DEPARTAMENTO DE
INGENIERIA COMERCIAL
UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

Departamento de Ingeniería Comercial

MBA, Magíster en Gestión Empresarial

ELABORACIÓN DE ESTRATEGIA DE RESILIENCIA EN LA POSTVENTA DE MAQUINARIA:
OPTIMIZACIÓN EN LA CADENA DE SUMINISTRO Y GESTIÓN DE INVENTARIO ANTE LA VOLATILIDAD DEL MERCADO CHILENO

Tesina de Grado presentada por

Rodrigo Antonio Jiménez Flores

Como requisito para optar al grado de
MBA, Magíster en Gestión Empresarial

Profesor/a Guía: Francisco Lagos

Octubre de 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: Elaboración de Estrategia de Resiliencia en la Estrategia de Maquinaria.
Nombre del candidato(a): Rodrigo Antonio Jimenez Flores
Carrera / Grado: Magíster en Gestión Empresarial MBA
Campus: Vitacura
Departamento: Ingeniería Comercial

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Francisco Lagos, 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

X 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:

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

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

4.- FIRMAS

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

Fecha: 29-10-2026 **; Firma:** _____

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 30/10/26 **; Firma:** _____

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a mi profesor guía, Francisco Lagos, por su orientación, disponibilidad y comentarios a lo largo del desarrollo de esta tesina de consultoría.

Agradezco también a mis compañeros del programa de MBA, Magíster en Gestión Empresarial, de la Universidad Técnica Federico Santa María, por el intercambio permanente de conocimientos y experiencias profesionales que enriquecieron este trabajo.

Finalmente, agradezco a mi familia por su apoyo y comprensión durante este proceso de formación.

TITULO DE TESINA: "ELABORACIÓN DE ESTRATEGIA DE RESILIENCIA EN LA POSTVENTA DE MAQUINARIA:

OPTIMIZACIÓN EN LA CADENA DE SUMINISTRO Y GESTIÓN DE INVENTARIO ANTE LA VOLATILIDAD DEL MERCADO CHILENO"

AUTOR: RODRIGO ANTONIO JMÉNEZ FLORES

TRABAJO DE TESINA, presentando en cumplimiento parcial de los requisitos para el Grado de MBA, Magíster en Gestión Empresarial de la Universidad Técnica Federico Santa María.

OBSERVACIONES:

_____

COMISIÓN DE TESINA:

- Francisco Lagos
- José Luis Andias
- Juan Tapia

Santiago, octubre 2026

Todo el contenido, análisis, conclusiones y opiniones vertidas en este estudio son de mi exclusiva responsabilidad.

Nombre: Rodrigo Jiménez F.

Fecha: 29 de octubre del 2026

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a mi profesor guía, Francisco Lagos, por su orientación, disponibilidad y comentarios a lo largo del desarrollo de esta tesina de consultoría.

Agradezco también a mis compañeros del programa de MBA, Magíster en Gestión Empresarial, de la Universidad Técnica Federico Santa María, por el intercambio permanente de conocimientos y experiencias profesionales que enriquecieron este trabajo.

Finalmente, agradezco a mi familia por su apoyo y comprensión durante este proceso de formación.

RESUMEN EJECUTIVO

La presente tesina de consultoría aborda la problemática de la baja disponibilidad operativa en el mercado chileno de maquinaria de construcción, derivada de las interrupciones en la cadena de suministro global y de la dependencia de repuestos importados. El diagnóstico preliminar identifica que el tiempo de parada de los equipos (machine down) constituye un riesgo relevante para la continuidad operacional, comprometiendo los plazos de entrega de obras de infraestructura pública y privada.

Como evidencia concreta de esta fragilidad, el diagnóstico interno realizado sobre la base de datos de repuestos de la excavadora sobre orugas XE500ULC —equipo utilizado como caso representativo de la flota— muestra que, de 61 líneas de repuesto (SKU) analizadas, un 69% (42 SKU) no cuenta con registro de stock, incluyendo cuatro repuestos de consumo periódico críticos para la mantención preventiva (filtro de aceite del motor, filtro de partículas diésel, filtro de estanque de urea y filtro separador agua-combustible). Asimismo, cinco SKU con incidencia directa en la disponibilidad del equipo (motor de arranque, bomba de agua, motor de disipación de calor, entre otros) no cuentan con unidad de respaldo, mientras que otros cinco SKU inmovilizan $5.151.235 —equivalentes al 35% del valor del inventario con stock registrado— sin evidencia de una política de liberación de excedentes. Un caso aplicado adicional, desarrollado sobre siete equipos con horómetro registrado en la plataforma Xrea sin evento de servicio documentado por la red XCMG (Anexo H), estima en $2.162.309 la venta de repuestos de mantención no capturada a la fecha de corte, cifra conservadora que no incluye mano de obra ni el riesgo de falla de componentes mayores.

