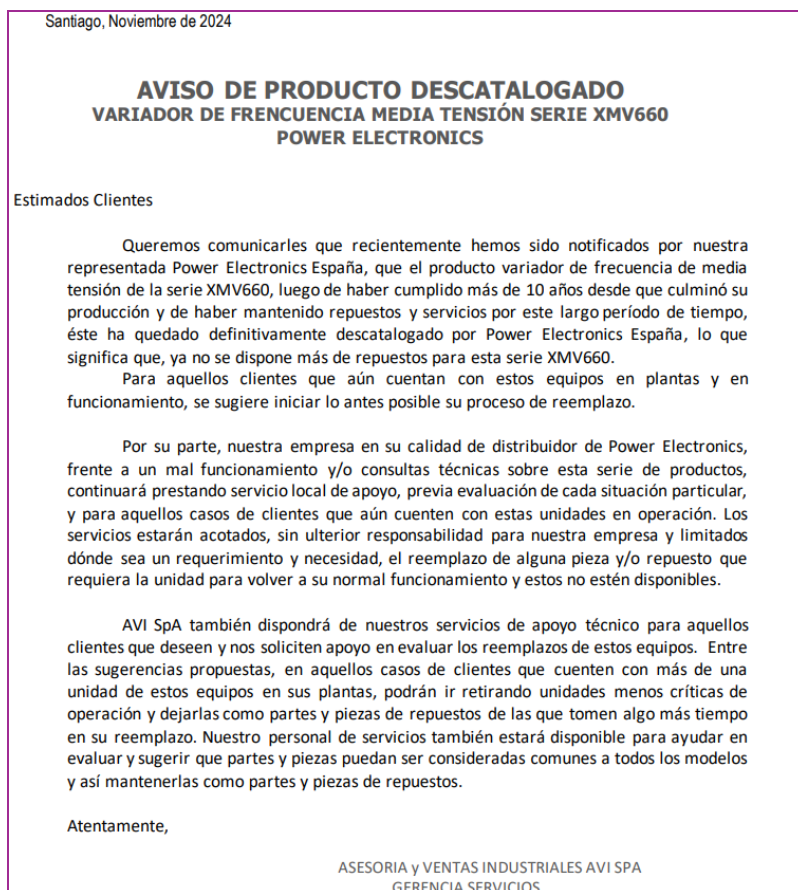


Figura 3-13: Aviso de producto descatalogado correspondiente a la serie XMV660
Fuente: AVI SpA, distribuidor de Power Electronics, noviembre de 2024.

El antecedente presentado permite establecer una diferencia relevante entre la condición operacional actual de los equipos y su condición tecnológica. Si bien un VDF puede permanecer disponible y continuar cumpliendo su función dentro del proceso productivo, la discontinuidad de la plataforma reduce progresivamente las alternativas disponibles para recuperar el activo frente a una eventual falla que requiera componentes que ya no se encuentren disponibles.

El aviso señala que se continuará prestando soporte técnico local para los equipos que permanezcan en operación; sin embargo, dicho soporte se encuentra condicionado a la naturaleza de la falla y a la disponibilidad de las piezas requeridas para su reparación. Por lo tanto, la existencia de soporte técnico no asegura necesariamente la recuperación del equipo cuando la intervención requiera un componente discontinuado.

Adicionalmente, el documento plantea como alternativa para los equipos que continúen operando la posibilidad de utilizar unidades menos críticas como fuente de partes y componentes. Si bien esta estrategia podría permitir extender temporalmente la operación de determinados equipos, implica reducir progresivamente la base instalada disponible y no constituye una solución permanente frente a la obsolescencia de la plataforma.

Desde el punto de vista del presente estudio, estos antecedentes permiten establecer que el riesgo asociado a los VDF XMV660 no se encuentra determinado exclusivamente por su frecuencia histórica de fallas. Los indicadores obtenidos durante la etapa Medir representan el comportamiento observado durante el período analizado, mientras que la obsolescencia incorpora una condición adicional relacionada con la capacidad futura de mantener y recuperar los activos.

En consecuencia, aun cuando determinados VDF presenten una baja frecuencia de eventos o tiempos reducidos de detención, esta condición no elimina el riesgo asociado a la indisponibilidad futura de repuestos y componentes. Por esta razón, la condición de obsolescencia tecnológica debe ser integrada con el comportamiento histórico y la criticidad operacional de cada aplicación antes de establecer una estrategia de intervención.

3.3.2. Análisis del comportamiento histórico de fallas

Los resultados obtenidos durante la etapa Medir muestran que el comportamiento histórico de los variadores de frecuencia no es homogéneo entre las distintas áreas operacionales. Durante el período analizado se identificaron 57 eventos clasificados como

“VDF en falla”, con un tiempo acumulado de detención de aproximadamente 498,69 horas, distribuidos entre Chancado, Molienda, Flotación y Relaves.

La distribución de estos eventos evidencia diferencias relevantes entre frecuencia de ocurrencia y duración de las detenciones. En Chancado se registraron 15 eventos con aproximadamente 4,53 horas de detención, mientras que en Molienda se identificaron únicamente 2 eventos, correspondientes a aproximadamente 0,16 horas. Por otra parte, Flotación, con 19 eventos, concentró aproximadamente 409 horas de detención, mientras que Relaves registró 21 eventos y aproximadamente 85 horas de indisponibilidad.

Esta distribución permite observar que la cantidad de eventos, considerada de manera aislada, no representa necesariamente su impacto operacional. Flotación y Relaves presentan cantidades de eventos relativamente similares; sin embargo, los tiempos acumulados de detención presentan diferencias importantes. De igual forma, Molienda muestra un comportamiento histórico favorable en términos de frecuencia y duración de los eventos asociados a VDF.

Los indicadores de confiabilidad obtenidos refuerzan esta diferencia entre áreas. Para los eventos clasificados como “VDF en falla”, Molienda presenta un MTBF de 6.315 horas y un MTTR de 0,08 horas, mientras que Flotación registra un MTBF de 572 horas y un MTTR de 21,54 horas. Chancado y Relaves presentan valores intermedios, con MTBF de 950 y 632 horas, respectivamente, y MTTR de 0,30 y 4,06 horas.

Estos resultados muestran que la población de VDF no debe ser evaluada como un conjunto completamente homogéneo desde el punto de vista de su comportamiento histórico. Aun cuando los equipos pertenecen a una misma plataforma tecnológica, las condiciones de operación, aplicaciones asociadas y antecedentes de falla generan diferencias relevantes en su desempeño registrado.

Por otra parte, la información histórica disponible presenta una limitación que debe ser considerada en la interpretación de estos resultados. Los registros de mantenimiento no siempre permiten establecer de manera inequívoca si la causa de una detención corresponde específicamente al variador de frecuencia o a otro componente del sistema de accionamiento. En consecuencia, la clasificación “VDF en falla” constituye un antecedente válido para caracterizar el comportamiento registrado, pero no debe

interpretarse automáticamente como evidencia de una falla interna confirmada del variador en todos los eventos analizados.

Esta limitación adquiere especial importancia para la toma de decisiones de renovación. La ausencia de eventos registrados o una baja frecuencia histórica de fallas no permite concluir, por sí sola, que un equipo presenta un bajo nivel de riesgo futuro. De igual forma, una mayor cantidad de eventos históricos no constituye por sí sola evidencia suficiente para determinar la necesidad de reemplazo del activo.

En consecuencia, el comportamiento histórico permite establecer diferencias de desempeño entre los VDF y sus áreas de aplicación, pero no constituye un criterio suficiente para determinar individualmente la estrategia de renovación. Estos resultados deben ser analizados conjuntamente con la condición de obsolescencia establecida en el apartado anterior y con la criticidad operacional de los activos asociados.

3.3.3. Análisis de criticidad operacional

La evaluación del comportamiento histórico desarrollada en los apartados anteriores debe complementarse con la criticidad operacional de los activos accionados por los variadores de frecuencia. Esta condición resulta relevante debido a que las consecuencias asociadas a la indisponibilidad de un VDF dependen directamente de la función que cumple el equipo dentro del proceso y de la existencia de redundancia o capacidad de respaldo.

Del universo de 24 VDF considerados en el estudio, 11 se encuentran asociados a equipos clasificados como críticos, distribuidos principalmente en aplicaciones vinculadas al transporte de mineral, alimentación de hidrociclones, manejo de relaves y otros servicios relevantes para la continuidad del proceso. Los equipos restantes se encuentran asociados a aplicaciones de menor criticidad o disponen de configuraciones operacionales que reducen las consecuencias inmediatas de una eventual indisponibilidad.

TAG VDF	Aplicación	Área	Criticidad
3212-VDF-001	VDF Correa transportadora alimentación molino SAG	Molienda	Crítico
3374-VDF-006	VDF Bomba de impulsión agua recuperada	Relaves	Crítico
3114-VDF-001	VDF Correa transportadora descarga chancador primario	Chancado	Crítico
3375-VDF-005	VDF bomba alimentación canaleta de relaves	Relave	Crítico
3375-VDF-010	VDF Bomba de impulsión de relaves	Relave	Crítico
3242-VDF-001	VDF Bomba alimentación hidrociclones	Molienda	Crítico
3242-VDF-002	VDF Bomba alimentación hidrociclones	Molienda	Crítico
3242-VDF-003	VDF Bomba alimentación hidrociclones	Molienda	Crítico
3242-VDF-004	VDF Bomba alimentación hidrociclones	Molienda	Crítico
3115-VDF-001	VDF Correa transportadora overland, acopio de gruesos (master).	Chancado	Crítico
3115-VDF-002	VDF Correa transportadora overland, acopio de gruesos (slave).	Chancado	Crítico

Tabla 3-7: Identificación de variadores de frecuencia asociados a activos críticos.
Fuente: Elaboración propia a partir de antecedentes de criticidad de activos División Ministro Hales

La clasificación anterior introduce un elemento adicional respecto del comportamiento histórico observado. Un equipo que presenta una baja frecuencia de eventos no necesariamente representa un bajo riesgo para la operación si su indisponibilidad puede afectar directamente la continuidad del proceso. De la misma forma, un equipo con una mayor frecuencia de eventos puede presentar consecuencias operacionales menores cuando existe redundancia, respaldo o capacidad de mantener el proceso mediante una configuración alternativa.

Esta situación puede observarse al comparar los resultados obtenidos en las distintas áreas. En Molienda, por ejemplo, los eventos clasificados como “VDF en falla” presentaron una baja frecuencia y tiempos reducidos de detención durante el período analizado; sin embargo, parte de los variadores considerados se encuentran asociados a aplicaciones relevantes para la continuidad del proceso. Por otra parte, en Flotación se registró una mayor cantidad de horas de detención asociadas a VDF, aunque los equipos que concentraron una parte importante de estas detenciones no se encuentran clasificados como críticos.

En el área de Relaves también se observa esta diferencia. De los cinco variadores que presentaron eventos durante el período analizado, los equipos 3375-VDF-005 y 3375-VDF-010 se encuentran asociados a activos clasificados como críticos, mientras que los restantes corresponden a aplicaciones de menor criticidad.

Por lo tanto, la criticidad operacional permite complementar la información obtenida a partir de los indicadores históricos de confiabilidad, incorporando las consecuencias que tendría la indisponibilidad de cada activo sobre el proceso productivo. Desde esta perspectiva, la priorización de los VDF no debe realizarse únicamente en función del número de fallas o de las horas históricas de detención, sino considerando también la función operacional desempeñada por cada equipo y la existencia de alternativas de respaldo.

Los resultados obtenidos permiten establecer que criticidad y comportamiento histórico representan dimensiones diferentes del riesgo. Esta distinción resulta especialmente relevante en una plataforma tecnológicamente obsoleta, donde una eventual falla en un equipo crítico podría presentar mayores dificultades de recuperación debido a las restricciones de repuestos identificadas previamente.

3.3.4. Análisis integrado de obsolescencia, confiabilidad y criticidad

A partir de los resultados obtenidos en los apartados anteriores, se realiza una evaluación conjunta de los 24 variadores de frecuencia XMV660, considerando su comportamiento histórico durante el período 2024–2025, la criticidad operacional de los equipos asociados y las restricciones derivadas de su condición de obsolescencia tecnológica.

El análisis histórico identificó 57 eventos clasificados como “VDF en falla”, con un tiempo acumulado de detención de aproximadamente 498,69 horas. Sin embargo, su distribución evidencia diferencias significativas entre las áreas operacionales, particularmente entre Flotación, que concentra la mayor cantidad de horas de detención, y Molienda, que presenta los menores registros de indisponibilidad.

Al contrastar estos resultados con la clasificación de criticidad operacional, se observa que los equipos con mayores tiempos históricos de detención no necesariamente corresponden a las aplicaciones de mayor criticidad. Esta situación se presenta en Flotación, donde los variadores 3331-VDF-005 y 3331-VDF-006 acumulan aproximadamente 394,27 horas de detención, pese a encontrarse asociados a equipos no clasificados como críticos.

Por otra parte, en Molienda se identifican variadores asociados a aplicaciones críticas que presentan un comportamiento histórico favorable, mientras que en Relaves los equipos

3375-VDF-005 y 3375-VDF-010, asociados a activos críticos, registran tiempos de detención de 7,68 y 0,37 horas, respectivamente.

Estos antecedentes evidencian que la frecuencia y duración de las detenciones no permiten, por sí solas, establecer la prioridad de intervención de los variadores. La criticidad operacional introduce una diferencia relevante en las consecuencias de una eventual indisponibilidad, mientras que la obsolescencia tecnológica constituye una condición común que limita las posibilidades futuras de recuperación de los equipos.

La Figura 3-14 representa conceptualmente la integración de las tres dimensiones consideradas en el análisis.



Figura 3-14: Integración de variables para la evaluación del riesgo asociado a los VDF XMV660.
Fuente: Elaboración propia

Al relacionar los resultados históricos presentados en la etapa Medir con la clasificación de criticidad operacional de la Tabla 3-7, se identifican diferencias entre el comportamiento registrado de los variadores y las consecuencias potenciales de su indisponibilidad. Esta comparación permite establecer que los equipos con mayores tiempos históricos de detención no necesariamente corresponden a las aplicaciones de mayor criticidad, lo que evidencia la necesidad de considerar ambas dimensiones al evaluar su continuidad operacional.

3.3.5. Diagnóstico técnico de la condición actual

A partir del análisis desarrollado, se establece que la principal vulnerabilidad de los variadores de frecuencia XMV660 no se encuentra necesariamente asociada a su comportamiento histórico de fallas, sino a las restricciones existentes para asegurar su mantenimiento y recuperación ante una eventual indisponibilidad.

Si bien los resultados históricos presentan diferencias entre los equipos evaluados, la totalidad de los variadores pertenece a una plataforma tecnológica descatalogada, cuya disponibilidad de repuestos y continuidad de soporte especializado se encuentran limitadas. Esta condición representa una dificultad para sostener su operación en el largo plazo, particularmente en aquellas aplicaciones clasificadas como críticas para el proceso productivo.

En este contexto, el diagnóstico técnico identifica la necesidad de establecer una estrategia de intervención planificada, que permita reducir progresivamente la exposición operacional asociada a la obsolescencia tecnológica, considerando la criticidad de las aplicaciones y los antecedentes de desempeño registrados.

Por lo tanto, la continuidad operacional de los equipos debe abordarse mediante una estrategia de gestión de su ciclo de vida, que contemple la evaluación de alternativas técnicas y económicas para su renovación, evitando que las decisiones de intervención dependan exclusivamente de la ocurrencia de fallas.

Este diagnóstico constituye la base para el desarrollo de la etapa Mejorar, donde se evaluarán las alternativas de intervención disponibles y se establecerá una propuesta de renovación tecnológica para los variadores considerados en el estudio.

3.4. Etapa Mejorar (IMPROVE)

A partir del diagnóstico técnico obtenido en la etapa Analizar, se evalúan alternativas de intervención para los 24 variadores de frecuencia XMV660, con el propósito de establecer una solución que permita asegurar la continuidad operacional y reducir las restricciones asociadas a la obsolescencia de la plataforma instalada.

Para ello, se consideran dos alternativas técnicamente aplicables: la modernización de los equipos existentes mediante retrofit y su reemplazo por variadores de frecuencia de

nueva generación. Ambas opciones son evaluadas considerando sus alcances técnicos, costos de inversión, plazos de suministro y condiciones de implementación.

Posteriormente, se desarrolla una evaluación económica que incorpora distintos escenarios de intervención, con el propósito de fundamentar la selección de una estrategia de renovación tecnológica para los equipos considerados en el estudio.

3.4.1. Evaluación de alternativas de intervención

Considerando el diagnóstico técnico establecido en la etapa anterior, se identifican dos alternativas de intervención para los 24 variadores de frecuencia XMV660: la modernización de los equipos existentes mediante retrofit y su reemplazo por variadores de nueva generación.

La primera alternativa considera aprovechar parte de la infraestructura instalada, mediante la actualización de componentes y sistemas asociados al funcionamiento de los variadores. La segunda contempla el reemplazo de los equipos existentes por unidades de tecnología actual, manteniendo los requerimientos operacionales de las aplicaciones donde se encuentran instalados.

Para comparar ambas opciones se consideran los antecedentes técnicos y económicos disponibles, particularmente el alcance de las intervenciones, los costos de inversión, las condiciones de implementación y las posibilidades de soporte y mantenimiento posteriores.

Los resultados de esta evaluación se presentan en los apartados siguientes, con el propósito de establecer las diferencias entre ambas alternativas y determinar su conveniencia para la renovación de la plataforma instalada.

3.4.1.1. Retrofit a VDF

Solución técnicamente aplicable y ofertada por el vendor de los VDF. Esta alternativa propone un plan de acción que permitirá extender la vida útil de los VDF otros 10 años una vez realizados los trabajos. El valor estimado del Retrofit por equipo va entre \$100.900 USD a 280.800 USD, totalizando 4.060 KUSD (sin IVA) para los 24 VDF, esto contempla *comisionamiento, pruebas funcionales y garantías* de los componentes a intervenir. El plazo de entrega del retrofit por equipo es de aproximadamente 19 semanas.

VDF	Corriente equipo [A]	Cantidad de equipos	Costo unitario Retrofil (USD)	Costo total (USD)
3371-VDF-013 // 3371-VDF-014 // 3371-VDF-015 // 3371-VDF-016 // 3212-VDF-001	70	5	\$ 100.900	\$ 504.500
3331-VDF-001 // 3331-VDF-002 // 3331-VDF-005 // 3331-VDF-006	100	4	\$ 111.300	\$ 445.200
3332-VDF-001 // 3332-VDF-002 // 3374-VDF-006	130	3	\$ 132.300	\$ 396.900
3323-VDF-001 // 3323-VDF-002 // 3114-VDF-001	140	3	\$ 132.300	\$ 396.900
	180	1	\$ 159.000	\$ 159.000
3375-VDF-005 // 3375-VDF-010	280	2	\$ 183.200	\$ 366.400
3242-VDF-001 // 3242-VDF-002 //	365	4	\$ 216.400	\$ 865.600
3242-VDF-003 // 3242-VDF-004				
3115-VDF-001 // 3115-VDF-002	460	2	\$ 280.800	\$ 561.600

Servicio:	Valor unitario (USD)	Cantidad	Total partida (USD)
Servicio pruebas FAT	\$ 15.184	24	\$ 364.416

TOTAL	\$ 4.060.516
-------	--------------

Tabla 3-8: Costos retrofit VDF existentes

Fuente: Elaboración propia según cotización retrofit plataforma accionamientos media tensión (anexo 01)

Los servicios incluidos en el retrofit consideran los siguientes alcances:

- Reemplazo de Celdas de potencia
- Reemplazo de Electrónica de control
- Reemplazo Controlador VDF
- Reemplazo de Ventiladores de refrigeración
- Servicios de levantamiento ajustes y parámetros operacionales
- Servicios de Supervisión de trabajos Montaje y Reconexionado en planta
- Servicios de configuración Pruebas y Puesta en servicio
- Servicios de asistencia de marcha blanca

Los trabajos considerados en la alternativa de retrofit se presentan en la Figura 3-15, donde se identifican los componentes incluidos en la modernización y aquellos que permanecen instalados. Entre estos últimos se encuentran el transformador y el sistema de seccionamiento de entrada, los cuales no forman parte del alcance de reacondicionamiento propuesto.

Si bien esta alternativa permitiría actualizar componentes relevantes del variador y extender su vida útil estimada en diez años, la permanencia de elementos originales requiere evaluar su condición técnica, mantenibilidad, disponibilidad de repuestos y posibilidades de recuperación ante una eventual falla. Por lo tanto, el retrofit constituye una alternativa técnicamente aplicable cuya conveniencia deberá determinarse mediante

la comparación de sus costos, alcances y riesgos residuales frente al reemplazo completo de los equipos, desarrollada en los apartados siguientes.



Figura 3-15: Componentes incluidos y excluidos del alcance de retrofit de los VDF XMV660.
Fuente: Elaboración propia según sitio web power electronic.

3.4.1.2. Reemplazo de VDF por nuevas versiones

La alternativa de reemplazo completo contempla la sustitución de los 24 variadores de frecuencia XMV660 por equipos de nueva generación, correspondientes al modelo PowerDrive, serie RMVC5100-4.16, según la propuesta técnica y económica del proveedor. Esta solución permitiría renovar integralmente la plataforma instalada, incluyendo los componentes que permanecen sin intervención en la alternativa de retrofit, y reducir las restricciones asociadas a la obsolescencia tecnológica, particularmente en materia de mantenibilidad, disponibilidad de repuestos y soporte especializado. La inversión cotizada asciende a USD 4.320.016, sin IVA, e incluye los servicios especificados en la Tabla 3-9.

Esta oferta no considera la desinstalación o instalación de ningún VDF (existentes o nuevos). El plazo de entrega del cambio por VDF nuevo es de aproximadamente 18-20 semanas. Esto se puede ver en la siguiente tabla.

VDF	Corriente equipo [A]	Cantidad de equipos	Costo unitario VDF nuevo (USD)	Costo total (USD)
3371-VDF-013 // 3371-VDF-014 // 3371-VDF-015 // 3371-VDF-016 // 3212-VDF-001	70	5	\$ 104.200	\$ 521.000
3331-VDF-001 // 3331-VDF-002 // 3331-VDF-005 // 3331-VDF-006	100	4	\$ 113.800	\$ 455.200
3332-VDF-001 // 3332-VDF-002 // 3374-VDF-006	130	3	\$ 133.700	\$ 401.100
3323-VDF-001 // 3323-VDF-002 // 3323-VDF-003	140	3	\$ 131.200	\$ 393.600
3114-VDF-001	180	1	\$ 151.500	\$ 151.500
3375-VDF-005 // 3375-VDF-010	280	2	\$ 185.200	\$ 370.400
3242-VDF-001 // 3242-VDF-002 // 3242-VDF-003 // 3242-VDF-004	365	4	\$ 224.500	\$ 898.000
3115-VDF-001 // 3115-VDF-002	460	2	\$ 302.400	\$ 604.800

Servicio:	Valor unitario (USD)	Cantidad	Valor
Servicio Pruebas FAT	\$ 15.184	24	\$ 364.416
Supervisión Montaje y precomisionamiento	\$ 3.000	24	\$ 72.000
Servicios de comisionamiento y puesta en marcha	\$ 3.600	24	\$ 86.400
Servicios de capacitación	\$ 1.600	1	\$ 1.600
TOTAL			\$ 4.320.016

Tabla 3-9: Costos cambio de VDF por nueva versión (mismo fabricante).

Fuente: Elaboración propia según cotización replazo por nuevos accionamientos media tensión (anexo 3)

Este presupuesto no contempla costos asociados a la mano de obra de retirar los VDF existentes de las salas eléctricas (con todo el tiempo y movimiento de equipos que eso requiere), al igual que los costes de instalación de los nuevos equipos, por ende, el valor total de esta opción puede aumentar considerablemente.

Independientemente de la elección de la solución, se contempla una intervención progresiva de los VDF, realizando los trabajos de actualización en un horizonte de entre 8 a 12 años (según análisis económico).

3.4.2. Evaluación económica de alternativas

La evaluación económica tiene como propósito comparar el costo de las alternativas de intervención frente a las posibles consecuencias de mantener los variadores de frecuencia XMV660 en su condición actual.

Para ello, se establece un horizonte de evaluación de 10 años, considerando una tasa de descuento del 8 % y un costo estimado de pérdida de producción de USD 200.000 por

hora para eventos que comprometan la continuidad operacional de la Planta Concentradora.

Se consideran tres escenarios: mantener los equipos existentes sin inversión, ejecutar un programa de retrofit y realizar el reemplazo por variadores de nueva generación. Para las alternativas de inversión, se utiliza una programación gradual de las intervenciones, considerando la criticidad operacional de los equipos y la necesidad de verificar el desempeño de las soluciones implementadas.

La evaluación se desarrolla mediante el cálculo del Valor Actual de Costos (VAC), utilizando los flujos económicos proyectados para cada escenario. Este indicador permite comparar los costos estimados durante el horizonte de análisis y constituye un antecedente para fundamentar la selección de la estrategia de intervención.

3.4.2.1. Parámetros y detalle análisis económico

Para desarrollar la evaluación económica se utilizan los antecedentes de inversión proporcionados por el proveedor, los parámetros económicos de la División Ministro Hales y los registros históricos de indisponibilidad analizados en la etapa Medir.

Parámetros	Valor	Fuentes
Horizonte de evaluación	10 años	Modelo económico del estudio
Costo de Capital	8%	Parámetros de Planificación
Costo estimado de pérdida por hora	200.000 USD/h	Parámetros planta Concentradora
Inversión (retrofit)	4.060.516 USD	Cotización AVI
Inversión (VDF nuevos)	4.320.016 USD	Cotización AVI
Duración de falla de referencia	212 h	Antecedentes históricos utilizados en el estudio

Tabla 3-10: Parámetros para la evaluación económica

Fuente: Elaboración propia a partir de antecedentes operacionales, parámetros de planificación y cotizaciones del proveedor

La inversión estimada para el retrofit asciende a USD 4.060.516, mientras que el reemplazo por variadores de nueva generación considera USD 4.320.016. Ambos valores corresponden a las propuestas del proveedor, sin IVA, y constituyen la base para distribuir los desembolsos según la programación de intervención.

Para estimar las consecuencias económicas de mantener los equipos existentes, se considera un escenario de indisponibilidad prolongada en una aplicación crítica. Como referencia se utiliza una duración de 212 horas, correspondiente al evento de mayor duración identificado en los antecedentes históricos, y un costo de pérdida de producción de USD 200.000 por hora.

Este supuesto permite cuantificar la exposición económica asociada a una eventual falla cuya recuperación se vea dificultada por la falta de repuestos y soporte técnico. No representa una predicción de ocurrencia, sino una condición de riesgo utilizada para construir el escenario sin inversión.

Finalmente, el análisis se limita a los costos considerados en las propuestas y a los supuestos de indisponibilidad definidos. No incorpora una valorización completa de las detenciones programadas ni de los trabajos adicionales de desmontaje e instalación, por lo que los resultados deben interpretarse dentro de estas restricciones.

3.4.2.2. Programación de las inversiones para las alternativas de retrofit y reemplazo por VDF de nueva generación

Para la modernización de los 24 variadores de frecuencia XMV660, se considera una programación gradual de intervenciones aplicable a las dos alternativas evaluadas: retrofit de los equipos existentes y reemplazo por VDF de nueva generación. La secuencia propuesta considera la criticidad operacional de los equipos, priorizando inicialmente aplicaciones de menor impacto productivo. Esta estrategia permite verificar el desempeño de las soluciones implementadas antes de intervenir variadores asociados a procesos de mayor criticidad. La Tabla 3-11 presenta la propuesta de intervención de los 24 VDF por año, estableciendo una secuencia común para ambas alternativas de modernización.

VDF	Corriente equipo [A]	Cantidad de equipos	Equipos críticos	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 5	año 6
3371-VDF-013 // 3371-VDF-014 // 3371-VDF-015 // 3371-VDF-016 // 3212-VDF-001	70	5	1	1	1	1		1	1
3331-VDF-001 // 3331-VDF-002 // 3331-VDF-005 // 3331-VDF-006	100	4	0	1		1		1	1
3332-VDF-001 // 3332-VDF-002 // 3374-VDF-006	130	3	1	2		1			
3323-VDF-001 // 3323-VDF-002 // 3323-VDF-003	140	3	0	2				1	
3114-VDF-001	180	1	1		1				
3375-VDF-005 // 3375-VDF-010	280	2	2		1	1			
3242-VDF-001 // 3242-VDF-002 // 3242-VDF-003 // 3242-VDF-004	365	4	4		1	1	2		
3115-VDF-001 // 3115-VDF-002	460	2	2		2				

Tabla 3-11: Propuesta de intervención VDF por año
Fuente: Elaboración propia según estrategia de inversión

A partir de esta programación, se establece la distribución anual de la inversión correspondiente al reemplazo por VDF de nueva generación. La Tabla 3-12 presenta dicha distribución, considerando los costos unitarios de los equipos y los períodos de intervención definidos.

VDF	Corriente equipo [A]	Cantidad de equipos	Costo unitario Retrofit (USD)	Equipos críticos	año 0	año 1	año 2	año 3	año 5	año 6
3371-VDF-013 // 3371-VDF-014 // 3371-VDF-015 // 3371-VDF-016 // 3212-VDF-001	70	5	\$ 100.900	1	\$ 100.900	\$ 100.900	\$ 100.900		\$ 100.900	\$ 100.900
3331-VDF-001 // 3331-VDF-002 // 3331-VDF-005 // 3331-VDF-006	100	4	\$ 111.300	0	\$ 111.300		\$ 111.300		\$ 111.300	\$ 111.300
3332-VDF-001 // 3332-VDF-002 // 3374-VDF-006	130	3	\$ 132.300	1	\$ 264.600		\$ 132.300		\$ -	\$ -
3323-VDF-001 // 3323-VDF-002 // 3323-VDF-003	140	3	\$ 132.300	0	\$ 264.600		\$ -		\$ 132.300	\$ -
3114-VDF-001	180	1	\$ 159.000	1	\$ -	\$ 159.000			\$ -	\$ -
3375-VDF-005 // 3375-VDF-010	280	2	\$ 183.200	2	\$ -	\$ 183.200	\$ 183.200			
3242-VDF-001 // 3242-VDF-002 // 3242-VDF-003 // 3242	365	4	\$ 216.400	4	\$ -	\$ 216.400	\$ 216.400	\$ 432.800		
3115-VDF-001 // 3115-VDF-002	460	2	\$ 280.800	2		\$ 561.600				

Tabla 3-12: Programación de inversión anual para reemplazo por VDF de nueva generación
Fuente: Elaboración propia a partir de las cotizaciones del proveedor

Para la alternativa de retrofit se considera la misma secuencia de intervención, utilizando los costos correspondientes a dicha solución. Esta programación permite construir los flujos económicos de ambas alternativas, los cuales se presentan en el apartado siguiente.

Entonces, según VDF tenemos:

- VDF 70 [A]: Se realizará una inversión de cada equipo en un año distinto, iniciando con el VDF 3371-VDF-13 en primera instancia, al año siguiente y ya habiendo

probado el VDF de esa gama, se espera realizar la inversión del VDF 3312-VDF-019 al ser un equipo crítico requiere esa priorización. Esto para finalizar en los años 2, 5 y 6 la inversión de cada VDF.

- VDF 100 [A]: AL no existir ningún equipo crítico en esta gama de equipos se puede ser más flexible en su inversión, se recomienda realizar cambios para el periodo 0, 2, 5.
- VDF 130 [A]: se recomienda invertir en 2 VDF que no son el equipo crítico en el periodo 0 y al siguiente año invertir en el VDF 3374-VDF-006 (equipo crítico).
- VDF 140 [A]: AL no existir ningún equipo crítico en esta gama de equipos se puede ser más flexible en su inversión, se recomienda realizar cambios para el periodo 0, 2, 5.
- VDF 180 [A]: Al existir solo un VDF de estas características y ser un equipo crítico se recomienda invertir en el segundo año luego de probar los VDF de 70, 100 y 130 [A].
- VDF 280 [A]: Ambos VDF se consideran del tipo crítico, por ende, se recomienda primero invertir en uno el segundo periodo y el siguiente año terminar con el siguiente.
- VDF 365 [A]: Los 4 VDF se consideran críticos por lo tanto se recomienda iniciar la inversión el segundo periodo luego de ver los resultados con los VDF de 70, 100 y 130 [A], al siguiente año realizar la inversión en otro VDF dejando 2 VDF para realizar su inversión en el año 3.
- VDF 460 [A]: Al ser dos equipos de un mismo sistema y de tan alta criticidad, se recomienda realizar la inversión de ambos equipos en el segundo periodo, luego de las pruebas en los VDF de menor criticidad.

3.4.2.3. Evaluación de escenarios

A partir de los parámetros económicos y la programación de inversiones definidos anteriormente, se evaluaron tres escenarios para los 24 variadores de frecuencia

XMV660: mantener la condición actual sin inversión, ejecutar un programa de retrofit y realizar el reemplazo por equipos de nueva generación.

Escenario 1. Sin inversión

Este escenario considera mantener los variadores de frecuencia existentes sin ejecutar intervenciones de modernización, conservando su exposición a los riesgos asociados a la obsolescencia tecnológica y a la disponibilidad limitada de repuestos y soporte técnico.

Para efectos de la evaluación económica, se establece como supuesto la ocurrencia de un evento de indisponibilidad prolongada cada cinco años, específicamente en los períodos 5 y 10 del horizonte de evaluación. Cada evento considera una duración de 212 horas, correspondiente a la mayor detención registrada en los antecedentes utilizados, y un costo estimado de pérdida de producción de USD 200.000 por hora.

Bajo estas condiciones, cada evento representa una pérdida potencial de USD 42.400.000. Al actualizar ambos flujos mediante una tasa de descuento del 8 %, se obtiene un Valor Actual de Costos (VAC) de USD 48.496.131.

Es importante señalar que la ocurrencia de un evento cada cinco años constituye un supuesto de evaluación y no una frecuencia de falla demostrada estadísticamente. Por lo tanto, el resultado representa la exposición económica del escenario planteado y no una pérdida futura asegurada.

VDF sin inversión											
Año	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
Período	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Costos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -42.400.000	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -42.400.000
Inversión	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
FC	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -42.400.000	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -42.400.000
VAC	\$ -48.496.131										

Tabla 3-13: Escenario 1- Sin inversión

Fuente: Elaboración propia a partir de las cotizaciones del proveedor, parámetros económicos de la División Ministro Hales y supuestos de evaluación definidos en el estudio

Escenario 2. Retrofit de los VDF existentes

Este escenario contempla la modernización gradual de los 24 variadores, utilizando los costos de retrofit y la programación de inversiones definidos previamente. Los flujos

económicos consideran los desembolsos correspondientes a las intervenciones y los costos asociados incluidos en el modelo.