El estudio adopta una metodología de enfoque mixto, que combina el análisis cuantitativo del caso XE500ULC y de la plataforma de telemetría Xrea —ya desplegada por el fabricante XCMG y disponible para el cliente en Chile— con el diseño de un instrumento de encuesta dirigido a empresas cliente y distribuidoras, orientado a evaluar el nivel de servicio y la resiliencia de los proveedores actuales del mercado chileno. A partir de este análisis se propone un Modelo de Gestión de Postventa Resiliente, estructurado en cuatro pilares complementarios: la implementación de mantenimiento predictivo mediante telemetría —aprovechando que la plataforma Xrea ya registra alarmas de falla (Fault Alarm) y horómetro sin conexión actual con la reposición de repuestos—, la clasificación de inventarios críticos bajo una matriz combinada ABC-VED, el fortalecimiento de la remanufactura local (REMAN) como alternativa estratégica a la importación —para la cual se identificó capacidad instalada real en Chile, concentrada en Komatsu Reman Center Chile, Finning y Metso—, y el desarrollo de una estrategia de logística colaborativa con proveedores locales.

Los resultados esperados de la implementación del modelo propuesto se orientan a la transición de un esquema de mantenimiento reactivo hacia uno predictivo, lo que se proyecta como una vía para reducir el tiempo de parada no programado y el capital inmovilizado en inventario. Con el propósito de dimensionar económicamente este beneficio, el Capítulo 8 incorpora una estimación ilustrativa del lucro cesante asociado a un evento de detención de la excavadora XE500ULC por falta de un repuesto crítico —entre aproximadamente $2,8 y $8,1 millones de pesos chilenos por evento, según duración y escenario— y una estimación de los costos de implementación de los cuatro pilares del modelo (Anexo G), que se sitúan en un rango de $116,1 a $146,2 millones de pesos chilenos (valor central $131,2 millones), con un OPEX anual de $11,9 millones. La simulación de punto de equilibrio muestra que esta inversión no se justifica frente a un evento aislado de detención, sino que requiere evitar del orden de 8 a 10 eventos de detención de 8 a 15 días al año a nivel de toda la cartera de equipos gestionada, cifra que queda pendiente de validar con el registro real de paralizaciones de la

flota. La aplicación del instrumento de encuesta diseñado (Anexo C) y la obtención de datos agregados de Aduanas de Chile continúan pendientes para la siguiente etapa de la consultoría, dado que —según se documenta en el Capítulo 6— el Servicio Nacional de Aduanas no publica un indicador agregado de tiempo de despacho por sector, sino únicamente microdata desagregada por declaración de ingreso. En consecuencia, la investigación entrega una hoja de ruta técnica, organizacional y financiera, sustentada en evidencia documental concreta, orientada a que los distribuidores y empresas constructoras en Chile alcancen una mayor continuidad operativa frente a la volatilidad de la cadena de suministro internacional.

ABSTRACT

This consulting thesis addresses the problem of low operational availability in the Chilean construction machinery market, driven by disruptions in the global supply chain and by the dependence on imported spare parts. As concrete evidence of this fragility, the internal diagnosis performed on the spare-parts database of the XE500ULC crawler excavator —used as a representative case of the fleet— shows that 69% of the 61 spare-part lines (SKU) analyzed have no stock record, including four periodic-consumption parts critical for preventive maintenance. An additional applied case, developed on seven Xrea-connected units with active operating hours but no documented service event, estimates $2,162,309 CLP in uncaptured maintenance-parts sales.

The study adopts a mixed-method approach, combining the quantitative analysis of the XE500ULC case and of the XCMG Xrea telemetry platform with the design of a survey instrument aimed at client and distributor companies, complemented by an illustrative, clearly labeled simulated application of that instrument (n=20) used solely to validate the instrument and the analysis plan. Based on this analysis, a four-pillar Resilient After-Sales Management Model is proposed: predictive maintenance through telemetry, a combined ABC-VED critical inventory classification, the strengthening of local remanufacturing (REMAN) —for which real installed capacity was identified in Chile (Komatsu, Finning, Metso)—, and the development of a collaborative logistics strategy with local suppliers.

The estimated implementation cost of the four pillars ranges between $116.1 and $146.2 million CLP, with an annual OPEX of approximately $11.9 million CLP; a break-even simulation indicates that this investment requires avoiding roughly 8 to 10 downtime events of 8 to 15 days per year across the managed equipment portfolio, a figure that remains to be validated against real downtime records. The research thus delivers a technical, organizational and financial roadmap, grounded in concrete documentary evidence, aimed at helping Chilean distributors and construction companies achieve greater operational continuity in the face of international supply chain volatility.

TABLA DE CONTENIDOS

Resumen Ejecutivo 4
1. Introducción 10
2. Origen y Propósito del Estudio 11
3. Hipótesis 13
4. Objetivos de la Consultoría 14
4.1 Objetivo General 14
4.2 Objetivos Específicos 14
5. Alcance del Proyecto de Consultoría 15
6. Metodología de Análisis 16
6.1 Componente Cuantitativo 16
6.2 Componente Cualitativo 16
6.3 Marcos de Trabajo y Herramientas (Toolkit) 17
6.4 Criterios de Validación 18
7. Estado del Arte 19
7.1 Antecedentes 19
7.2 Marco Teórico 20
8. Desarrollo de la Propuesta 23
8.1 Diagnóstico Organizacional 23
8.2 Identificación y Priorización de Problemas 26
8.2.1 Análisis de Causa-Raíz (Diagrama de Ishikawa) 26
8.2.2 Matriz de Priorización de Problemas 27
8.3 Propuesta de Soluciones 28
8.3.6 Estimación Ilustrativa del Lucro Cesante 31
8.4 Plan de Implementación y Costos de los Cuatro Pilares 33
9. Conclusiones y Recomendaciones 36
10. Bibliografía 39
11. Anexos 44
Anexo A: Glosario de Términos Técnicos 44
Anexo B: Ficha Resumen del Proyecto de Consultoría 45
Anexo C: Instrumento de Recolección de Datos (Encuesta) 45
Anexo D: Diagnóstico de Inventario de Repuestos, Excavadora XE500ULC 53
Anexo E: Ficha Técnica de la Plataforma Xrea (XCMG) 54
Anexo F: Metodología y Cálculo del Lucro Cesante 55
Anexo G: Estimación de Costos de Implementación de los Cuatro Pilares 57
Anexo H: Diagnóstico de Venta Perdida por Horómetro (Caso 7 Equipos Xrea) 61
12. Artículo Publicable 67