El VAC obtenido es de USD 3.274.576, valor que representa el costo actualizado de los flujos proyectados para esta alternativa.

Retrofit a VDF											
Año	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
Período	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Costos	\$ -	\$ 91.104	\$ 91.104	\$ 75.920	\$ 30.368	\$ -	\$ 45.552	\$ 30.368	\$ -	\$ -	\$ -
Inversión	\$ -	\$ 741.400	\$ 1.221.100	\$ 744.100	\$ 432.800	0	\$ 344.500	\$ 212.200	\$ -	\$ -	\$ -
FC	\$ -	\$ -832.504	\$ -1.312.204	\$ -820.020	\$ -463.168	\$ -	\$ -390.052	\$ -242.568	\$ -	\$ -	\$ -
VAC											
\$ -3.274.576											

Tabla 3-14: Escenario 2 – Retrofit de los VDF existentes

Fuente: Elaboración propia a partir de las cotizaciones del proveedor, parámetros económicos de la División Ministro Hales y supuestos de evaluación definidos en el estudio

Escenario 3. Reemplazo por VDF de nueva generación

Este escenario considera la sustitución gradual de los 24 variadores por equipos nuevos, manteniendo la programación de intervenciones utilizada para el análisis económico.

El VAC calculado alcanza USD 3.482.761, considerando los costos de adquisición y los servicios incorporados en la evaluación. Este resultado no incluye la totalidad de los costos adicionales que podrían derivarse del desmontaje e instalación física de los equipos.

Reemplazo por nuevos VDF mismo fabricante											
Año	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Costos	\$ -	\$ 132.304	\$ 130.704	\$ 108.920	\$ 43.568	\$ -	\$ 65.352	\$ 43.568			
Inversión	\$ -	\$ 747.800	\$ 1.270.200	\$ 761.400	\$ 449.000	0	\$ 349.200	\$ 218.000	\$ -	\$ -	\$ -
FC	\$ -	\$ -880.104	\$ -1.400.904	\$ -870.320	\$ -492.568	\$ -	\$ -414.552	\$ -261.568	\$ -	\$ -	\$ -
VAC											
\$	-3.482.761										

Tabla 3-15: Escenario 3. Reemplazo por VDF de nueva generación

Fuente: Elaboración propia a partir de las cotizaciones del proveedor, parámetros económicos de la División Ministro Hales y supuestos de evaluación definidos en el estudio

Los resultados obtenidos permiten establecer las diferencias económicas entre mantener la condición actual y ejecutar las alternativas de modernización. La comparación de estos valores, junto con las restricciones técnicas y operacionales de cada solución, se desarrolla en el apartado siguiente.

3.4.2.4. Comparación de resultados

Los resultados de la evaluación económica permiten comparar los costos actualizados de los tres escenarios considerados para los 24 variadores de frecuencia XMV660. La Tabla 3-13 presenta los Valores Actuales de Costos (VAC) obtenidos para cada alternativa.

Escenario	VAC (USD)
Sin inversión	\$48.496.131
Retrofit de los VDF existentes	\$ 3.274.576
Reemplazo por VDF de nueva generación	\$ 3.482.761

Tabla 3-16: Comparación económica de escenarios

Fuente: Elaboración propia a partir de los flujos económicos desarrollados en el estudio.

El escenario sin inversión presenta el mayor costo actualizado, alcanzando USD 48,50 millones. Este resultado se encuentra condicionado por el supuesto de dos eventos de indisponibilidad prolongada durante el horizonte de evaluación, por lo que representa una exposición económica potencial y no una pérdida futura determinada.

Entre las alternativas de modernización, el retrofit presenta el menor VAC, con USD 3,27 millones, mientras que el reemplazo por VDF de nueva generación alcanza USD 3,48 millones. La diferencia entre ambas alternativas es de aproximadamente USD 208.185 en valor actualizado, equivalente a un 6,4 % respecto del costo del retrofit.

Desde una perspectiva exclusivamente económica y bajo los supuestos considerados, el retrofit constituye la alternativa de menor costo. Sin embargo, esta diferencia debe analizarse junto con el alcance técnico de cada solución, particularmente en relación con la obsolescencia de los componentes, la disponibilidad futura de repuestos, el soporte del fabricante y la sostenibilidad operacional de los equipos.

Adicionalmente, los resultados presentan limitaciones asociadas a los costos no incorporados en el modelo, especialmente aquellos relacionados con el desmontaje e instalación de los nuevos variadores y las eventuales pérdidas de producción durante las intervenciones programadas. Por lo tanto, los valores obtenidos no representan necesariamente el costo total de implementación de cada alternativa.

En consecuencia, la evaluación económica permite establecer las diferencias de costo entre las alternativas, pero no constituye por sí sola un criterio suficiente para seleccionar la solución definitiva. La recomendación de inversión debe integrar estos resultados con

los antecedentes técnicos de obsolescencia, criticidad y continuidad operacional desarrollados en los apartados anteriores.

3.4.3. Recomendación de inversión

A partir de los resultados obtenidos, se recomienda desarrollar un programa de renovación tecnológica de los 24 variadores de frecuencia XMV660, priorizando su reemplazo por VDF de nueva generación.

Si bien la alternativa de retrofit presenta un menor Valor Actual de Costos (VAC), con una diferencia de USD 208.185 respecto del reemplazo completo, la revisión de las propuestas técnicas de AVI SpA permite identificar diferencias relevantes en el alcance de ambas soluciones. Mientras que el retrofit contempla la sustitución de celdas de potencia, sistemas de control y ventilación, mantiene en servicio componentes originales, entre ellos el transformador de potencia, cuyo reemplazo no está incluido en la oferta. Por su parte, la alternativa de reemplazo completo incorpora variadores de nueva generación con transformador de entrada de 24 pulsos, proporcionando una renovación tecnológica de mayor alcance.

Esta diferencia resulta especialmente relevante en los variadores asociados a aplicaciones de alta criticidad operacional, donde una eventual falla y la dificultad para disponer de repuestos podrían ocasionar indisponibilidades prolongadas. En este contexto, la permanencia de componentes originales cuya vida útil remanente y condiciones de soporte no han sido acreditadas representa una incertidumbre técnica que debe considerarse en la decisión de inversión. Por consiguiente, la preferencia por el reemplazo completo se fundamenta en su mayor cobertura frente a la obsolescencia tecnológica y en la reducción de riesgos residuales asociados a los componentes conservados, aunque su conveniencia económica integral queda sujeta a la verificación de los costos de implementación y de las condiciones de soporte del proveedor.

La implementación deberá realizarse de manera gradual, conforme a la programación propuesta, iniciando con equipos de menor criticidad operacional para verificar el desempeño de la nueva tecnología antes de intervenir aplicaciones de mayor impacto productivo.

Previo a la ejecución, será necesario complementar la evaluación económica con los costos de desmontaje, instalación y eventuales detenciones operacionales, aspectos que no se encuentran completamente incorporados en el análisis. Asimismo, se deberá

confirmar con el proveedor las condiciones de soporte, disponibilidad de repuestos y compatibilidad técnica de los nuevos equipos.

En consecuencia, se propone avanzar con la alternativa de reemplazo por VDF de nueva generación como estrategia preferente de renovación, sujeta a la validación técnica y económica de su implementación. Esta recomendación busca reducir la exposición al riesgo de obsolescencia y fortalecer la continuidad operacional de los procesos asociados.

3.5. Etapa Controlar (CONTROL)

La etapa Controlar tiene como propósito establecer los mecanismos de seguimiento necesarios para asegurar la implementación de la estrategia de renovación tecnológica propuesta para los 24 variadores de frecuencia XMV660.

Considerando que la renovación se plantea mediante intervenciones graduales, resulta necesario mantener condiciones adecuadas de soporte y disponibilidad de repuestos para los equipos que continúen en operación, junto con verificar el desempeño de los variadores intervenidos.

Para ello, se propone un conjunto de medidas orientadas al seguimiento del plan de transición, la gestión de repuestos y soporte técnico, la mantenibilidad de los equipos y el control de indicadores operacionales.

Estas medidas permitirán evaluar el avance de la estrategia y disponer de antecedentes para ajustar la programación de las intervenciones, contribuyendo a reducir los riesgos asociados a la obsolescencia tecnológica durante el período de transición.

3.5.1. Plan de transición

La implementación de la estrategia de renovación tecnológica requiere establecer un plan de transición que permita reemplazar progresivamente los variadores de frecuencia XMV660, manteniendo la continuidad operacional de los procesos asociados.

Para ello, se propone ejecutar las intervenciones conforme a la programación definida en la etapa Mejorar, iniciando con equipos de menor criticidad operacional. Esta secuencia permitirá verificar el comportamiento de los nuevos variadores y detectar eventuales dificultades técnicas antes de intervenir aplicaciones de mayor impacto productivo.

Previo a cada intervención, se deberá confirmar la disponibilidad de los equipos y componentes necesarios, la compatibilidad con las instalaciones existentes y la coordinación de los trabajos con las áreas de Operaciones, Mantenimiento e Ingeniería. Asimismo, será necesario considerar las ventanas de detención disponibles para ejecutar las actividades de desmontaje, montaje y puesta en servicio.

Una vez realizada cada intervención, se deberán efectuar las pruebas funcionales y de operación correspondientes, verificando la correcta integración del nuevo VDF con el motor, los sistemas de control y las protecciones asociadas. La aceptación técnica de estos resultados constituirá una condición para avanzar con las siguientes intervenciones. Durante el período de transición, los variadores XMV660 que permanezcan en servicio deberán continuar bajo las condiciones de mantenimiento y soporte disponibles, considerando que su exposición a la obsolescencia tecnológica se mantendrá hasta completar la renovación. Para aquellos asociados a aplicaciones de mayor criticidad operacional, se propone priorizar la revisión de los repuestos disponibles, verificar las posibilidades de recuperación ante eventuales fallas y mantener una coordinación con el proveedor para identificar las restricciones de soporte que puedan comprometer la continuidad operacional.

El seguimiento del plan permitirá identificar desviaciones respecto de la programación, registrar dificultades durante la implementación y utilizar la experiencia de las primeras intervenciones para mejorar la ejecución de las etapas posteriores.

3.5.2. Gestión de repuestos, soporte y mantenibilidad

Durante el período de transición tecnológica, será necesario establecer medidas que permitan mantener la operatividad de los variadores de frecuencia XMV660 que permanezcan en servicio y asegurar condiciones adecuadas de mantenimiento para los equipos de nueva generación.

En relación con los equipos existentes, se propone revisar el inventario de repuestos disponibles, identificando los componentes afectados por obsolescencia y priorizando aquellos asociados a variadores de mayor criticidad operacional. Asimismo, se deberá gestionar con el proveedor la continuidad del soporte técnico para diagnóstico, reparación y suministro de componentes durante el proceso de renovación.

Como medida complementaria, se propone evaluar la recuperación de componentes provenientes de los VDF retirados, considerando su estado, compatibilidad y

funcionamiento, con el propósito de disponer de repuestos para los equipos que continúen operando. Estos componentes deberán mantenerse identificados y registrados para facilitar su utilización y trazabilidad.

Respecto de los nuevos variadores, será necesario asegurar la disponibilidad de documentación técnica actualizada, incluyendo manuales de operación y mantenimiento, planos eléctricos, diagramas de control y antecedentes de los sistemas de protección. Esta información deberá incorporarse a los registros técnicos de los activos.

Adicionalmente, se deberá contemplar la capacitación del personal de mantenimiento eléctrico e instrumentación en los procedimientos de diagnóstico e intervención de los nuevos equipos, junto con la actualización de los planes de mantenimiento preventivo conforme a las recomendaciones del fabricante y las condiciones operacionales de cada aplicación.

Finalmente, se propone mantener un seguimiento de la disponibilidad de repuestos, las necesidades de soporte y las dificultades de mantenimiento identificadas durante las primeras intervenciones. Estos antecedentes permitirán adoptar medidas correctivas y mejorar la gestión de los equipos durante las siguientes etapas de renovación.

3.5.3. Indicadores de seguimiento y control

Para verificar el cumplimiento de la estrategia de renovación tecnológica propuesta, se establece un conjunto de indicadores orientados al seguimiento de las intervenciones y al desempeño operacional de los variadores de frecuencia.

Estos indicadores permitirán controlar el avance del programa de renovación, identificar desviaciones respecto de la planificación y evaluar el comportamiento de los equipos intervenidos en comparación con los antecedentes históricos disponibles.

Indicador	Fórmula o criterio de medición	Frecuencia
Avance de renovación (%)	$(N.^{\circ} \text{ de VDF renovados} / 24) \times 100$	Trimestral
Cumplimiento del programa (%)	$(N.^{\circ} \text{ de intervenciones ejecutadas} / N.^{\circ} \text{ de intervenciones programadas}) \times 100$	Trimestral
Disponibilidad operacional (%)	$[\text{Tiempo programado de operación} - \text{Tiempo de detención}] / \text{Tiempo programado de operación} \times 100$	Mensual
MTTR (h)	$\text{Horas de reparación} / N.^{\circ} \text{ de fallas reparables}$	Trimestral
Eventos de indisponibilidad asociados a VDF	Número de eventos registrados por equipo y período	Mensual

Tabla 3-17: Indicadores de seguimiento y control de la renovación tecnológica

Fuente: Elaboración propia, basada en indicadores de gestión de mantenimiento y confiabilidad de activos, considerando los lineamientos de la metodología DMAIC

El seguimiento de los indicadores de avance y cumplimiento permitirá identificar retrasos en la implementación y adoptar medidas correctivas respecto de la programación establecida.

Por su parte, los indicadores de disponibilidad, MTTR y eventos de indisponibilidad permitirán evaluar el comportamiento de los variadores renovados y contrastarlo con los registros históricos de los equipos existentes, considerando las diferencias operacionales entre aplicaciones. Para mejorar la calidad de este seguimiento, se propone identificar, cuando los antecedentes técnicos lo permitan, si los eventos corresponden a fallas internas del variador o a condiciones de otros componentes del sistema asociado, evitando atribuir indisponibilidades al VDF sin una verificación de su causa

Los resultados deberán revisarse periódicamente por las áreas responsables de Mantenimiento e Ingeniería, utilizando la información registrada en los sistemas de gestión de mantenimiento para identificar desviaciones y establecer acciones de mejora.

Dado que la renovación tecnológica corresponde a una propuesta de implementación, los indicadores presentados constituyen mecanismos de control futuros. Su aplicación permitirá verificar los resultados operacionales una vez ejecutadas las intervenciones.

Conclusiones

El desarrollo de la presente investigación permitió establecer que la obsolescencia tecnológica de los variadores de frecuencia de media tensión XMV660 constituye un factor relevante de riesgo para la continuidad operacional de los procesos asociados a la Planta Concentradora y al Chancador Primario de División Ministro Hales. Si bien estos equipos pueden mantener condiciones operacionales aceptables y no necesariamente presentar una elevada frecuencia de fallas, las restricciones en la disponibilidad de componentes de reemplazo y soporte técnico comprometen su capacidad de recuperación ante futuras contingencias. En este contexto, se concluye que la necesidad de renovación tecnológica no debe fundamentarse exclusivamente en el comportamiento histórico de fallas, sino también en la sostenibilidad de los activos durante su ciclo de vida.

El análisis de los registros históricos permitió identificar diferencias en el comportamiento de los equipos y en las consecuencias operacionales asociadas a su indisponibilidad. Asimismo, se evidenciaron limitaciones en la calidad de los antecedentes disponibles, principalmente por la falta de precisión en algunas imputaciones de fallas, lo que dificulta establecer con certeza su origen y atribuir las directamente a los variadores de frecuencia. Estas condiciones refuerzan la importancia de complementar los indicadores tradicionales de confiabilidad con criterios de criticidad operacional y obsolescencia tecnológica, evitando que la frecuencia de fallas constituya el único elemento para definir las prioridades de intervención.

Desde el punto de vista económico, la evaluación de los tres escenarios permitió dimensionar las implicancias de mantener los equipos existentes frente a las alternativas de modernización. Bajo los supuestos establecidos, el escenario sin inversión presentó un Valor Actual de Costos (VAC) de USD 48,50 millones, mientras que las alternativas de retrofit y reemplazo por VDF de nueva generación alcanzaron valores de USD 3,27 millones y USD 3,48 millones, respectivamente. No obstante, el resultado del escenario sin inversión depende de la ocurrencia hipotética de eventos de indisponibilidad prolongada, por lo que debe interpretarse como una estimación de exposición económica y no como una pérdida futura asegurada.

La comparación económica determinó que el retrofit representa la alternativa de menor costo actualizado, con una diferencia de USD 208.185 respecto del reemplazo completo. Sin embargo, la evaluación técnica permitió identificar que el retrofit conserva componentes originales, entre ellos el transformador de potencia, cuya condición, vida útil remanente y disponibilidad de repuestos requieren verificación. Por su parte, la alternativa de reemplazo contempla una renovación tecnológica de mayor alcance, incluyendo dicho componente. Esta diferencia adquiere especial relevancia en aplicaciones de alta criticidad operacional, donde una eventual indisponibilidad prolongada podría generar consecuencias significativas para la continuidad productiva. En consecuencia, se propone priorizar el reemplazo gradual de los 24 variadores XMV660 por equipos de nueva generación, como una estrategia orientada a reducir la exposición a riesgos residuales asociados a la obsolescencia. No obstante, esta recomendación constituye una preferencia técnica fundamentada y no una superioridad económica demostrada, por lo que deberá complementarse con la validación de los costos de implementación, las condiciones de compatibilidad y los compromisos de soporte del proveedor.