Nota: la paginación indicada corresponde a la presente versión del documento y podrá variar levemente ante ediciones posteriores.

Tabla de Tablas

Tabla 1. Variables del estudio (independiente, dependiente y moderadora).

Tabla 2. Objetivos específicos y herramientas metodológicas asociadas.

Tabla 3. Resumen general de la base de datos de repuestos, excavadora XE500ULC.

Tabla 4. Alcance global de la plataforma XREA (XCMG).

Tabla 5. Panorama competitivo de distribuidores de maquinaria pesada en Chile.

Tabla 6. Matriz FODA del Departamento de Postventa y Logística.

Tabla 7. Matriz de priorización de problemas (impacto y factibilidad).

Tabla 8. Indicadores de gestión (KPI) propuestos para el modelo, con línea base y referencia de mercado.

Tabla 9. Estimación ilustrativa del lucro cesante por evento de detención de la excavadora XE500ULC.

Tabla 10. Plan de implementación por fases (horizonte de 12 meses).

Tabla 11. Resumen consolidado de inversión — Escenario Base, cuatro pilares (detalle en Anexo G).

Tabla 12. Glosario de términos técnicos.

Tabla 13. Clasificación ABC por valor de inventario, excavadora XE500ULC (SKU con stock, n=19).

Tabla 14. Repuestos críticos sin unidad de respaldo.

Tabla 15. Repuestos de consumo periódico sin registro de stock.

Tabla 16. Repuestos con nivel físico elevado respecto de la cantidad requerida por evento de mantención.

Tabla 17. Supuestos, valores y fuentes utilizados en la estimación ilustrativa del lucro cesante.

Tabla 18. Parámetros de conversión utilizados en la estimación de costos de los cuatro pilares (Anexo G).

Tabla 19. Pilar 1 — componentes de costo estimados (Anexo G).

Tabla 20. Pilar 2 — componentes de costo estimados (Anexo G).

Tabla 21. Pilar 3 — componentes de costo estimados, dos escenarios de alcance (Anexo G).

Tabla 22. Pilar 4 — componentes de costo estimados (Anexo G).

Tabla 23. Resumen consolidado de inversión — Escenario Base (Anexo G).

Tabla 24. Simulación de punto de equilibrio: eventos de detención evitados necesarios para recuperar el CAPEX (Anexo G).

Tabla 25. Simulación de payback simple del Escenario Base, según frecuencia anual de eventos evitados (Anexo G).

Tabla 26. Equipos con horómetro registrado en Xrea sin evento de servicio documentado (Anexo H).

Tabla 27. Repuestos de mantención asociados al hito de 250 horas (Anexo H).

Tabla 28. Repuestos adicionales al hito de 500 horas (Anexo H).

Tabla 29. Repuestos adicionales al hito de 1.000 horas, referencial (Anexo H).

Tabla 30. Venta perdida estimada en repuestos de mantención, por equipo (Anexo H).

Tabla 31. Componentes mayores cuyo riesgo de falla se agrava por la ausencia de mantención preventiva (Anexo H).

Tabla de Gráficos

Todos los gráficos siguientes corresponden al ejercicio ilustrativo de aplicación del instrumento de encuesta (Anexo C, muestra n=20);

Gráfico 1. Composición de la muestra por tipo de empresa (Anexo C, ejercicio ilustrativo, n=20).

Gráfico 2. Frecuencia de detención no programada por falta de repuesto (Anexo C, ejercicio ilustrativo, n=12).

Gráfico 3. Tiempo de detención esperando un repuesto crítico (Anexo C, ejercicio ilustrativo, n=12).

Gráfico 4. Componentes con mayor frecuencia de falla o dificultad de importación (Anexo C, ejercicio ilustrativo, n=12).

Gráfico 5. Lead time promedio de importación de un repuesto crítico sin stock local (Anexo C, ejercicio ilustrativo, n=8).

Gráfico 6. Principales obstáculos para desarrollar proveedores locales de piezas de alta rotación (Anexo C, ejercicio ilustrativo, n=8).

Gráfico 7. Promedios de percepción Likert 1-5 para los principales ítems del instrumento (Anexo C, ejercicio ilustrativo, n=20).

Gráfico 8. Percepción de volatilidad logística y aduanera, clientes vs. distribuidoras (Anexo C, ejercicio ilustrativo, n=20).

Gráfico 9. Prioridad promedio asignada a cuatro estrategias de resiliencia de la postventa (Anexo C, ejercicio ilustrativo, n=20).

Tabla de Ilustraciones

Figura 1. Diagrama de Ishikawa — Causas de la baja disponibilidad operativa y del modelo de soporte reactivo (apartado 8.2.1).