La aplicación de la metodología DMAIC permitió estructurar el proceso de evaluación, desde la identificación del problema y el análisis de los antecedentes históricos hasta la formulación de alternativas de intervención y el establecimiento de mecanismos de seguimiento. En particular, la integración de criterios de confiabilidad, criticidad, obsolescencia y evaluación económica proporcionó una base técnica para fundamentar la estrategia de renovación propuesta. Asimismo, las medidas de control planteadas permitirán realizar un seguimiento de su implementación y evaluar el comportamiento operacional de los equipos intervenidos, una vez ejecutado el proyecto.

En consecuencia, la investigación permite concluir que la gestión de la obsolescencia tecnológica debe abordarse de manera preventiva y no únicamente como respuesta a fallas recurrentes. Para los variadores de frecuencia analizados, la renovación gradual constituye una estrategia orientada a disminuir la exposición a indisponibilidades prolongadas y fortalecer la continuidad operacional, integrando decisiones de inversión con criterios técnicos de confiabilidad y gestión de activos.

Bibliografía

- Abdi, A., & Taghipour, S. (2019). *Sustainable asset management: A repair-replacement decision model considering environmental impacts, maintenance quality, and risk. Computers & Industrial Engineering*, 136, 117-134.
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.07.021>
- Aljaly, K., Masmoudi, F., Aljuaid, A. M., & Hachicha, W. (2025). Addressing aircraft maintenance delays using a DMAIC-FMEA framework: Insights from a commercial aviation case study. *Applied Sciences*, 15(22), Article 12164.
<https://doi.org/10.3390/app152212164>
- Basualdo Larrazabal, G. (2025). *Mejoramiento del proceso de cambio de latch bar de la flota palas electromecánicas mediante metodología Six sigma*.
<https://repositorio.usm.cl/handle/123456789/77379>
- Bascuñán Araya, J. B. (2023). *Mapa de procesos de chancado: Hallazgos y oportunidades de mejora para estabilizar niveles de stockpile utilizando metodología DMAIC en división los bronce angloamerican sur*.
<https://repositorio.usm.cl/handle/123456789/8210>
- Estay Loo, N. B. (2025). *Análisis técnico–económico de la modernización de los accionamientos eléctricos de los motores sincrónicos de la molienda convencional de la Planta Concentradora de Codelco Andina*.
<https://repositorio.usm.cl/handle/123456789/77773>
- Flores D'angelo, C. E. (2025). *Propuesta de diseño de la gestión del mantenimiento para máquina cortadora láser en el área de metalmecánica*.
<https://repositorio.usm.cl/handle/123456789/78886>
- George, M. L. (2013). *Lean Six Sigma for Service*. London: McGraw-Hill.

Gutiérrez, H. & De La Vara, R. (2013). *Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma*. 3° ed. México D.F.: McGraw-Hill.

Navas Riffo, J. A. (2018). *Estudio de prefactibilidad técnica y económica para mejoramiento de proceso del sistema de climatización del edificio Casa Central de CPECH*. <https://repositorio.usm.cl/handle/123456789/73286>

Pande, P., Neuman, R., & Cavanagh, R. (2002). *Las claves del Seis Sigma*. Madrid: McGraw Hill.

Pizarro Villalobos, H. I. (2023). *Metodología DMAIC en la mejora de procesos*. <https://doi.org/10.71700/dspace-memorias/903>

Martínez, E., Vergara, K. & Sarmiento, W. (2012). *Diseño e implementación de una metodología para la mejora de procesos en la fábrica de muebles H&M Ltda. basada en la filosofía de calidad Seis Sigma*. [Tesis de grado, Universidad de La Costa]. Repositorio institucional Universidad de La Costa. Recuperado de <https://repositorio.cuc.edu.co/server/api/core/bitstreams/10464521-0953-4706-9fb5-c4302ca26a0f/content>

Tsarouhas, P. (2020). Reliability, availability and maintainability analysis of a bag production industry based on the six sigma DMAIC approach. *International Journal of Lean Six Sigma*, 11(5), 997-1018. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-09-2019-0101>

Trubetskaya, A., Ryan, A., Powell, D. J., & Moore, C. (2024). Utilising a hybrid DMAIC/TAM model to optimise annual maintenance shutdown performance in the dairy industry: A case study. *International Journal of Lean Six Sigma*, 15(8), 70-92. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-05-2023-0083>

Anexos

Anexo 1 Base de datos depurada de fallas 2022–2024

Nombre Area	Nombre Equipo	YDF	Descripción Equipo	Clase	Fecha Inicio Evento	Fecha Fin Evento	Duración En Periodo
Bba Esp 1	3371-BOC-014	3371-YDF-014	Bomba 14	CC_Bombas	27-08-2024 7:00:00	27-08-2024 7:01:11	0,0197
Bombas	3375-BOC-007	3375-YDF-005	Bomba 007	CC_Bombas	08-11-2024 15:36:57	08-11-2024 15:41:07	0,0694
Bombas L2	3242-BOC-004	3242-YDF-004	Bomba 004	CC_Bombas	18-03-2025 15:28:33	18-03-2025 15:33:03	0,075
Bombas L2	3242-BOC-003	3242-YDF-003	Bomba 003	CC_Bombas	19-03-2025 16:16:18	19-03-2025 16:21:27	0,0858
Bombas	3375-BOC-008	3375-YDF-010	Bomba 008	CC_Bombas	12-12-2024 10:44:27	12-12-2024 10:49:36	0,0858
2da Limpieza Bombas	3331-BOC-006	3331-YDF-006	Bomba 006	CC_Bombas	03-09-2024 15:51:28	03-09-2024 15:56:48	0,0889
Chancado	3114-CTR-001	3114-YDF-001	Correa Alimentacion	CH_Correa	27-01-2024 21:35:59	27-01-2024 21:41:29	0,0917
Chancado	3114-CTR-001	3114-YDF-001	Correa Alimentacion	CH_Correa	15-02-2025 6:37:11	15-02-2025 6:42:51	0,0944
2da Limpieza Bombas	3331-BOC-005	3331-YDF-005	Bomba 005	CC_Bombas	03-09-2024 15:27:15	03-09-2024 15:33:06	0,0975
Bombas	3375-BOC-008	3375-YDF-010	Bomba 008	CC_Bombas	12-12-2024 10:49:46	12-12-2024 10:56:06	0,1056
2da Limpieza Bombas	3331-BOC-005	3331-YDF-005	Bomba 005	CC_Bombas	22-11-2024 14:44:32	22-11-2024 14:51:11	0,1108
Bombas Alim	3323-BOC-002	3323-YDF-002	Bomba 002	CC_Bombas	17-07-2024 14:58:48	17-07-2024 15:05:38	0,1139
Bombas Alim	3323-BOC-002	3323-YDF-002	Bomba 002	CC_Bombas	17-07-2024 15:17:08	17-07-2024 15:24:18	0,1194
Chancado	3114-CTR-001	3114-YDF-001	Correa Alimentacion	CH_Correa	30-04-2024 18:46:24	30-04-2024 18:53:44	0,1222
2da Limpieza Bombas	3331-BOC-006	3331-YDF-006	Bomba 006	CC_Bombas	27-10-2024 9:43:12	27-10-2024 9:50:32	0,1222
Bombas	3375-BOC-007	3375-YDF-005	Bomba 007	CC_Bombas	14-02-2025 22:53:23	14-02-2025 23:01:03	0,1278
Chancado	3115-CTR-001	3115-YDF-001	Correa Overland	CH_Correa	23-09-2024 20:49:17	23-09-2024 20:56:58	0,1281
2da Limpieza Bombas	3331-BOC-005	3331-YDF-005	Bomba 005	CC_Bombas	29-08-2024 8:02:31	29-08-2024 8:10:21	0,1306
2da Limpieza Bombas	3331-BOC-006	3331-YDF-006	Bomba 006	CC_Bombas	31-10-2024 22:53:14	31-10-2024 23:01:44	0,1417
Chancado	3114-CTR-001	3114-YDF-001	Correa Alimentacion	CH_Correa	29-07-2025 8:15:30	29-07-2025 8:24:30	0,15
Bombas Alim	3323-BOC-003	3323-YDF-003	Bomba 003	CC_Bombas	18-07-2024 17:25:23	18-07-2024 17:34:48	0,1553
Chancado	3114-CTR-001	3114-YDF-001	Correa Alimentacion	CH_Correa	11-08-2025 15:30:58	11-08-2025 15:40:48	0,1639
Bba Esp 2	3371-BOC-016	3371-YDF-016	Bomba 16	CC_Bombas	28-12-2024 12:46:28	28-12-2024 12:56:28	0,1667
Bombas	3375-BOC-008	3375-YDF-010	Bomba 008	CC_Bombas	12-12-2024 10:56:16	12-12-2024 11:07:06	0,1806
Bba Esp 1	3371-BOC-013	3371-YDF-013	Bomba 13	CC_Bombas	08-01-2025 13:11:30	08-01-2025 13:22:30	0,1933
Bombas	3375-BOC-007	3375-YDF-005	Bomba 007	CC_Bombas	08-05-2025 9:59:55	08-05-2025 10:12:35	0,2111
2da Limpieza Bombas	3331-BOC-005	3331-YDF-005	Bomba 005	CC_Bombas	30-08-2024 9:11:25	30-08-2024 9:24:15	0,2139
Chancado	3115-CTR-001	3115-YDF-001	Correa Overland	CH_Correa	05-07-2024 20:00:00	05-07-2024 20:14:37	0,2436
Bombas	3375-BOC-007	3375-YDF-005	Bomba 007	CC_Bombas	08-11-2024 15:20:17	08-11-2024 15:35:47	0,2583
Bombas	3375-BOC-007	3375-YDF-005	Bomba 007	CC_Bombas	08-11-2024 15:41:37	08-11-2024 15:57:58	0,2725
Chancado	3114-CTR-001	3114-YDF-001	Correa Alimentacion	CH_Correa	05-07-2024 20:00:00	05-07-2024 20:17:27	0,2908
Chancado	3114-CTR-001	3114-YDF-001	Correa Alimentacion	CH_Correa	22-06-2025 0:28:20	22-06-2025 0:46:10	0,2972
Bombas	3375-BOC-007	3375-YDF-005	Bomba 007	CC_Bombas	11-07-2025 3:37:57	11-07-2025 3:57:17	0,3222
Chancado	3115-CTR-001	3115-YDF-001	Correa Overland	CH_Correa	12-11-2024 13:20:06	12-11-2024 13:39:47	0,3291
Chancado	3115-CTR-001	3115-YDF-001	Correa Overland	CH_Correa	17-05-2025 17:57:12	17-05-2025 18:20:52	0,3944
Bombas	3375-BOC-007	3375-YDF-005	Bomba 007	CC_Bombas	08-05-2025 9:34:45	08-05-2025 9:59:05	0,4056
Bba Esp 1	3371-BOC-014	3371-YDF-014	Bomba 14	CC_Bombas	05-12-2024 21:45:43	05-12-2024 22:11:03	0,4222
Chancado	3114-CTR-001	3114-YDF-001	Correa Alimentacion	CH_Correa	02-08-2024 9:51:47	02-08-2024 10:17:37	0,4306
Bombas	3375-BOC-007	3375-YDF-005	Bomba 007	CC_Bombas	20-12-2024 4:11:49	20-12-2024 4:37:39	0,4306
Chancado	3115-CTR-001	3115-YDF-001	Correa Overland	CH_Correa	29-10-2024 20:20:42	29-10-2024 20:46:41	0,4331
2da Limpieza Bombas	3331-BOC-005	3331-YDF-005	Bomba 005	CC_Bombas	24-07-2025 4:23:01	24-07-2025 4:51:31	0,475
Bombas Alim	3323-BOC-001	3323-YDF-001	Bomba 001	CC_Bombas	13-05-2025 5:37:00	13-05-2025 6:10:30	0,5583
Chancado	3114-CTR-001	3114-YDF-001	Correa Alimentacion	CH_Correa	11-08-2025 15:41:18	11-08-2025 16:16:08	0,5806
2da Limpieza Bombas	3331-BOC-005	3331-YDF-005	Bomba 005	CC_Bombas	23-07-2025 0:55:06	23-07-2025 1:29:56	0,5806
Bombas	3375-BOC-007	3375-YDF-005	Bomba 007	CC_Bombas	14-12-2024 8:43:52	14-12-2024 9:22:13	0,6392
Bombas	3375-BOC-007	3375-YDF-005	Bomba 007	CC_Bombas	11-07-2025 2:57:36	11-07-2025 3:37:07	0,6586
Chancado	3114-CTR-001	3114-YDF-001	Correa Alimentacion	CH_Correa	12-07-2025 17:39:24	12-07-2025 18:26:14	0,7806
Bombas	3375-BOC-007	3375-YDF-005	Bomba 007	CC_Bombas	10-05-2025 23:52:58	11-05-2025 1:17:18	1,4056
Bba Esp 1	3371-BOC-013	3371-YDF-013	Bomba 13	CC_Bombas	08-01-2025 13:56:30	08-01-2025 15:47:21	1,8475
Bombas	3375-BOC-007	3375-YDF-005	Bomba 007	CC_Bombas	18-07-2025 14:58:44	18-07-2025 18:27:35	3,4808
2da Limpieza Bombas	3331-BOC-006	3331-YDF-006	Bomba 006	CC_Bombas	24-05-2025 19:00:00	25-05-2025 4:43:27	9,7242
Bombas Alim	3323-BOC-002	3323-YDF-002	Bomba 002	CC_Bombas	17-07-2024 15:47:58	18-07-2024 5:52:34	14,0767
2da Limpieza Bombas	3331-BOC-006	3331-YDF-006	Bomba 006	CC_Bombas	23-07-2025 1:23:23	24-07-2025 4:34:19	27,1822
2da Limpieza Bombas	3331-BOC-006	3331-YDF-006	Bomba 006	CC_Bombas	01-09-2024 19:00:00	03-09-2024 15:44:58	44,7494
Bba Esp 1	3371-BOC-014	3371-YDF-014	Bomba 14	CC_Bombas	21-06-2024 21:39:50	24-06-2024 23:37:14	73,9567
2da Limpieza Bombas	3331-BOC-005	3331-YDF-005	Bomba 005	CC_Bombas	12-06-2025 8:27:43	16-06-2025 10:45:13	98,2917
2da Limpieza Bombas	3331-BOC-006	3331-YDF-006	Bomba 006	CC_Bombas	24-07-2025 4:48:00	02-08-2025 1:09:49	212,3636

SEÑORES

CORPORACIÓN NACIONAL DEL COBRE DE CHILE
División Ministro Hales

Atención : Nelson Arriagada
Superintendente Mantención Planta

REFERENCIA

Licitación : N/A
Proyecto : N/A
Suministro : Retrofit Plataforma Accionamientos-MT Power Electronics

Oferta N° **0219-25 Rev00**
OFERTA TÉCNICA-ECONÓMICA
RETROFIT VDFs EXISTENTES

Fecha : Miércoles 19 de Febrero, 2025
Encargado : Mauricio Flores
Fono Central : 56 222 440 308
Fono Directo : 56 232 781 026
Fono Móvil : +569 7997 8518
Correo : mlflores@avi-electronic.com

Estimados señores,

Tenemos el agrado de someter a su evaluación nuestra **OFERTA TÉCNICA-ECONÓMICA**, en la cual se acotan y detallan los alcances técnicos y comerciales, para el suministro de equipos y servicios incluidos, en el marco del proyecto de la referencia.

La presente oferta se limita al desarrollo e interpretación de los antecedentes e información técnica disponible hasta el momento de cierre, correspondiente a los siguientes suministros:

- **RETROFIT PLATAFORMA ACCIONAMIENTOS MEDIA TENSIÓN**
Marca Power Electronics (España), Serie XMV660
Actualización de cada accionamiento consideran los siguientes alcances:
 - ▶ Reemplazo de Celdas de potencia
 - ▶ Reemplazo de Electrónica de control
 - ▶ Reemplazo Controlador VDF
 - ▶ Reemplazo de Ventiladores de refrigeración
 - ▶ Servicios de levantamiento ajustes y parámetros operacionales
 - ▶ Servicios de Supervisión de trabajos *Montaje y Reconexionado* en planta
 - ▶ Servicios de configuración Pruebas y Puesta en servicio
 - ▶ Servicios de asistencia de marcha blanca

Esperando que nuestra oferta sea de su interés y conveniencia, quedamos a su disposición para atender cualquier consulta o información complementaria de nuestra parte, a través de cualquier medio indicados al pie de firma.



Mauricio Flores Carrasco
ASESORIA y VENTAS INDUSTRIALES AVI SpA
GERENCIA de VENTAS y OPERACIONES
Fono Central : +56 222 440 308
Fono Movil : +56 979 978 518
E-mail : mlflores@avi-electronic.com
www.avi-electronic.com

1.- DESCRIPCIÓN DE ALCANCES

En atención al estado de obsolescencia en que se encuentran los accionamientos de media-tensión **Serie XMV660 de la marca Power Electronics**, AVI SpA vienen a proponer un plan de acción que permitirá extender la vida útil de estos Variadores de Frecuencia otros 10 años, a partir de esta.