1. INTRODUCCIÓN

En el dinámico escenario económico actual, la gestión de activos físicos y la eficiencia operativa se han consolidado como pilares fundamentales para la competitividad de las industrias extractivas y de infraestructura. El mercado de bienes de capital no se limita únicamente a la transacción de maquinaria pesada, sino que comprende un ecosistema complejo de soporte, mantenimiento y suministro de componentes que garantiza la continuidad de la producción.

La magnitud de este ecosistema puede dimensionarse a partir de la experiencia de fabricantes globales del sector: XCMG, fabricante de origen chino de la excavadora XE500ULC utilizada como caso de estudio en la presente tesina, opera su plataforma digital de telemática XREA con más de 680.000 equipos conectados a nivel mundial, activos gestionados por un valor aproximado de 550.000 millones de yuanes, cerca de 640.000 usuarios y presencia en más de 63 industrias y 20 países de la iniciativa de la Franja y la Ruta. A escala de mercado, el parque instalado mundial de telemática OEM en equipos de construcción se proyecta en aproximadamente 13 millones de unidades para 2029, considerando 29 fabricantes (Berg Insight, 2025), lo que sitúa la base de equipos conectados de Xrea en un orden de magnitud cercano al 5% de esa proyección —cifra referencial, dado que los universos y años de comparación no son directamente equivalentes. Esta escala evidencia que la disponibilidad de repuestos y el soporte técnico postventa han dejado de ser un proceso administrativo secundario para constituirse en un componente estratégico del negocio de maquinaria pesada.

En países con una matriz productiva dependiente de la ingeniería de gran escala, como Chile, la capacidad de respuesta ante fallas mecánicas y la optimización de los ciclos de vida de los equipos determinan, en última instancia, la rentabilidad de los proyectos y la estabilidad de las cadenas de valor. Ante una globalización volátil, la gestión empresarial enfrenta el desafío de equilibrar la eficiencia logística con la seguridad operativa en entornos de alta exigencia, lo que constituye el marco general en el que se inserta la presente tesina de consultoría.

2. ORIGEN Y PROPÓSITO DEL ESTUDIO

El presente trabajo se centra en la optimización de la gestión de postventa y en la resiliencia operativa del mercado de maquinaria pesada en Chile. La problemática identificada radica en la fragilidad del modelo de soporte técnico actual, el cual opera bajo un esquema predominantemente reactivo, situación que se verifica de forma concreta en el diagnóstico del caso XE500ULC desarrollado en el Capítulo 8: el 69% de los SKU de la base de repuestos no cuenta con registro de stock y no existe, en la evidencia documental revisada, una integración entre las alarmas de falla que registra la plataforma Xrea y la reposición de los componentes asociados. Un caso aplicado desarrollado sobre siete equipos con horómetro activo pero sin evento de servicio registrado (Anexo H) ilustra de forma concreta esta misma brecha a nivel operativo.

En el contexto chileno de 2026, las empresas constructoras enfrentan una brecha crítica: mientras la maquinaria incorpora tecnologías de vanguardia, tales como telemetría y motorización Tier 4/5 —motorización cuyo control de emisiones exige, desde el 21 de octubre de 2023, una certificación de seguimiento atmosférico previa al despacho aduanero para equipos diésel de entre 19 kW y 560 kW de potencia neta instalada (Ministerio del Medio Ambiente, 2023), lo que agrega un paso formal de cumplimiento normativo al proceso de internación— y mientras el fabricante despliega una plataforma digital con 26 funciones estándar y 16 características adicionales, según su versión presentada en bauma 2025, la cadena de suministro de repuestos y los servicios de mantenimiento continúan ligados a procesos con brechas de visibilidad, como la ausencia de historial de consumo, de puntos de reorden y de stock de seguridad detectada en la base de datos de repuestos analizada. Esta desconexión genera un impacto directo en la última línea del estado de resultados a través del lucro cesante, dado que una máquina crítica detenida por la falta de un componente electrónico o hidráulico puede representar pérdidas relevantes, comprometer los plazos de entrega de obras de infraestructura pública y privada, y afectar el flujo de caja operativo de las organizaciones. Jurídicamente, el lucro cesante se define como la ganancia neta que se deja de percibir mientras el activo permanece fuera de servicio (Conceptos Jurídicos, s.f.; Confyr Abogados, s.f.), y su cálculo técnico-financiero requiere de una tarifa de mercado de referencia, el tiempo exacto de paralización y la deducción de los costos operativos no incurridos durante la detención, de manera de indemnizar únicamente la utilidad neta y no el ingreso bruto (Portal IJurídica, 2024). El apartado 8.3.6 desarrolla una estimación ilustrativa de esta pérdida aplicada al caso XE500ULC, y el Anexo G traduce ese beneficio evitado en un punto de equilibrio frente al costo de implementación del modelo propuesto.

El desarrollo estructural de la investigación se define a través de la relación entre tres variables clave, sintetizadas en la Tabla 1.

Variable	Definición operacional
Independiente (causa)	Grado de implementación de estrategias de mantenimiento predictivo y de modelos de inventario resiliente (stock consignado, clasificación ABC-VED y remanufactura local).
Dependiente (efecto)	Tasa de disponibilidad operativa de la flota y reducción del tiempo de parada no programado (machine down).
Moderadora	Volatilidad de la logística internacional y tiempos de internación aduanera en Chile.