La población de equipos que se encuentran en esta condición, son los siguientes:

Nº	TAG	SERIE	MODELO	APLICACIÓN	CORRIENTE	UBICACIÓN
1	3371-VDF-013	BLH7.5.1-02-12109-01A	XMV6607041654A	Bomba Alimentación Cajón Recepción Relaves (Serv.Intern)	70	Sala 3370
2	3371-VDF-014	BLH7.5.1-02-12109-01B	XMV6607041654A	Bomba Alimentación Cajón Recepción Relaves (Serv.StdBy)	70	Sala 3370
3	3371-VDF-015	BLH7.5.1-02-12109-01C	XMV6607041654A	Bomba Alimentación Cajón Recepción Relaves (Serv.Intern)	70	Sala 3370
4	3371-VDF-016	BLH7.5.1-02-12109-01D	XMV6607041654A	Bomba Alimentación Cajón Recepción Relaves (Serv.StdBy)	70	Sala 3370
5	3212-VDF-001	BLH8.2.4-12-11650-03	XMV6607041654A	Correa Transp. Alimentación Molino SAG	70	Sala 3200
6	3331-VDF-001	BLH7.5.1-02-11446-02A	XMV6610041624A	Bomba Concentrado de Flotación Primer Barrido	100	Sala 3320
7	3331-VDF-002	BLH7.5.1-02-11446-02B	XMV6610041624A	Bomba Concentrado de Flotación Primer Barrido	100	Sala 3320
8	3331-VDF-005	BLH7.5.1-02-11446-02C	XMV6610041624A	Bomba Concentrado de Flotación Primera Limpieza	100	Sala 3320
9	3331-VDF-006	BLH7.5.1-02-11446-02D	XMV6610041624A	Bomba Concentrado de Flotación Primera Limpieza	100	Sala 3320
10	3332-VDF-001	BLH7.5.1-02-11446-03A	XMV6613041624A	Bomba Relaves Flotación Primer Barrido	130	Sala 3320
11	3332-VDF-002	BLH7.5.1-02-11446-03B	XMV6613041624A	Bomba Relaves Flotación Primer Barrido	130	Sala 3320
12	3374-VDF-006	Por Confirmar	XMV6613041624A	Bomba Impulsión Agua Recuperada	130	Sala 3370
13	3323-VDF-001	BLH7.5.1-02-11446-04A	XMV6614041624A	Bomba Alimentación Batería Hidrociclones Remolienda	140	Sala 3110
14	3323-VDF-002	BLH7.5.1-02-11446-04B	XMV6614041624A	Bomba Alimentación Batería Hidrociclones Remolienda	140	Sala 3110
15	3323-VDF-003	BLH7.5.1-02-11446-04C	XMV6614041624A	Bomba Alimentación Batería Hidrociclones Remolienda	140	Sala 3110
16	3114-VDF-001	BLH7.5.1-02-12109-02	XMV6618041654A	Correa Transp. Descarga Chancador Primario	180	Sala 3110
17	3375-VDF-005	BLH7.5.1-02-11446-05A	XMV6628041624A	Bomba Alimentación Canaleta de Relaves	280	Sala 3370
18	3375-VDF-010	BLH7.5.1-02-11446-05B	XMV6628041624A	Bomba de Impulsión de Relaves	280	Sala 3370
19	3242-VDF-001	BLH7.5.1-02-11446-06A	XMV6636541624A	Bomba Alimentación Hidrociclones	365	Sala 3200
20	3242-VDF-002	BLH7.5.1-02-11446-06B	XMV6636541624A	Bomba Alimentación Hidrociclones	365	Sala 3200
21	3242-VDF-003	BLH7.5.1-02-11446-06C	XMV6636541624A	Bomba Alimentación Hidrociclones	365	Sala 3200
22	3242-VDF-004	BLH7.5.1-02-11446-06D	XMV6636541624A	Bomba Alimentación Hidrociclones	365	Sala 3200
23	3115-VDF-001	BLH7.5.1-02-11446-07	XMV6646041654A	Correa Transp.Overland, acopio de gruesos (master)	460	Sala 3110
24	3115-VDF-002	BLH7.5.1-02-11446-08	XMV6646041654A	Correa Transp.Overland, acopio de gruesos (slave)	460	Sala 3110

1.- ITEMIZADO SUMINISTROS

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	VALOR UNIT. (DÓLAR)	TOTAL PARTIDA (DÓLAR)	PLAZO ENTREGA
1.1	<p>RETROFIT VARIADOR de FRECUENCIA 70Amp Típico : VDF-Tag# 3371-VDF-013 - Modelo XMV6607041654A Bomba Alimentación Cajón Recepción Relaves (Serv.Interm)</p> <hr/> <p>COMJUNTO COMPONENTES RETROFIT: (12) CELDAS DE POTENCIA – 70Amp (01) CONTROLADOR VDF (01) CONJUNTO TARJETAS E/S (01) CONJUNTO RELÉS y COMPONENTES DE CONTROL (01) CONJUNTO DE BORNES DE CONTROL y E/S (01) SENSORES DE MUESTRAS DE TENSIÓN y CORRIENTE (01) CONJUNTO EXTRÁCTORES-AIRE SECCIÓN-TRANSFORMADOR (01) CONJUNTO EXTRACTORES-AIRE SECCIÓN-CELDAS PTENCIA (01) CONJUNTO FERRETERÍA DE MONTAJE y CONEXIONADO</p> <p>REPUESTOS INCLUIDOS (02) CELDAS DE POTENCIA 70Amp</p> <p>SERVICIOS INCLUIDOS TIEMPO (Estimado) INGENIERÍA DE DISEÑO e IMPLEMENTACIÓN 05 Días LEVANTAMIENTO PARÁMETROS OPERACIONALES 01 Días SUPERVISIÓN DE MONTAJE Y CONEXIONADO 10 Días COMISIONAMIENTO REVISIÓN y PUESTA A PUNTO 02 Días PRUEBAS y PUESTA EN SERVICIO 02 Días ASISTENCIA DE MARCHA BLANCA 03 Días</p> <p>Tiempo para implementación Retrofit, se estima en 14 Días hábiles Plazo ejecución rige a contar de Disponibilidad VDF y coordinación de trabajos</p>	5 GI	100.900	504.500	19 Semanas Desde recepción de su Orden-Compra
1.2	<p>RETROFIT VARIADOR de FRECUENCIA 100Amp Típico : VDF-Tag#: 3331-VDF-001 - Modelo: XMV6610041624A Bomba Concentrado de Flotación Primer Barrido</p> <hr/> <p>COMJUNTO COMPONENTES RETROFIT: (12) CELDAS DE POTENCIA – 100Amp (01) CONTROLADOR VDF (01) CONJUNTO TARJETAS E/S (01) CONJUNTO RELÉS y COMPONENTES DE CONTROL (01) CONJUNTO DE BORNES DE CONTROL y E/S (01) SENSORES DE MUESTRAS DE TENSIÓN y CORRIENTE (01) CONJUNTO EXTRÁCTORES-AIRE SECCIÓN-TRANSFORMADOR (01) CONJUNTO EXTRACTORES-AIRE SECCIÓN-CELDAS PTENCIA (01) CONJUNTO FERRETERÍA DE MONTAJE y CONEXIONADO</p> <p>REPUESTOS INCLUIDOS (02) CELDAS DE POTENCIA 100Amp</p> <p>SERVICIOS INCLUIDOS TIEMPO (Estimado) INGENIERÍA DE DISEÑO e IMPLEMENTACIÓN 05 Días LEVANTAMIENTO PARÁMETROS OPERACIONALES 01 Días SUPERVISIÓN DE MONTAJE Y CONEXIONADO 10 Días COMISIONAMIENTO REVISIÓN y PUESTA A PUNTO 02 Días PRUEBAS y PUESTA EN SERVICIO 02 Días ASISTENCIA DE MARCHA BLANCA 03 Días</p> <p>Tiempo para implementación Retrofit, se estima en 14 Días hábiles Plazo ejecución rige a contar de Disponibilidad VDF y coordinación de trabajos</p>	4 GI	111.300	445.200	19 Semanas Desde recepción de su Orden-Compra

****VALORES UNITARIOS-NETOS, EXPRESADOS EN DÓLARES**

CONTINUACIÓN ITEMIZADO

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	VALOR UNIT. (DÓLAR)	TOTAL PARTIDA (DÓLAR)	PLAZO ENTREGA
1.3	<p>RETROFIT VARIADOR de FRECUENCIA 130Amp Típico : VDF-Tag# 3332-VDF-001 - Modelo XMV6613041654A Bomba Relaves Flotación Primer Barrido</p> <hr/> <p>COMJUNTO COMPONENTES RETROFIT: (12) CELDAS DE POTENCIA – 130Amp (01) CONTROLADOR VDF (01) CONJUNTO TARJETAS E/S (01) CONJUNTO RELÉS y COMPONENTES DE CONTROL (01) CONJUNTO DE BORNES DE CONTROL y E/S (01) SENSORES DE MUESTRAS DE TENSIÓN y CORRIENTE (01) CONJUNTO EXTRÁCTORES-AIRE SECCIÓN-TRANSFORMADOR (01) CONJUNTO EXTRÁCTORES-AIRE SECCIÓN-CELDAS PTENCIA (01) CONJUNTO FERRETERÍA DE MONTAJE y CONEXIONADO</p> <p>REPUESTOS INCLUIDOS (02) CELDAS DE POTENCIA 130Amp</p> <p>SERVICIOS INCLUIDOS TIEMPO (Estimado) INGENIERÍA DE DISEÑO e IMPLEMENTACIÓN 05 Días LEVANTAMIENTO PARÁMETROS OPERACIONALES 01 Días SUPERVISIÓN DE MONTAJE Y CONEXIONADO 10 Días COMISIONAMIENTO REVISIÓN y PUESTA A PUNTO 02 Días PRUEBAS y PUESTA EN SERVICIO 02 Días ASISTENCIA DE MARCHA BLANCA 03 Días</p> <p>Tiempo para implementación Retrofit, se estima en 14 Días hábiles Plazo ejecución rige a contar de Disponibilidad VDF y coordinación de trabajos</p>	3 GI	132.300	396.900	19 Semanas Desde recepción de su Orden-Compra
1.4	<p>RETROFIT VARIADOR de FRECUENCIA 140Amp Típico : VDF-Tag#: 3323-VDF-001 - Modelo: XMV6614041624A Bomba Alimentación Batería Hidrociclones Remolienda</p> <hr/> <p>COMJUNTO COMPONENTES RETROFIT: (12) CELDAS DE POTENCIA – 140Amp (01) CONTROLADOR VDF (01) CONJUNTO TARJETAS E/S (01) CONJUNTO RELÉS y COMPONENTES DE CONTROL (01) CONJUNTO DE BORNES DE CONTROL y E/S (01) SENSORES DE MUESTRAS DE TENSIÓN y CORRIENTE (01) CONJUNTO EXTRÁCTORES-AIRE SECCIÓN-TRANSFORMADOR (01) CONJUNTO EXTRÁCTORES-AIRE SECCIÓN-CELDAS PTENCIA (01) CONJUNTO FERRETERÍA DE MONTAJE y CONEXIONADO</p> <p>REPUESTOS INCLUIDOS (02) CELDAS DE POTENCIA 140Amp</p> <p>SERVICIOS INCLUIDOS TIEMPO (Estimado) INGENIERÍA DE DISEÑO e IMPLEMENTACIÓN 05 Días LEVANTAMIENTO PARÁMETROS OPERACIONALES 01 Días SUPERVISIÓN DE MONTAJE Y CONEXIONADO 10 Días COMISIONAMIENTO REVISIÓN y PUESTA A PUNTO 02 Días PRUEBAS y PUESTA EN SERVICIO 02 Días ASISTENCIA DE MARCHA BLANCA 03 Días</p> <p>Tiempo para implementación Retrofit, se estima en 14 Días hábiles Plazo ejecución rige a contar de Disponibilidad VDF y coordinación de trabajos</p>	3 GI	132.300	396.900	19 Semanas Desde recepción de su Orden-Compra

****VALORES UNITARIOS-NETOS, EXPRESADOS EN DÓLARES**

CONTINUACIÓN ITEMIZADO

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	VALOR UNIT. (DÓLAR)	TOTAL PARTIDA (DÓLAR)	PLAZO ENTREGA
1.5	<p>RETROFIT VARIADOR de FRECUENCIA 180Amp Típico : VDF-Tag# 3114-VDF-001 - Modelo XMV6618041654A Bomba Relaves Flotación Primer Barrido</p> <hr/> <p>COMJUNTO COMPONENTES RETROFIT: (12) CELDAS DE POTENCIA – 180Amp (01) CONTROLADOR VDF (01) CONJUNTO TARJETAS E/S (01) CONJUNTO RELÉS y COMPONENTES DE CONTROL (01) CONJUNTO DE BORNES DE CONTROL y E/S (01) SENSORES DE MUESTRAS DE TENSIÓN y CORRIENTE (01) CONJUNTO EXTRÁCTORES-AIRE SECCIÓN-TRANSFORMADOR (01) CONJUNTO EXTRÁCTORES-AIRE SECCIÓN-CELDAS PTENCIA (01) CONJUNTO FERRETERÍA DE MONTAJE y CONEXIONADO</p> <p>REPUESTOS INCLUIDOS (02) CELDAS DE POTENCIA 180Amp</p> <p>SERVICIOS INCLUIDOS TIEMPO (Estimado) INGENIERÍA DE DISEÑO e IMPLEMENTACIÓN 04 Días LEVANTAMIENTO PARÁMETROS OPERACIONALES 01 Días SUPERVISIÓN DE MONTAJE Y CONEXIONADO 10 Días COMISIONAMIENTO REVISIÓN y PUESTA A PUNTO 02 Días PRUEBAS y PUESTA EN SERVICIO 02 Días ASISTENCIA DE MARCHA BLANCA 03 Días</p> <p>Tiempo para implementación Retrofit, se estima en 14 Días hábiles Plazo ejecución rige a contar de Disponibilidad VDF y coordinación de trabajos</p>	1 GI	159.900	159.900	19 Semanas Desde recepción de su Orden-Compra
1.6	<p>RETROFIT VARIADOR de FRECUENCIA 280Amp Típico : VDF-Tag#: 3375-VDF-005 - Modelo: XMV6628041624A Bomba Alimentación Canaleta de Relaves</p> <hr/> <p>COMJUNTO COMPONENTES RETROFIT: (12) CELDAS DE POTENCIA – 280Amp (01) CONTROLADOR VDF (01) CONJUNTO TARJETAS E/S (01) CONJUNTO RELÉS y COMPONENTES DE CONTROL (01) CONJUNTO DE BORNES DE CONTROL y E/S (01) SENSORES DE MUESTRAS DE TENSIÓN y CORRIENTE (01) CONJUNTO EXTRÁCTORES-AIRE SECCIÓN-TRANSFORMADOR (01) CONJUNTO EXTRÁCTORES-AIRE SECCIÓN-CELDAS PTENCIA (01) CONJUNTO FERRETERÍA DE MONTAJE y CONEXIONADO (01) CONJUNTO SISTEMA PRECARGA</p> <p>REPUESTOS INCLUIDOS (02) CELDAS DE POTENCIA 280Amp</p> <p>SERVICIOS INCLUIDOS TIEMPO (Estimado) INGENIERÍA DE DISEÑO e IMPLEMENTACIÓN 04 Días LEVANTAMIENTO PARÁMETROS OPERACIONALES 01 Días SUPERVISIÓN DE MONTAJE Y CONEXIONADO 15 Días COMISIONAMIENTO REVISIÓN y PUESTA A PUNTO 03 Días PRUEBAS y PUESTA EN SERVICIO 02 Días ASISTENCIA DE MARCHA BLANCA 03 Días</p> <p>Tiempo para implementación Retrofit, se estima en 14 Días hábiles Plazo ejecución rige a contar de Disponibilidad VDF y coordinación de trabajos</p>	2 GI	183.200	366.400	19 Semanas Desde recepción de su Orden-Compra