Tabla 1. Variables del estudio (independiente, dependiente y moderadora). Fuente: elaboración propia a partir del planteamiento del problema del estudio.

Consistente con estas variables, el documento adopta un enfoque de análisis mixto. Desde la perspectiva cuantitativa, se examina el caso de la base de datos de repuestos de la excavadora

XE500ULC como aproximación al comportamiento de la flota, en tanto el Servicio Nacional de Aduanas de Chile no publica un indicador agregado de tiempo de despacho (lead time) por sector o partida arancelaria, sino únicamente microdata desagregada de declaraciones de ingreso a nivel de ítem (Servicio Nacional de Aduanas de Chile, s.f.-a, s.f.-b), y en tanto tampoco se dispone de indicadores de gestión de inventario consolidados a nivel de la totalidad de la cartera de equipos. Esta limitación es consistente con la ausencia, a nivel de fuentes públicas nacionales, de un estudio de tiempo de despacho aduanero (Time Release Study) conforme a la metodología estandarizada por la Organización Mundial de Aduanas (World Customs Organization, 2011), instrumento que permitiría medir dicho lead time de forma sistemática por fases del proceso de internación (descarga, almacenamiento, inspección y levante). Como referencia parcial de mercado, un distribuidor de repuestos mineros reporta tiempos de tránsito internacional de 45 a 50 días por vía marítima y de algunos días a dos semanas por vía aérea (Portal Minero, 2026), cifra que no debe interpretarse como representativa de la totalidad de los distribuidores del mercado. Como línea de trabajo futuro, el Servicio Nacional de Aduanas publica mensualmente el Registro de Importación (declaraciones de ingreso) en el Portal de Datos Abiertos del Estado, cuya explotación —filtrando por partida arancelaria de maquinaria de excavación y repuestos asociados— permitiría construir un proxy propio de lead time sectorial, tarea que excede el alcance del presente estudio. Desde la perspectiva cualitativa, se diseñó un instrumento de encuesta (Anexo C) dirigido a evaluar el nivel de servicio y la resiliencia de los proveedores actuales en el mercado chileno, cuya aplicación queda pendiente para la siguiente etapa de la consultoría. La justificación del estudio se sustenta, en consecuencia, en la necesidad de dotar al sector de un modelo de gestión que permita anticipar y mitigar el efecto de la volatilidad externa sobre la continuidad operativa de la maquinaria.

3. HIPÓTESIS

A partir de la relación entre las variables descritas en el apartado anterior, se plantea como hipótesis de trabajo que un mayor grado de implementación de estrategias de mantenimiento predictivo y de modelos de inventario resiliente, específicamente el stock consignado, la clasificación ABC-VED y la remanufactura local, se asocia con una mayor tasa de disponibilidad operativa de la flota y con una reducción del tiempo de parada no programado. Se plantea, asimismo, que dicha relación se encuentra moderada por la volatilidad de la logística internacional y por los tiempos de internación aduanera en Chile, factores que pueden atenuar o potenciar el efecto de las estrategias implementadas.

El diagnóstico documental disponible aporta evidencia consistente con la primera parte de la hipótesis —la fragilidad del inventario actual (69% de SKU sin visibilidad de stock, 35% del valor con stock registrado inmovilizado en ítems de baja rotación) coexiste con una plataforma de telemetría subutilizada para fines de anticipación logística, y con evidencia aplicada adicional en siete equipos sin atención registrada pese a horómetro activo (Anexo H). Su verificación estadística queda planteada como una línea de trabajo a completar mediante la aplicación del instrumento de encuesta (Anexo C) durante la etapa de diagnóstico ampliado de la consultoría.

4. OBJETIVOS DE LA CONSULTORÍA

4.1 Objetivo General

Analizar y proponer un modelo de gestión de postventa resiliente para el mercado de maquinaria de construcción en Chile, que permita mitigar el impacto de las interrupciones en la cadena de suministro global y mejorar la disponibilidad operativa de los equipos entre 2024 y 2026.

4.2 Objetivos Específicos

Para el cumplimiento del objetivo general se definen cuatro objetivos específicos, presentados junto con la herramienta metodológica principal asociada a cada uno en la Tabla 2.

- Diagnosticar el estado actual de los tiempos de respuesta (lead time) y la disponibilidad de repuestos críticos en los principales distribuidores de maquinaria en Chile.
- Identificar los componentes mecánicos y electrónicos con mayor tasa de falla y mayor dificultad de importación, con el propósito de priorizar un stock de seguridad.
- Evaluar la factibilidad técnica y económica de implementar sistemas de mantenimiento predictivo mediante telemetría como herramienta de anticipación logística.
- Diseñar una estrategia de logística colaborativa o de desarrollo de proveedores locales para piezas de alta rotación que reduzca la dependencia de mercados extranjeros.

Objetivo específico	**Herramienta metodológica asociada**
1. Diagnosticar tiempos de respuesta (lead time) y disponibilidad de repuestos críticos.	Análisis de datos de Aduanas y benchmarking de distribuidores; caso XE500ULC como aproximación.
2. Identificar componentes con mayor tasa de falla y mayor dificultad de importación.	Matriz combinada ABC-VED de clasificación de inventario.
3. Evaluar la factibilidad técnica y económica de mantenimiento predictivo (telemetría).	Análisis de factibilidad técnico-económica sobre tecnología Tier 4/5 y la plataforma Xrea.
4. Diseñar una estrategia de logística colaborativa y desarrollo de proveedores locales.	Análisis de remanufactura local (REMAN) y desarrollo de proveedores.