****VALORES UNITARIOS-NETOS, EXPRESADOS EN DÓLARES**

CONTINUACIÓN ITEMIZADO

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	VALOR UNIT. (DÓLAR)	TOTAL PARTIDA (DÓLAR)	PLAZO ENTREGA
1.7	<p>RETROFIT VARIADOR de FRECUENCIA 365Amp Típico : VDF-Tag# 3242-VDF-001 - Modelo XMV6636541654A Bomba Alimentación Hidrociclones</p> <hr/> <p>COMJUNTO COMPONENTES RETROFIT: (12) CELDAS DE POTENCIA – 365Amp (01) CONTROLADOR VDF (01) CONJUNTO TARJETAS E/S (01) CONJUNTO RELÉS y COMPONENTES DE CONTROL (01) CONJUNTO DE BORNES DE CONTROL y E/S (01) SENSORES DE MUESTRAS DE TENSIÓN y CORRIENTE (01) CONJUNTO EXTRÁCTORES-AIRE SECCIÓN-TRANSFORMADOR (01) CONJUNTO EXTRÁCTORES-AIRE SECCIÓN-CELDAS PTENCIA (01) CONJUNTO FERRETERÍA DE MONTAJE y CONEXIONADO (01) CONJUNTO SISTEMA PRECARGA</p> <p>REPUESTOS INCLUIDOS (02) CELDAS DE POTENCIA 365Amp</p> <p>SERVICIOS INCLUIDOS TIEMPO (Estimado) INGENIERÍA DE DISEÑO e IMPLEMENTACIÓN 04 Días LEVANTAMIENTO PARÁMETROS OPERACIONALES 01 Días SUPERVISIÓN DE MONTAJE Y CONEXIONADO 15 Días COMISIONAMIENTO REVISIÓN y PUESTA A PUNTO 03 Días PRUEBAS y PUESTA EN SERVICIO 02 Días ASISTENCIA DE MARCHA BLANCA 03 Días</p> <p>Tiempo para implementación Retrofit, se estima en 14 Días hábiles Plazo ejecución rige a contar de Disponibilidad VDF y coordinación de trabajos</p>	4 GI	216.400	865.600	19 Semanas Desde recepción de su Orden-Compra
1.8	<p>RETROFIT VARIADOR de FRECUENCIA 465Amp Típico : VDF-Tag#: 3115-VDF-001&002 - Modelo: XMV6646541624A Correa Transp.Overland, acopio de gruesos (master & slave)</p> <hr/> <p>COMJUNTO COMPONENTES RETROFIT: (12) CELDAS DE POTENCIA – 465Amp (01) CONTROLADOR VDF (01) CONJUNTO TARJETAS E/S (01) CONJUNTO RELÉS y COMPONENTES DE CONTROL (01) CONJUNTO DE BORNES DE CONTROL y E/S (01) SENSORES DE MUESTRAS DE TENSIÓN y CORRIENTE (01) CONJUNTO EXTRÁCTORES-AIRE SECCIÓN-TRANSFORMADOR (01) CONJUNTO EXTRÁCTORES-AIRE SECCIÓN-CELDAS PTENCIA (01) CONJUNTO FERRETERÍA DE MONTAJE y CONEXIONADO (01) CONJUNTO SISTEMA PRECARGA</p> <p>REPUESTOS INCLUIDOS (02) CELDAS DE POTENCIA 465Amp</p> <p>SERVICIOS INCLUIDOS TIEMPO (Estimado) INGENIERÍA DE DISEÑO e IMPLEMENTACIÓN 06 Días LEVANTAMIENTO PARÁMETROS OPERACIONALES 02 Días SUPERVISIÓN DE MONTAJE Y CONEXIONADO 15 Días COMISIONAMIENTO REVISIÓN y PUESTA A PUNTO 03 Días PRUEBAS y PUESTA EN SERVICIO 02 Días ASISTENCIA DE MARCHA BLANCA 03 Días</p> <p>Tiempo para implementación Retrofit, se estima en 14 Días hábiles Plazo ejecución rige a contar de Disponibilidad VDF y coordinación de trabajos</p>	2 GI	280.800	561.600	19 Semanas Desde recepción de su Orden-Compra

****VALORES UNITARIOS-NETOS, EXPRESADOS EN DÓLARES**

2.- ITEMIZADO SERVICIOS

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	VALOR UNIT. (DÓLAR)	TOTAL PARTIDA (DÓLAR)
2.1	CARPETA TÉCNICA DIGITAL As Built Incluida por cada RETROFIT <ul style="list-style-type: none"> Catálogo general de equipos Manual de instalación y mantención Manual de usuario Protocolos de control de calidad de fábrica Protocolos de revisión pre-entrega AVI Diagrama de disposición y medidas Diagrama elemental de fuerza y control Listado de partes y piezas **Documentos DIGITALES, editados en idioma ESPAÑOL	1 Cj	SIN Costo	SIN Costo
2.2	SERVICIOS RECEPCIÓN y PRUEBAS-FAT (China) <ul style="list-style-type: none"> Visita a instalaciones de planta (1 Semana) Pruebas conjunto Controlador - Celdas de Potencia Gastos de viaje y estadía personal AVI hasta fábrica (China) Informes y protocolos de puesta en marcha **Valores válido para asistencia dentro de la región metropolitana	1 GL	15.184	15.184

****VALORES UNITARIOS-NETOS, EXPRESADOS EN DÓLARES**

CONDICIONES SERVICIOS en TERRENO

CONFIRMACIÓN de ASISTENCIA

La asistencia técnica debe ser solicitada y coordinada por escrito, al menos con 1 Semana de anticipación por parte del cliente, indicando fecha de inicio y programa de asistencia requerida.

ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL (EPPs)

Los elementos de protección personal considerados para el personal de terreno son los básicos, siendo estos;
 Casco, Bototos, Lentes, Guantes, Filtro-Respiración, Chaleco-Reflec.. Ropa Ignífuga

TIEMPOS DE ACREDITACIÓN y PERMISOS DE INGRESO

Asistencia a cursos especiales de acreditación, tramites de ingreso, realización de exámenes Covid u otros requerimientos para ingreso a planta, serán contabilizados como una visita normal a planta.

ASISTENCIA TÉCNICA ADICIONAL

La asistencia técnica en terreno requerida más allá de lo comprometido en esta oferta, deberá también ser solicitada y acordada previamente por escrito.

Los valores para asistencia adicional, son los siguientes:

ASISTENCIA ADICIONAL	VALOR (Dólar)
-Jornada NORMAL Lunes a Viernes, de 9:00 a 17:00hrs	600
-Jornada día SÁBADO, del 9:00 a 17:00hrs	700
-Jornada día DOMINGO, de 9:00 a 17:00hrs	N/A
-Hora adicional en jornada Normal (Lunes a Viernes)	100
-Hora adicional en día sábado o domingo	N/A
-Valor traslado visita adicional, hasta planta	650

CANCELACIÓN DE ASISTENCIA

La cancelación de visitas programadas, deberá ser realizada por escrito con al menos 2 días de anticipación.

En cualquier caso, los costos en los que haya incurrido AVI para realizar la visita deberán ser repuestos por el cliente.

Si los servicios son cancelados por razones ajenas al personal de AVI, habiéndose presentado en planta, el día de asistencia será considerada como realizado.

TRASLADOS y ESTADÍA EN PLANTA

El personal de AVI, se presentará en portería de planta.

La movilización dentro de las instalaciones de planta, serán de cargo del Cliente.

De igual manera el cliente dispondrá de alimentación para el personal de AVI, durante la jornada de trabajo en planta.

DISPONIBILIDAD DE EQUIPOS y JORNADA DE VISITA

El cliente deberá asegurar la disponibilidad de los equipos a intervenir, durante el tiempo que duren los trabajos, planificados.

APOYO CON TRABAJOS DE TERRENO

El cliente deberá disponer de los recursos, para apoyar los trabajos de comisionamiento y montajes en terreno. Tales como:

- Bloqueo de equipos
- Mano de obra y herramientas para los trabajos en terreno
- Comisionamiento de señales remotas
- Comisionamiento Comunicaciones
- Etc.

REPUESTOS y REPARACIÓN

NO se contemplan suministros o reposición de equipos, que no se hayan mencionado en esta oferta, como así tampoco contempla la reparación y restauración de componentes existentes.

LÍMITE CONTACTUAL y LEGAL

AVI SpA y ninguno de sus empleados estará obligado a realizar trabajos o actividades, más allá de los compromisos contractuales o que contravengan los márgenes legales.

VIGENCIA DE LOS SERVICIO OFRECIDOS

La vigencia, así como los alcances y condiciones de los servicios ofrecidos en esta oferta EXPIRAN junto con la vigencia de garantía detallada en apartado "Condiciones Comerciales Generales"

Terminado este período, AVI recotizará por separado los servicios que sean requeridos.

CONTINUIDAD DE SERVICIO

La prestación y continuidad de los servicios ofrecidos estará sujeta y condicionada al cumplimiento del plan de pago acordado.

Los servicios serán suspendidos, cuando existan pagos pendientes.

3.- CONDICIONES COMERCIALES PARTICULARES

- TIPO de OFERTA** : Precios y condiciones **A-FIRME**
Precios unitarios expresados en **DÓLARES(USA)**. Valores Netos, se debe agregar IVA
Valores unitarios consideran el 100% de suministros ofrecidos. Suministros parciales podrían afectar los precios unitarios detallados en esta oferta.
- FECHA ENTREGA** : **19 Semanas.**, a contar de la recepción en nuestras oficinas de, su Orden de compra aclarada técnica y comercialmente.
- LUGAR ENTREGA** : Sobre camión en **Bodegas de Consolidación del cliente en Santiago**
La responsabilidad de cuidado y resguardo de equipos por parte de AVI, termina con la entrega de equipos al transportista asignado por el cliente.
- FORMA DE PAGO** : 100% a los 30 días, Contra la entrega del suministro principal en sus bodegas-Santiago.
Cancelado en moneda nacional equivalente, según valor de cambio informado por Banco Central a la fecha de facturación-Final
- MEDIO DE PAGO** : Solo mediante transferencia bancaria.
- DATOS DE CUENTA**
- NOMBRE : Asesoría y Ventas Industriales AVI SpA
 - RUT : 96.638.630-4
 - BANCO : Banco Santander
 - CUENTA CORRIENTE : 0-000-7268903-8
 - CORREO : contabilidad@avi-electronic.com
- VALIDEZ OFERTA** : La presente oferta tiene una vigencia de **30 días**
Superado este plazo, podrían verse afectados los precios y condiciones comprometidas en esta oferta.
- GARANTÍA** : **18 Meses** desde la entrega
12 meses desde la Puesta en Servicio, por personal de AVI... Lo primero que se cumpla.
LIMITACIONES DE GARANTÍA
Cualquier intervención inadecuada en los equipos e instalaciones, así como la alteración de las condiciones de uso, mantención y operación que excedan las especificaciones de fabricación y construcción de los equipos ofrecidos en esta oferta, implicarán la caducidad inmediata de las garantías.
- EMBALAJES** : Se considera PALLET, más CAJÓN DE MADERA, previa envoltorio de plástico, apto para transporte terrestre y almacenamiento bajo techo, protegido de las condiciones de intemperie y de acciones vandálicas.
- PROVEEDOR** : De ser favorecida nuestra oferta, favor cursar su Orden de Compra a:
 - RAZÓN SOCIAL : Asesoría y Ventas Industriales AVI S.A.
 - RUT : 96.638.630-4
 - DIRECCIÓN : Los productores N° 4439, Huechuraba-Santiago
 - CONTACTO : Mauricio Flores Carrasco (mflores@avi-electronic.com)
- DOCUMENTOS** : ANEXO-Diagrama explicativo TIPO, para procedimiento de RETROFIT
ANEXO-Procedimiento explicativo Retrofit VDFs-MT
- EXCEPCIONES** : Quedan fuera del marco de esta oferta todos aquellos suministros y servicios que no hayan sido mencionados en este documento, como así también quedan expresamente excluidos los siguientes alcances:
- a)- Traslado de equipos y componentes desde y hacia faenas del cliente
 - b)- Servicios de asistencia técnica en planta que no fueran contratados
 - c)- Materiales y mano de obra para montaje y pruebas en terreno
 - d)- Desarrollo y certificación de sistemas de control y comunicaciones externas
 - e)- Estudio, memoria y certificación de mallas de tierra.
 - f)- Estudio, Selectividad/Coordinación y parametrización de protecciones
 - g)- **Clausulas y Condiciones** que no hayan estado a la vista durante proceso de cotización
 - h).-AVI SpA y ninguno de sus empleados estará obligado a realizar trabajos o actividades, más allá de los compromisos contractuales y legales.

SEñORES

CORPORACIÓN NACIONAL DEL COBRE DE CHILE
División Ministro Hales

Atención : Nelson Arriagada
Superintendente Mantención Planta

Oferta N° 0219-25 Rev00
OFERTA TÉCNICA-ECONÓMICA
REEMPLAZO VDFs NUEVOS

Fecha : Miércoles 19 de Febrero, 2025
Encargado : Mauricio Flores
Fono Central : 56 222 440 308
Fono Directo : 56 232 781 026
Fono Móvil : +569 7997 8518
Correo : mlflores@avi-electronic.com

REFERENCIA

Licitación : N/A
Proyecto : N/A
Suministro : Reemplazo Plataforma Accionamientos-MT Power Electronics

Estimados señores,

Tenemos el agrado de someter a su evaluación nuestra **OFERTA TÉCNICA-ECONÓMICA**, en la cual se acotan y detallan los alcances técnicos y comerciales, para el suministro de Variadores de frecuencia en Media Tensión, además de los servicios de asistencia técnica, requeridos en el marco del proyecto de la referencia.

La presente oferta se limita al desarrollo e interpretación de los antecedentes e información técnica disponible hasta el momento de cierre, correspondiente a los siguientes suministros:

- **REEMPLAZO PLATAFORMA ACCIONAMIENTOS MEDIA TENSIÓN**
Variadores de Frecuencia PowerDrive, serie , RMVC5100-4.16/70-ATB
 - ▶ Topología de Celdas Modulares de baja tensión, en cascada
 - ▶ Potencia y prestaciones a 2600m.s.n.m. - 40°C
 - ▶ Incluye transformador entrada de 24-Pulsos
 - ▶ Cumple con contaminación armónica de THDi $\leq 4\%$
 - ▶ Comunicación Ethernet TCP/IP

Esperando que nuestra oferta sea de su interés y conveniencia, quedamos a su disposición para atender cualquier consulta o información complementaria de nuestra parte, a través de cualquier medio indicados al pie de firma.



Mauricio Flores Carrasco
ASESORIA y VENTAS INDUSTRIALES AVI SpA
GERENCIA de VENTAS y OPERACIONES
Fono Central : +56 222 440 308
Fono Movil : +56 979 978 518
E-mail : mlflores@avi-electronic.com
www.avi-electronic.com



1.- DESCRIPCIÓN DE ALCANCES: Reemplazo Variadores de Frecuencia Nuevos

En atención al estado de obsolescencia en que se encuentran los accionamientos de media-tensión **Serie XMV660 de la marca Power Electronics**, AVI ofrece el reemplazo de estos accionamientos por Variadores de frecuencia nuevos de última generación, para aquellos casos en los que se den las condiciones y espacios para el cambio completo del equipo.

Los equipos considerados en esta propuesta cubre toda la plataforma de equipos existentes:

N°	TAG	MODELO VDF-NUOVO	APLICACIÓN	CORRIENTE	UBICACIÓN
1	3371-VDF-013	PowerDrive, RMVC5100-4.16/70-ATB	Bomba Alimentación Cajón Recepción Relaves (Serv.Intern)	70	Sala 3370
2	3371-VDF-014	PowerDrive RMVC5100-4.16/70-ATB	Bomba Alimentación Cajón Recepción Relaves (Serv.StdBy)	70	Sala 3370
3	3371-VDF-015	PowerDrive RMVC5100-4.16/70-ATB	Bomba Alimentación Cajón Recepción Relaves (Serv.Intern)	70	Sala 3370
4	3371-VDF-016	PowerDrive RMVC5100-4.16/70-ATB	Bomba Alimentación Cajón Recepción Relaves (Serv.StdBy)	70	Sala 3370
5	3212-VDF-001	PowerDrive RMVC5100-4.16/70-ATB	Correa Transp. Alimentación Molino SAG	70	Sala 3200
6	3331-VDF-001	PowerDrive RMVC5100-4.16/100-ATB	Bomba Concentrado de Flotación Primer Barrido	100	Sala 3320
7	3331-VDF-002	PowerDrive RMVC5100-4.16/100-ATB	Bomba Concentrado de Flotación Primer Barrido	100	Sala 3320
8	3331-VDF-005	PowerDrive RMVC5100-4.16/100-ATB	Bomba Concentrado de Flotación Primera Limpieza	100	Sala 3320
9	3331-VDF-006	PowerDrive RMVC5100-4.16/100-ATB	Bomba Concentrado de Flotación Primera Limpieza	100	Sala 3320
10	3332-VDF-001	PowerDrive RMVC5100-4.16/140-ATB	Bomba Relaves Flotación Primer Barrido	130	Sala 3320
11	3332-VDF-002	PowerDrive RMVC5100-4.16/140-ATB	Bomba Relaves Flotación Primer Barrido	130	Sala 3320
12	3374-VDF-006	PowerDrive RMVC5100-4.16/140-ATB	Bomba Impulsión Agua Recuperada	130	Sala 3370
13	3323-VDF-001	PowerDrive RMVC5100-4.16/140-ATB	Bomba Alimentación Batería Hidrociclones Remolienda	140	Sala 3110
14	3323-VDF-002	PowerDrive RMVC5100-4.16/140-ATB	Bomba Alimentación Batería Hidrociclones Remolienda	140	Sala 3110
15	3323-VDF-003	PowerDrive RMVC5100-4.16/140-ATB	Bomba Alimentación Batería Hidrociclones Remolienda	140	Sala 3110
16	3114-VDF-001	PowerDrive RMVC5100-4.16/180-ATB	Correa Transp. Descarga Chancador Primario	180	Sala 3110
17	3375-VDF-005	PowerDrive RMVC5100-4.16/280-ATB	Bomba Alimentación Canaleta de Relaves	280	Sala 3370
18	3375-VDF-010	PowerDrive RMVC5100-4.16/280-ATB	Bomba de Impulsión de Relaves	280	Sala 3370
19	3242-VDF-001	PowerDrive RMVC5100-4.16/365-ATB	Bomba Alimentación Hidrociclones	365	Sala 3200
20	3242-VDF-002	PowerDrive RMVC5100-4.16/365-ATB	Bomba Alimentación Hidrociclones	365	Sala 3200
21	3242-VDF-003	PowerDrive RMVC5100-4.16/365-ATB	Bomba Alimentación Hidrociclones	365	Sala 3200
22	3242-VDF-004	PowerDrive RMVC5100-4.16/365-ATB	Bomba Alimentación Hidrociclones	365	Sala 3200
23	3115-VDF-001	PowerDrive RMVC5100-4.16/460-ATB	Correa Transp.Overland, acopio de gruesos (master)	460	Sala 3110
24	3115-VDF-002	PowerDrive RMVC5100-4.16/460-ATB	Correa Transp.Overland, acopio de gruesos (slave)	460	Sala 3110

1.- ITEMIZADO SUMINISTROS

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	VALOR UNIT. (DÓLAR)	TOTAL PARTIDA (DÓLAR)	PLAZO ENTREGA
1.1	<p>VARIADOR de FRECUENCIA 70Amp</p> <p>Típico : VDF-Tag# 3371-VDF-013 - Modelo XMV6607041654A Bomba Alimentación Cajón Recepción Relaves (Serv.Intern)</p> <hr/> <p>CONDICIONES DE INSTALACIÓN</p> <p>Altura geográfica montaje : 2.600m.s.n.m. Temperatura Servicio : < 40°C Tipo de instalación : Interior Sala Eléctrica acondicionada</p> <hr/> <p>DATOS GENERALES VARIADOR DE FRECUENCIA</p> <p>Marca : Power Drive Serie : RMVC5100-4.16/70-ATB Procedencia : China (Anshan) Tensión de entrada : 4.16 Kv (± 10%) Tensión de Salida : 0...4,16kv Frecuencia Entrada/Salida : 50Hz (±5%) / 0...50Hz Topología : Celdas en serie, Multi-Nivel Eficiencia : > 098% (Incluido transformador Aislación) Factor de potencia : > 0.95 Nivel Armónicos Corriente : THDi < 4%, Cumple con norma IEEE519 Nivel Armónicos Voltaje : THDv < 4%, Cumple con norma IEEE519 Número celdas por fase : 4Celdas por fase (12Celdas en total) Número de pulsos : 24Pulsos Niveles de salida : 9 Capacidad sobre carga : 150% durante 60seg Tipo de rectificador : Puente Rectificador Diodos-Trifásico (Baja Tensión) Tipo de inversor : Puente Inversor de IGBT-Monofásico (BajaTensión) ByPass Interno : Celda-potencia incluye ByPass interno By-Pass automático Tensión Auxiliar de control : 400vac(± 10%), 50Hz (3 fases + Neutro) Aportados por el Cliente</p> <hr/> <p>Relés Auxiliares I/O : 8 Entradas Digitales (230vac, 50Hz) 9 Salidas Digitales (230vac, 50Hz) 3 Entradas Analógicas 4-20mA 4 Salidas Analógicas 4-20mA</p> <hr/> <p>Protocolo Comunicación : Estándar PROFIBUS-DP Puertos Comunicación : Serial Display : Display Alfa-Numérico, tipo LCD 10" Menus y Mensajes en ESPAÑOL</p> <hr/> <p>Transformador aislación : Incluido con el Variador de Frecuencia Tipo SECO-Abierto, Devanados de cobre Voltaje devanados secundarios 690v Sensores de temperature incluidos Relé monitor de temperature incluido</p> <hr/> <p>ENVOLVENTE : Armario metálico AutoSoportado Grado de protección IP42 Ventilación forzada incluida Entrada y salida de cables-potencia, inferior</p>	5 GI	104.200	521.000	18 Semanas Desde recepción de su Orden-Compra

****VALORES UNITARIOS-NETOS, EXPRESADOS EN DÓLARES**

CONTINUACIÓN ITEMIZADO

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	VALOR UNIT. (DÓLAR)	TOTAL PARTIDA (DÓLAR)	PLAZO ENTREGA
1.2	RETROFIT VARIADOR de FRECUENCIA 100Amp Típico : VDF-Tag# 3332-VDF-001 - Modelo XMV6613041654A Bomba Relaves Flotación Primer Barrido <hr/> DATOS GENERALES VARIADOR DE FRECUENCIA Marca : Power Drive Serie : RMVC5100-4.16/100-ATB	3 GI	113.800	341.400	18 Semanas Desde recepción de su Orden-Compra
1.3	RETROFIT VARIADOR de FRECUENCIA 130Amp Típico : VDF-Tag# 3332-VDF-001 - Modelo XMV6613041654A Bomba Relaves Flotación Primer Barrido <hr/> DATOS GENERALES VARIADOR DE FRECUENCIA Marca : Power Drive Serie : RMVC5100-4.16/130-ATB	3 GI	133.700	401.100	18 Semanas Desde recepción de su Orden-Compra
1.4	RETROFIT VARIADOR de FRECUENCIA 140Amp Típico : VDF-Tag#: 3323-VDF-001 - Modelo: XMV6614041624A Bomba Alimentación Batería Hidrociclones Remolienda <hr/> DATOS GENERALES VARIADOR DE FRECUENCIA Marca : Power Drive Serie : RMVC5100-4.16/140-ATB	3 GI	131.200	393.600	18 Semanas Desde recepción de su Orden-Compra
1.5	RETROFIT VARIADOR de FRECUENCIA 180Amp Típico : VDF-Tag# 3114-VDF-001 - Modelo XMV6618041654A Bomba Relaves Flotación Primer Barrido <hr/> DATOS GENERALES VARIADOR DE FRECUENCIA Marca : Power Drive Serie : RMVC5100-4.16/180-ATB	1 GI	151.500	151.500	18 Semanas Desde recepción de su Orden-Compra
1.6	RETROFIT VARIADOR de FRECUENCIA 280Amp Típico : VDF-Tag#: 3375-VDF-005 - Modelo: XMV6628041624A Bomba Alimentación Canaleta de Relaves <hr/> DATOS GENERALES VARIADOR DE FRECUENCIA Marca : Power Drive Serie : RMVC5100-4.16/280-ATB	2 GI	185.200	170.400	18 Semanas Desde recepción de su Orden-Compra
1.7	RETROFIT VARIADOR de FRECUENCIA 365Amp Típico : VDF-Tag# 3242-VDF-001 - Modelo XMV6636541654A Bomba Alimentación Hidrociclones <hr/> DATOS GENERALES VARIADOR DE FRECUENCIA Marca : Power Drive Serie : RMVC5100-4.16/365-ATB	4 GI	224.500	898.000	18 Semanas Desde recepción de su Orden-Compra
1.8	RETROFIT VARIADOR de FRECUENCIA 465Amp Típico : VDF-Tag#: 3115-VDF-001&002 - Modelo: XMV6646541624A Correa Transp.Overland, acopio de gruesos (master & slave) <hr/> DATOS GENERALES VARIADOR DE FRECUENCIA Marca : Power Drive Serie : RMVC5100-4.16/465-ATB	2 GI	302.400	604.800	18 Semanas Desde recepción de su Orden-Compra

****VALORES UNITARIOS-NETOS, EXPRESADOS EN DÓLARES**

2.- ITEMIZADO SERVICIOS

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	VALOR UNIT. (DÓLAR)	TOTAL PARTIDA (DÓLAR)
2.1	CARPETA TÉCNICA DIGITAL As Built Incluida por cada RETROFIT <ul style="list-style-type: none"> • Catálogo general de equipos • Manual de instalación y mantención • Manual de usuario • Protocolos de control de calidad de fábrica • Protocolos de revisión pre-entrega AVI • Diagrama de disposición y medidas • Diagrama elemental de fuerza y control • Listado de partes y piezas **Documentos DIGITALES, editados en idioma ESPAÑOL	1 Cj	SIN Costo	SIN Costo
2.2	SERVICIOS RECEPCIÓN y PRUEBAS-FAT (China) <ul style="list-style-type: none"> • Visita a instalaciones de planta (1 Semana) • Pruebas conjunto Controlador - Celdas de Potencia • Gastos de viaje y estadía personal AVI hasta fábrica (China) • Informes y protocolos de puesta en marcha **Valores válido para asistencia dentro de la región metropolitana	1 GL	15.184	15.184
2.3	SUPERVISIÓN DE MONTAJE y PRECOMISIONAMIENTO (Chile) Para cada VDF suministrado: <ul style="list-style-type: none"> • Asistencia Un Ingeniero – Especialista, en planta • Jornada normal trabajo en planta (Lunes a Viernes, 9.30 a 17:30) • Elementos de protección personal (Básicos) • Gastos de traslados y estadía (Solo, hasta portería de planta) • Informes y protocolos de servicios realizados 	3 Día	1.000	3.000
2.4	SERVICIOS DE COMISIONAMIENTO & PUESTA EN MARCHA Para cada VDF suministrado: <ul style="list-style-type: none"> • Asistencia DOS Ingenieros – Especialistas, en planta • Jornada normal trabajo en planta (Lunes a Viernes, 9.30 a 17:30) • Jornada normal trabajo en planta (Lunes a Viernes, 9.30 a 17:30) • Gastos de traslados y estadía (Solo, hasta portería de planta) • Informes y protocolos de servicios realizados 	3 Día	1.200	3.600
2.5	SERVICIOS DE CAPACITACIÓN <ul style="list-style-type: none"> • Inducción teórica e identificación de partes y piezas • Inducción teórica de OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO • Documentos y material de apoyo • Jornada de inducción normal (Lunes a Viernes, 10:00 a 17:00) • Gastos de traslados y estadía (Solo, hasta portería de planta) • Informes y protocolos de servicios realizados 	1 Día	1.600	1.600

****VALORES UNITARIOS-NETOS, EXPRESADOS EN DÓLARES**

CONDICIONES SERVICIOS en TERRENO

CONFIRMACIÓN de ASISTENCIA

La asistencia técnica debe ser solicitada y coordinada por escrito, al menos con 1 Semana de anticipación por parte del cliente, indicando fecha de inicio y programa de asistencia requerida.

ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL (EPPs)

Los elementos de protección personal considerados para el personal de terreno son los básicos, siendo estos;
 Casco, Bototos, Lentes, Guantes, Filtro-Respiración, Chaleco-Reflec., Ropa Ignífuga

TIEMPOS DE ACREDITACIÓN y PERMISOS DE INGRESO

Asistencia a cursos especiales de acreditación, tramites de ingreso, realización de exámenes Covid u otros requerimientos para ingreso a planta, serán contabilizados como una visita normal a planta.

ASISTENCIA TÉCNICA ADICIONAL

La asistencia técnica en terreno requerida más allá de lo comprometido en esta oferta, deberá también ser solicitada y acordada previamente por escrito.

Los valores para asistencia adicional, son los siguientes:

ASISTENCIA ADICIONAL	VALOR (Dólar)
- Jornada NORMAL Lunes a Viernes, de 9:00 a 17:00hrs	600
- Jornada día SÁBADO, del 9:00 a 17:00hrs	700
- Jornada día DOMINGO, de 9:00 a 17:00hrs	N/A
- Hora adicional en jornada Normal (Lunes a Viernes)	100
- Hora adicional en día sábado o domingo	N/A
- Valor traslado visita adicional, hasta planta	650

CANCELACIÓN DE ASISTENCIA

La cancelación de visitas programadas, deberá ser realizada por escrito con al menos 2 días de anticipación.

En cualquier caso, los costos en los que haya incurrido AVI para realizar la visita deberán ser repuestos por el cliente.

Si los servicios son cancelados por razones ajenas al personal de AVI, habiéndose presentado en planta, el día de asistencia será considerada como realizado.

TRASLADOS y ESTADÍA EN PLANTA

El personal de AVI, se presentará en portería de planta.

La movilización dentro de las instalaciones de planta, serán de cargo del Cliente.

De igual manera el cliente dispondrá de alimentación para el personal de AVI, durante la jornada de trabajo en planta.

DISPONIBILIDAD DE EQUIPOS y JORNADA DE VISITA

El cliente deberá asegurar la disponibilidad de los equipos a intervenir, durante el tiempo que duren los trabajos, planificados.

APOYO CON TRABAJOS DE TERRENO

El cliente deberá disponer de los recursos, para apoyar los trabajos de comisionamiento y montajes en terreno. Tales como:

- Bloqueo de equipos
- Mano de obra y herramientas para los trabajos en terreno
- Comisionamiento de señales remotas
- Comisionamiento Comunicaciones
- Etc.

REPUESTOS y REPARACIÓN

NO se contemplan suministros o reposición de equipos, que no se hayan mencionado en esta oferta, como así tampoco contempla la reparación y restauración de componentes existentes.

LÍMITE CONTACTUAL y LEGAL

AVI SpA y ninguno de sus empleados estará obligado a realizar trabajos o actividades, más allá de los compromisos contractuales o que contravengan los márgenes legales.

VIGENCIA DE LOS SERVICIO OFRECIDOS

La vigencia, así como los alcances y condiciones de los servicios ofrecidos en esta oferta EXPIRAN junto con la vigencia de garantía detallada en apartado "Condiciones Comerciales Generales"

Terminado este período, AVI recotizará por separado los servicios que sean requeridos.

CONTINUIDAD DE SERVICIO

La prestación y continuidad de los servicios ofrecidos estará sujeta y condicionada al cumplimiento del plan de pago acordado.

Los servicios serán suspendidos, cuando existan pagos pendientes.

3.- CONDICIONES COMERCIALES PARTICULARES

- TIPO de OFERTA** : Precios y condiciones **A-FIRME**
Precios unitarios expresados en **DÓLARES(USA)**. Valores Netos, se debe agregar IVA
Valores unitarios consideran el 100% de suministros ofrecidos. Suministros parciales podrían afectar los precios unitarios detallados en esta oferta.
- FECHA ENTREGA** : **18 Semanas.**, a contar de la recepción en nuestras oficinas de, su Orden de compra aclarada técnica y comercialmente.
- LUGAR ENTREGA** : Sobre camión en **Bodegas de Consolidación del cliente en Santiago**
La responsabilidad de cuidado y resguardo de equipos por parte de AVI, termina con la entrega de equipos al transportista asignado por el cliente.
- FORMA DE PAGO** : 100% a los 30 días, Contra la entrega del suministro principal en sus bodegas-Santiago.
Cancelado en moneda nacional equivalente, según valor de cambio informado por Banco Central a la fecha de facturación-Final
- MEDIO DE PAGO** : Solo mediante transferencia bancaria.
- DATOS DE CUENTA**
- NOMBRE : Asesoría y Ventas Industriales AVI SpA
 - RUT : 96.638.630-4
 - BANCO : Banco Santander
 - CUENTA CORRIENTE : 0-000-7268903-8
 - CORREO : contabilidad@avi-electronic.com
- VALIDEZ OFERTA** : La presente oferta tiene una vigencia de **30 días**
Superado este plazo, podrían verse afectados los precios y condiciones comprometidas en esta oferta.
- GARANTÍA** : **18 Meses** desde la entrega
12 meses desde la Puesta en Servicio, por personal de AVI... Lo primero que se cumpla.
LIMITACIONES DE GARANTÍA
Cualquier intervención inadecuada en los equipos e instalaciones, así como la alteración de las condiciones de uso, mantención y operación que excedan las especificaciones de fabricación y construcción de los equipos ofrecidos en esta oferta, implicarán la caducidad inmediata de las garantías.
- EMBALAJES** : Se considera PALLET, más CAJÓN DE MADERA, previa envoltorio de plástico, apto para transporte terrestre y almacenamiento bajo techo, protegido de las condiciones de intemperie y de acciones vandálicas.
- PROVEEDOR** : De ser favorecida nuestra oferta, favor cursar su Orden de Compra a:
 - RAZÓN SOCIAL : Asesoría y Ventas Industriales AVI S.A.
 - RUT : 96.638.630-4
 - DIRECCIÓN : Los productores N° 4439, Huechuraba-Santiago
 - CONTACTO : Mauricio Flores Carrasco (mflores@avi-electronic.com)
- DOCUMENTOS** : ANEXO-Diagrama explicativo TIPO, para procedimiento de RETROFIT
ANEXO-Procedimiento explicativo Retrofit VDFs-MT
- EXCEPCIONES** : Quedan fuera del marco de esta oferta todos aquellos suministros y servicios que no hayan sido mencionados en este documento, como así también quedan expresamente excluidos los siguientes alcances:
- a)- Traslado de equipos y componentes desde y hacia faenas del cliente
 - b)- Servicios de asistencia técnica en planta que no fueran contratados
 - c)- Materiales y mano de obra para montaje y pruebas en terreno
 - d)- Desarrollo y certificación de sistemas de control y comunicaciones externas
 - e)- Estudio, memoria y certificación de mallas de tierra.
 - f)- Estudio, Selectividad/Coordinación y parametrización de protecciones
 - g)- **Clausulas y Condiciones** que no hayan estado a la vista durante proceso de cotización
 - h).-AVI SpA y ninguno de sus empleados estará obligado a realizar trabajos o actividades, más allá de los compromisos contractuales y legales.



Nota Interna

DMH-GMANT-133-2026

Calama 25 de Junio 2026

A : GERENTE GENERAL

DE : GERENTE DE MANTENIMIENTO

REF.: ACTUALIZACIÓN MATRIZ EQUIPOS CRITICOS PLANTA CONCENTRADORA DMH 2026

De acuerdo a lo establecido en la Fase B del Sistema Operativo de Mantenimiento (SOMA) y con el objetivo de actualizar la criticidad de los equipos para definir las metas de desempeño y una estrategia de mantenimiento. Se han establecido **97 activos con indicador de Criticidad Alta** para Planta Concentradora DMH, se adjunta acta con los responsables de las áreas de Operaciones y Mantenimiento.