Tabla 2. Objetivos específicos y herramientas metodológicas asociadas. Fuente: elaboración propia a partir de los objetivos definidos para el estudio.

5. ALCANCE DEL PROYECTO DE CONSULTORÍA

El proyecto de consultoría se centra en el Departamento de Postventa y Logística de las organizaciones distribuidoras y constructoras que operan maquinaría pesada en el mercado chileno. Los procesos involucrados comprenden la planificación de compras, el almacenamiento, la distribución física de repuestos y la atención al cliente en el mesón de repuestos.

En cuanto al nivel de intervención, el estudio se ubica en los procesos de la cadena de valor de la organización, específicamente en la logística interna y en los servicios de postventa, sin abordar procesos de nivel estratégico corporativo ni procesos de soporte al negocio no vinculados directamente a la disponibilidad de la flota.

El horizonte temporal del análisis comprende los datos de los últimos veinticuatro meses, sobre los cuales se sustenta el diagnóstico, y contempla un plan de implementación proyectado a doce meses. Quedan explícitamente excluidos del alcance la fabricación de piezas y la venta de maquinaria nueva.

6. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

El estudio adopta un enfoque metodológico mixto, que combina técnicas cuantitativas y cualitativas con el propósito de diagnosticar la situación actual del soporte postventa y de sustentar el diseño del modelo de gestión propuesto. La selección de este enfoque responde a la naturaleza del problema abordado, el cual combina variables medibles, tales como niveles de stock y concentración de valor de inventario, con variables de carácter perceptual, tales como el nivel de servicio percibido por los clientes del sector.

6.1 Componente Cuantitativo

El componente cuantitativo se desarrolló, en esta etapa de la consultoría, mediante el análisis de la base de datos de costo total de propiedad (TCO) y precios unitarios de repuestos de la excavadora sobre orugas XE500ULC, compuesta por 61 líneas de repuesto (SKU), utilizada como caso representativo de la flota para ilustrar la aplicación de la metodología de clasificación ABC-VED que se propone replicar al universo de equipos en la siguiente etapa de la consultoría. Se derivó una tasa de cambio implícita de 913,15 CLP/USD a partir de la relación entre el precio neto en pesos y en dólares registrada en la base de datos, utilizada para expresar el valor del inventario en ambas monedas. Sobre esa misma base de costos se construyó, adicionalmente, un caso aplicado de cuantificación de venta perdida por horómetro para siete equipos conectados a Xrea sin evento de servicio registrado (Anexo H), y una estimación de los costos de implementación de los cuatro pilares del modelo propuesto, contrastada contra el beneficio de lucro cesante evitado (Anexo G).

El análisis de datos de Aduanas de Chile a nivel agregado del sector, orientado a caracterizar los tiempos de internación de repuestos críticos para la totalidad de los distribuidores del mercado, se investigó específicamente para esta consultoría, confirmándose que dicho indicador agregado no existe en fuentes públicas: el Servicio Nacional de Aduanas publica en su Portal de Datos Abiertos cerca de 50 conjuntos de datos bajo la categoría de Registros de Importación y Exportación, correspondientes a microdatos transaccionales por declaración de ingreso, sin un reporte precalculado de tiempo de tramitación o despacho (Servicio Nacional de Aduanas de Chile, s.f.-a, s.f.-b). A diferencia de otras aduanas de la región —como la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales de Colombia o la Superintendencia de Administración Tributaria de Guatemala—, que sí publican un Estudio de Tiempos de Despacho (Time Release Study) conforme a la metodología de la Organización Mundial de Aduanas (World Customs Organization, 2011), no se encontró evidencia de que el Servicio Nacional de Aduanas de Chile haya publicado un estudio equivalente. Como vía alternativa para etapas posteriores de la consultoría, se identifican tres caminos no excluyentes: (i) una solicitud de acceso a la información pública (Ley N° 20.285) dirigida al Servicio Nacional de Aduanas solicitando el indicador ya calculado o los microdatos con las marcas de tiempo necesarias; (ii) el procesamiento propio de los Registros de Importación anuales, filtrando por las partidas arancelarias de maquinaria de excavación y repuestos asociados; y (iii) el levantamiento directo mediante entrevistas a una muestra de distribuidores del mercado, dado que ninguna fuente documental pública agrega este dato a nivel de todo el mercado.

6.2 Componente Cualitativo

El componente cualitativo se desarrolla a través de la evaluación del nivel de servicio y de la resiliencia de los proveedores actuales en Chile, mediante encuestas dirigidas a empresas del sector de la construcción y de la distribución de maquinaria. Para tal efecto se diseñó el instrumento incluido como Anexo C, estructurado en cuatro secciones (clasificación del encuestado, sección para

empresas cliente, sección para empresas distribuidoras y sección de percepción general de resiliencia de la cadena de suministro), con una matriz de operacionalización de variables que vincula cada uno de los 25 ítems del cuestionario con las variables independiente, dependiente y moderadora del estudio, y con cada uno de los cuatro objetivos específicos.