Atentamente,

JOSÉ OYANADEL CORTÉS

Cc: Gerente Corporativo de Mantenimiento
Gerente de Planta Concentradora
Adj: Acta de firmas actualización 2026



Calama 25 de Junio 2026.

ACTUALIZACIÓN DE MATRIZ EQUIPOS CRÍTICOS CONCENTRADORA 2026

Por medio de la presenta se actualiza el listado de Equipos Críticos de Planta Concentradora 2026, resultando un total de **97 activos con indicador de Criticidad Alta**, según Tabla N°1, considerando las siguientes modificaciones:

- 67 equipos se han mantenido en criticidad alta respecto de la Matriz 2025.
- 30 equipos se han incorporado a criticidad alta según el análisis realizado en 2026.
- 8 equipos han bajado de criticidad alta según el análisis realizado en 2026.
- 62 equipos se han incorporado a la matriz según el análisis realizado en 2026.
- 4 equipos se han eliminado de la matriz respecto a la Matriz 2025.

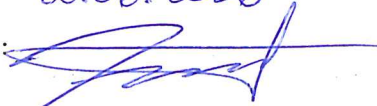
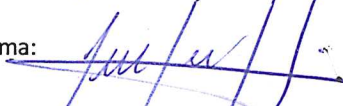
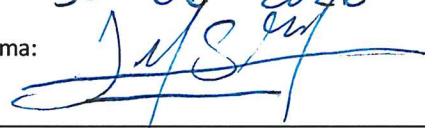
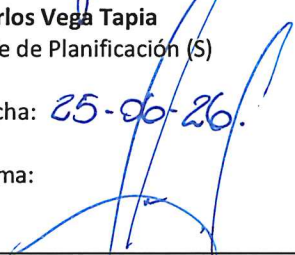
Tabla N°1. Matriz Activos con Criticidad Alta 2026

#	TAG	Descripción	Ubicación Técnica	Cantidad	Estatus
1	3000-SEL-002	Sala Eléctrica Cal y Reactivos	HMCO-SP-SUM-DIE-SEL01	1	Se Mantiene
2	3200-SEL-001	Sala Eléctrica Molienda	HMCO-SP-SUM-DIE-SEL02	1	Se Mantiene
3	3212-BBA-001	Bomba Piso	HMCO-MO-MPR-ALI-BBA01	1	Nuevo
4	3212-CTR-001	Correa Transportadora Alimentacion Molino SAG	HMCO-MO-MPR-ALI-CTR01	1	Se Mantiene
5	3213-BBA-001	Bomba de Piso Colector Derrames Molienda	HMCO-MO-MPR-SDS-PZO01-SME-BBA1	1	Nuevo
6	3213-BBA-002	Bomba de Piso Colector Derrames Molienda	HMCO-MO-MPR-SDS-PZO01-SME-BBA2	1	Nuevo
7	3213-BBA-003	Bomba de Piso Colector Derrames Molienda	HMCO-MO-MPR-SDS-PSC01-SME-BBA3	1	Nuevo
8	3213-BBA-004	Bomba de Piso Colector Derrames Molienda	HMCO-MO-MPR-SDS-PSC01-SME-BBA4	1	Nuevo
9	3213-BBA-012	Bomba de Piso Colector Derrames Molienda	HMCO-MO-MPR-SDS-PZO01-SME-BB12	1	Nuevo
10	3213-CHU-005	Chute alimentación SAG	HMCO-MO-MPR-ALI-CTR01-SES-CHU5	1	Nuevo
11	3213-HRO-001	Harneros Doble Deck	HMCO-MO-MPR-SDS-HRO01	1	Se Mantiene
12	3213-HRO-002	Harneros Doble Deck	HMCO-MO-MPR-SDS-HRO02	1	Se Mantiene
13	3213-MSG-001	Molino SAG	HMCO-MO-MPR-PSG-MSG01	1	Se Mantiene
14	3213-SEL-001	E-House Molino SAG	HMCO-MO-MPR-PSG-MSG01-SFC	1	Se Mantiene
15	3216-BBA-001	Bomba de Piso Derrames Área Preparación	HMCO-SP-PRE-PCA-BOC01	1	Nuevo
16	3216-BOC-002	Bomba 3216-BOC-002	HMCO-SP-PRE-PCA-BOC02	1	Se Mantiene

17	3216-BOC-003	Bomba 3216-BOC-003	HMCO-SP-PRE-PCA-BOC03	1	Se Mantiene
18	3221-MBO-001	Molino de Bolas N° 1 22"x36"	HMCO-MO-MSC-BOL-MBO01	1	Se Mantiene
19	3221-MBO-002	Molino de Bolas N° 2 22"x36"	HMCO-MO-MSC-BOL-MBO02	1	Se Mantiene
20	3221-SEL-001	E-House Molino Bolas 1	HMCO-MO-MSC-BOL-MBO01-SFC	1	Se Mantiene
21	3221-SEL-002	E-House Molino Bolas 2	HMCO-MO-MSC-BOL-MBO02-SFC	1	Se Mantiene
22	3241-CAJ-003	Cuba Molienda	HMCO-MO-MSC-AMB-CAJ03	1	Se Mantiene
23	3260-SEL-001	Sala Eléctrica Pebbles	HMCO-SP-SUM-DIE-SEL03	1	Se Mantiene
24	3263-CTR-004	Correa Transp. Pebbles alimentación circuito largo Pebbles	HMCO-MO-PBB-ALI-CTR04	1	Nuevo
25	3263-CTR-005	Correa Transportadora Traspaso de Pebbles	HMCO-MO-PBB-ALI-CTR05	1	Nuevo
26	3263-CTR-007	Correa Transportadora Recepción Pebbles Chancado	HMCO-MO-PBB-CHA-CTR07	1	Nuevo
27	3263-CTR-008	Correa Transportadora Pebbles Chancados	HMCO-MO-PBB-DCP-CTR08	1	Nuevo
28	3264-CHC-001	Chancador de Cono N° 1 Tipo MP-800	HMCO-MO-PBB-CHA-CHC01	1	Se Mantiene
29	3264-CHC-002	Chancador de Cono N° 2 Tipo MP-800	HMCO-MO-PBB-CHA-CHC02	1	Se Mantiene
30	3310-SEL-001	Sala Eléctrica Flotación	HMCO-SP-SUM-DIE-SEL04	1	Se Mantiene
31	3311-BBA-001	Bomba de Piso Relaves Flotación Primaria	HMCO-FL-PRG-SAL-BBA01	1	Nuevo
32	3311-BBA-002	Bomba de Piso Alimentación Flotación Primaria	HMCO-FL-PRG-SAL-BBA02	1	Nuevo
33	3311-BOC-007	Bomba Piso	HMCO-SP-SIS-STM-BOC07	1	Nuevo
34	3312-BBA-001	Bomba de Piso Remolienda	HMCO-FL-RCO-REM-BBA01	1	Nuevo
35	3312-BBA-002	Bomba de Piso Flotación	HMCO-FL-PRG-SAL-BBA03	1	Nuevo
36	3312-CFL-001	Flotación Primaria Línea 1 Aire Forzado 6 Celdas	HMCO-FL-PRG-LIU-CFL01	1	Se Mantiene
37	3312-CFL-002	Flotación Primaria Línea 1 Aire Forzado 6 Celdas	HMCO-FL-PRG-LIU-CFL02	1	Se Mantiene
38	3312-CFL-003	Flotación Primaria Línea 1 Aire Forzado 6 Celdas	HMCO-FL-PRG-LIU-CFL03	1	Se Mantiene
39	3312-CFL-004	Flotación Primaria Línea 1 Aire Forzado 6 Celdas	HMCO-FL-PRG-LIU-CFL04	1	Se Mantiene
40	3312-CFL-005	Flotación Primaria Línea 1 Aire Forzado 6 Celdas	HMCO-FL-PRG-LIU-CFL05	1	Se Mantiene
41	3312-CFL-006	Flotación Primaria Línea 1 Aire Forzado 6 Celdas	HMCO-FL-PRG-LIU-CFL06	1	Se Mantiene
42	3312-CFL-007	Flotación Primaria Línea 2 Aire Forzado 6 Celdas	HMCO-FL-PRG-LID-CFL07	1	Se Mantiene
43	3312-CFL-008	Flotación Primaria Línea 2 Aire Forzado 6 Celdas	HMCO-FL-PRG-LID-CFL08	1	Se Mantiene
44	3312-CFL-009	Flotación Primaria Línea 2 Aire Forzado 6 Celdas	HMCO-FL-PRG-LID-CFL09	1	Se Mantiene
45	3312-CFL-010	Flotación Primaria Línea 2 Aire Forzado 6 Celdas	HMCO-FL-PRG-LID-CFL10	1	Se Mantiene
46	3312-CFL-011	Flotación Primaria Línea 2 Aire Forzado 6 Celdas	HMCO-FL-PRG-LID-CFL11	1	Se Mantiene
47	3312-CFL-012	Flotación Primaria Línea 2 Aire Forzado 6 Celdas	HMCO-FL-PRG-LID-CFL12	1	Se Mantiene
48	3320-SEL-001	Sala Eléctrica Remolienda	HMCO-SP-SUM-DIE-SEL05	1	Se Mantiene
49	3321-MVX-001	Molino Vertical Remolienda 1500 HP	HMCO-FL-RCO-REM-MVX01	1	Nuevo
50	3321-MVX-002	Molino Vertical Remolienda 1500 HP	HMCO-FL-RCO-REM-MVX02	1	Nuevo
51	3331-BOC-005	Bombas Concentrado Flotación 1° Limpieza	HMCO-FL-FSL-SAD-BOC05	1	Se Mantiene
52	3331-BOC-006	Bombas Concentrado Flotación 1° Limpieza	HMCO-FL-FSL-SAD-BOC06	1	Se Mantiene
53	3332-BBA-001	Bomba de Piso Flotación 1° Barrido	HMCO-FL-BPL-CEV-BBA01	1	Nuevo

54	3332-BBA-002	Bomba de Piso Flotación 1° Y 2° Limpieza	HMCO-FL-FSL-COL-BBA02	1	Nuevo
55	3332-BBA-003	Bomba Piso 3332-BBA-003	HMCO-FL-BSL-SAD-BBA03	1	Nuevo
56	3345-BOC-001	Bombas Impulsión de Concentrado	HMCO-EP-EPM-SBM-BOC01	1	Se Mantiene
57	3345-BOC-002	Bombas Impulsión de Concentrado	HMCO-EP-EPM-SBM-BOC02	1	Se Mantiene
58	3345-BOC-003	Bombas Impulsión de Concentrado	HMCO-EP-EPM-SBM-BOC03	1	Se Mantiene
59	3345-BOC-004	Bombas Impulsión de Concentrado	HMCO-EP-EPM-SBM-BOC04	1	Se Mantiene
60	3360-SEL-001	Sala Eléctrica Espesamiento Concentrado y Filtrado	HMCO-SP-SUM-DIE-SEL06	1	Se Mantiene
61	3361-AGT-001	Agitador Estanque Alimentación Concentrado	HMCO-PF-FCO-AAC-EST01-SGT-AGT1	1	Se Mantiene
62	3361-BBA-001	Bomba de Piso Área Filtrado	HMCO-PF-FCO-AAC-BBA01	1	Nuevo
63	3361-BOC-001	Bombas Alimentación Filtros Concentrado 1 y 2 con VDF	HMCO-PF-FCO-AAC-BOC01	1	Nuevo
64	3361-BOC-002	Bombas Alimentación Filtros Concentrado 1 y 2 con VDF	HMCO-PF-FCO-AAC-BOC02	1	Nuevo
65	3361-BOC-003	Bombas Alimentación Filtros Concentrado 1 y 2 con VDF	HMCO-PF-FCO-AAC-BOC03	1	Nuevo
66	3361-COM-001	Compresor Prensado 1 3361-Com-001	HMCO-PF-FCO-AIC-COM01	1	Se Mantiene
67	3361-COM-002	Compresor Prensado 2 3361-Com-002	HMCO-PF-FCO-AIC-COM02	1	Se Mantiene
68	3361-COM-003	Compresor Secado 1 3361-Com-003	HMCO-PF-FCO-AIC-COM03	1	Se Mantiene
69	3361-COM-004	Compresor Secado 2 3361-Com-004	HMCO-PF-FCO-AIC-COM04	1	Se Mantiene
70	3361-EST-001	Estanque de Alimentación Concentrado	HMCO-PF-FCO-AAC-EST01	1	Nuevo
71	3361-FTR-001	Filtro prensa 1	HMCO-PF-FCO-SFI-FIL01	1	Se Mantiene
72	3361-FTR-002	Filtro prensa 2	HMCO-PF-FCO-SFI-FIL02	1	Se Mantiene
73	3370-SEL-001	Sala Eléctrica Relaves	HMCO-SP-SUM-DIE-SEL07	1	Se Mantiene
74	3371-BBA-001	Bomba de Piso Relaves	HMCO-EP-ERE-ARC-PSC01-SIP-BBA1	1	Nuevo
75	3371-Caj-001	Cajón distribución a los espesadores relaves	HMCO-EP-ERE-DYE-CAJ01	1	Nuevo
76	3371-ERV-001	Espesador de Relaves 1	HMCO-EP-ERE-DYE-ERV01	1	Se Mantiene
77	3371-ERV-002	Espesador de Relaves 2	HMCO-EP-ERE-DYE-ERV02	1	Se Mantiene
78	3371-SEL-001	Sala Eléctrica Espesador 3 Relaves	HMCO-SP-SUM-DIE-SEL08	1	Nuevo
79	3373-PSU-001	Polymer Slicing Unit (PSU)	HMCO-SP-PRE-FCN-PSU01	1	Se Mantiene
80	3374-BOC-003	Bombas Impulsión Agua Recuperada	HMCO-EP-ERE-ARC-PZO01-SIP-BO03	1	Se Mantiene
81	3374-BOC-004	Bombas Impulsión Agua Recuperada	HMCO-EP-ERE-ARC-PZO01-SIP-BO04	1	Se Mantiene
82	3374-BOC-005	Bombas Impulsión Agua Recuperada	HMCO-EP-ERE-ARC-PZO01-SIP-BO05	1	Se Mantiene
83	3374-BOC-006	Bombas Impulsión Agua Recuperada	HMCO-EP-ERE-ARC-PZO01-SIP-BO06	1	Se Mantiene
84	3374-BOC-007	Bombas Impulsión Agua Recuperada	HMCO-EP-ERE-ARC-PZO01-SIP-BO07	1	Se Mantiene
85	3375-BOC-001	Bombas Alimentación Canaleta de Relaves	HMCO-EP-ERE-SBM-BOC01	1	Se Mantiene
86	3375-BOC-002	Bombas Alimentación Canaleta de Relaves	HMCO-EP-ERE-SBM-BOC02	1	Se Mantiene
87	3375-BOC-003	Bombas Alimentación Canaleta de Relaves	HMCO-EP-ERE-SBM-BOC03	1	Se Mantiene
88	3375-BOC-004	Bombas Alimentación Canaleta de Relaves	HMCO-EP-ERE-SBM-BOC04	1	Se Mantiene
89	3375-BOC-005	Bombas Alimentación Canaleta de Relaves	HMCO-EP-ERE-SBM-BOC05	1	Se Mantiene
90	3375-BOC-006	Bombas Alimentación Canaleta de Relaves	HMCO-EP-ERE-SBM-BOC06	1	Se Mantiene
91	3375-BOC-007	Bombas Alimentación Canaleta de Relaves	HMCO-EP-ERE-SBM-BOC07	1	Se Mantiene
92	3375-BOC-008	Bombas Alimentación Canaleta de Relaves	HMCO-EP-ERE-SBM-BOC08	1	Se Mantiene

93	6941-COM-001	Compresor Aire de Instrumentación	HMCO-SP-SIS-SAI-COM01	1	Se Mantiene
94	6941-COM-002	Compresor Aire de Instrumentación	HMCO-SP-SIS-SAI-COM02	1	Se Mantiene
95	6944-SEC-001	Secador Aire de Instrumentación	HMCO-SP-SIS-SAI-SEC03	1	Se Mantiene
96	6944-SEC-002	Secador Aire de Instrumentación	HMCO-SP-SIS-SAI-SEC02	1	Se Mantiene
97	Línea Relave	Relave ducto	HMCO-EP-ERE-SBM-RLD01	1	Se Mantiene

<p>Mantenimiento E & I Concentradora Nelson Arriagada Cortés Superintendente Elec/Inst e Infraestructura</p> <p>Fecha: 30.06.2026</p> <p>Firma: </p>	<p>Operaciones Concentradora Luis Ardiles Cabrera Superintendente de Operación Concentradora (S)</p> <p>Fecha: 30.06.2026</p> <p>Firma: </p>
<p>Planificación y Confiabilidad Concentradora Ana Sanquea Cisterna Superintendente de Planificación y Confiabilidad (S)</p> <p>Fecha: 25-06-26</p> <p>Firma: </p>	<p>Mantenimiento Mecánico Concentradora Mario Montoya Soto Superintendente Mantenimiento Concentradora</p> <p>Fecha: 30/06/2026</p> <p>Firma: </p>
<p>Confiabilidad Raul San Martin Cortez Jefe de Confiabilidad</p> <p>Fecha: 30-06-2026</p> <p>Firma: </p>	<p>Planificación Carlos Vega Tapia Jefe de Planificación (S)</p> <p>Fecha: 25-06-26.</p> <p>Firma: </p>