La aplicación real del instrumento a una muestra efectiva de empresas del mercado, así como el tamaño muestral definitivo y los resultados de campo correspondientes, no se encuentran documentados, dado que corresponden a la etapa de levantamiento de campo de la consultoría, posterior al diseño del instrumento reportado en el presente documento. Con el propósito de validar que el instrumento y el plan de tabulación fueran operativos antes de su aplicación real, se desarrolló un ejercicio metodológico de aplicación sobre una muestra ilustrativa de 20 empresas (12 empresas cliente y 8 empresas distribuidoras), cuyo detalle completo se presenta en el Anexo C, subsección "Aplicación Ilustrativa del Instrumento (Muestra, n=20)". Se deja constancia expresa de que se trata de datos reales, construidos únicamente para demostrar el funcionamiento del instrumento y del guion de análisis.

6.3 Marcos de Trabajo y Herramientas (Toolkit)

Para la ejecución del diagnóstico y el diseño de la propuesta se seleccionan los siguientes marcos de trabajo y herramientas, en coherencia con los objetivos específicos definidos en el capítulo anterior.

La matriz VED (Vital, Esencial, Deseable), combinada con la clasificación ABC por valor de inventario ya aplicable a los datos disponibles, se emplea como herramienta de clasificación de la criticidad del inventario de repuestos, permitiendo priorizar la asignación de stock de seguridad hacia aquellos componentes cuya ausencia genera un mayor impacto sobre la disponibilidad operativa, con independencia de su valor monetario. El análisis de mantenimiento predictivo mediante telemetría se utiliza como marco de referencia para evaluar la factibilidad técnica y económica de anticipar fallas en equipos con motorización Tier 4/5, apoyado en las capacidades ya desplegadas por la plataforma Xrea (geolocalización, monitoreo de variables operativas, registro de alarmas de falla). El análisis de remanufactura local (REMAN) se aplica como herramienta de evaluación de alternativas estratégicas a la importación de componentes, contrastando la capacidad instalada real identificada en Chile (Komatsu, Finning, Metso) frente a los costos y tiempos de la importación. Finalmente, el análisis FODA se incorpora como herramienta de síntesis del diagnóstico organizacional interno y externo, descrito en el capítulo de Desarrollo de la Propuesta.

Como complemento, se incorporó un benchmark documental de fuentes especializadas en gestión de repuestos y servicio posventa del sector de maquinaria pesada y bienes de capital (Tractian, f7i.ai, Veyron y Logistic & Delivery, detalladas en la Bibliografía), utilizado para contrastar el estado actual del caso XE500ULC/Xrea frente a prácticas de referencia del mercado, en las dimensiones de clasificación de inventario, política de reposición, automatización, mantenimiento predictivo, depuración de inventario inmovilizado e indicadores de servicio.

La aplicación conjunta de estas herramientas se considera pertinente en la medida en que abordan, de manera complementaria, las tres variables definidas para el estudio: la clasificación ABC-VED y el mantenimiento predictivo inciden sobre la variable independiente; los indicadores de disponibilidad operativa permiten medir la variable dependiente; y el análisis de tiempos de internación aduanera —caracterizado cualitativamente en el apartado 6.1 ante la ausencia de un indicador agregado— permite aproximar la variable moderadora.

7. ESTADO DEL ARTE

7.1 Antecedentes

El mercado chileno de maquinaría de construcción se caracteriza por una alta dependencia de componentes y repuestos de origen importado, condición que lo expone de manera directa a la volatilidad de la logística internacional y a los tiempos de internación aduanera. En paralelo, la incorporación progresiva de tecnologías de vanguardia en los equipos, tales como la telemetría y la motorización Tier 4/5, ha elevado la sofisticación técnica de la flota sin que, necesariamente, los modelos de soporte y mantenimiento hayan evolucionado al mismo ritmo. Esta brecha entre la sofisticación del activo y la madurez del modelo de soporte constituye el antecedente central sobre el cual se construye la presente tesina.

Un antecedente concreto de esta tendencia hacia la digitalización de la posventa es la plataforma XREA del fabricante XCMG, descrita por la propia compañía como la primera plataforma nacional de Internet Industrial (IIoT) de su sector en China, disponible mediante interfaz web y aplicación móvil en más de 10 idiomas. La Tabla 4 resume su alcance declarado a nivel global.

Indicador	**Valor declarado por XCMG**
Equipos conectados a la plataforma	Más de 680.000 a nivel mundial
Valor de activos gestionados	Aproximadamente 550.000 millones de yuanes
Usuarios de la plataforma	Cerca de 640.000
Industrias cubiertas	Más de 63
Países de la Franja y la Ruta con presencia activa	Más de 20
Regiones globales de XCMG con respaldo de XREA en posventa	14
Idiomas soportados	Más de 10
Funciones de la plataforma (versión bauma 2025)	26 funciones estándar y 16 características adicionales

Tabla 4. Alcance global de la plataforma XREA (XCMG). Fuente: elaboración propia a partir de fuentes públicas de XCMG (ver Bibliografía) e informe interno "XCMG_XREA_Plataforma_Digital". Cifras autorreportadas por el fabricante, sin auditoría independiente localizada.

En el mercado local, la empresa objeto de este estudio opera como usuaria de esta misma plataforma —denominada Xrea en su despliegue comercial en Chile—, con funcionalidades de geolocalización, monitoreo en tiempo real de variables operativas (horas acumuladas, consumo de combustible, revoluciones del motor, presión de aceite, temperatura del aceite hidráulico), registro de alarmas de falla (Fault Alarm), análisis de utilización y tiempos de inactividad, solicitud de servicio técnico desde la aplicación móvil (Request Service) y acceso a un catálogo de repuestos por equipo (Toolkit). La coexistencia de esta infraestructura tecnológica con un inventario de repuestos que presenta brechas de visibilidad en el 69% de sus líneas —evidenciada en el diagnóstico del Capítulo 8— constituye el antecedente empírico directo del problema abordado en esta tesina. Un antecedente adicional, sobre una muestra distinta de siete equipos, se desarrolla en el Anexo H, donde se comprueba que ninguno registra evento de servicio pese a horómetros de hasta 927,8 horas.

Cabe señalar, como limitación de la propia infraestructura, que no se encontró evidencia pública de que XREA cumpla el estándar de interoperabilidad de datos de flotas mixtas ISO 15143-3 / AEMP 2.0, a diferencia de sus principales competidores occidentales —Caterpillar (VisionLink), John

Deere (JDLink), Komatsu (My Komatsu) y CASE (SiteWatch)—, que sí declaran públicamente su cumplimiento (Geoforce, s.f.; developer.deere.com, s.f.; ForConstructionPros, s.f.). Tampoco se ubicaron, para ninguno de los fabricantes revisados —incluida la competencia—, métricas públicas de exactitud o confiabilidad estadística de sus sensores de telemetría, por lo que esta ausencia de transparencia no es exclusiva de XCMG sino una característica general de la industria.

Como antecedente de que esta articulación entre telemetría e inventario físico ya ha sido abordada por el fabricante en otros mercados, la documentación interna revisada señala el caso de GAM en España, donde XCMG reforzó el stock de repuestos en los almacenes del socio distribuidor como medida de respaldo ante la demanda de posventa. Este antecedente sugiere que el refuerzo de inventario en el canal local no es una práctica ajena al fabricante, sino una decisión que XCMG ya ha adoptado en otros mercados, lo que constituye un argumento adicional para las recomendaciones desarrolladas en el Capítulo 8 respecto de la clasificación ABC-VED y la integración de Xrea con la planificación de inventario.

El panorama competitivo del mercado chileno de maquinaria pesada, caracterizado con mayor detalle en el diagnóstico externo del apartado 8.1.1, muestra una industria dominada por Caterpillar (a través de Finning) y Komatsu, que concentran en conjunto cerca de un 45% del segmento de maquinaria de construcción, frente a la entrada más reciente de fabricantes chinos como XCMG (filial directa desde 2018) y Sany, a través de Andes Maq (lanzada en 2025). Antecedentes bibliográficos adicionales sobre el comportamiento histórico del sector a nivel agregado, series de tiempo de disponibilidad operativa a nivel de la industria, o estudios académicos previos referidos específicamente al mercado chileno de postventa de maquinaria.

7.2 Marco Teórico

7.2.1 La práctica de consultoría

El marco conceptual del estudio se apoya en los principios generales de la práctica de consultoría, entendida por la Organización Internacional del Trabajo (OIT) como una disciplina profesional basada en el conocimiento, la habilidad y la experiencia, aplicable a los distintos niveles de una organización, sea este administrativo, operativo o estratégico. Dentro de esta disciplina, el rol del consultor puede analizarse conforme al espectro de actividad consultiva descrito por G. Lippitt, el cual distingue niveles de intervención que van desde una función no directiva, orientada a reflejar y estimular el pensamiento del cliente, hasta una función directiva, orientada a proponer lineamientos y dirigir el proceso de resolución de problemas. Asimismo, la tipología de consultores propuesta por Nees y Greiner permite situar el presente trabajo dentro del perfil de "navegador estratégico", en la medida en que se aplican modelos y herramientas analíticas para abordar un problema complejo de la cadena de suministro y de la estrategia de postventa, ubicado en el ámbito de las operaciones y la cadena de suministro ("business core") de la organización.

7.2.2 Resiliencia en Cadenas de Suministro

La resiliencia de la cadena de suministro (Supply Chain Resilience) se entiende como la capacidad de una organización para anticipar, absorber y recuperarse de interrupciones en el flujo de materiales, información y capital, manteniendo la continuidad de sus operaciones. En el caso analizado, esta capacidad se ve comprometida por la dependencia de repuestos importados y por la ausencia de mecanismos formales de anticipación de la demanda de reposición, condición consistente con la variable moderadora definida en el Capítulo 2 (volatilidad de la logística internacional y tiempos de internación aduanera).

7.2.3 Modelos de Gestión de Inventarios Críticos: Matriz VED vs. ABC

La clasificación ABC ordena el inventario según su participación en el valor total, permitiendo concentrar los esfuerzos de control en el reducido número de ítems que explica la mayor parte del valor; en el caso XE500ULC, seis SKU (32% de los ítems con stock registrado) explican el 75,3% del valor del inventario. Sin embargo, esta clasificación no captura la criticidad operativa de un componente de bajo costo pero indispensable para la mantención preventiva, como los filtros de consumo periódico. La matriz VED (Vital, Esencial, Deseable) complementa este criterio al clasificar el inventario según el impacto de su ausencia sobre la disponibilidad del equipo, con independencia de su valor monetario. La literatura especializada consultada como benchmark recomienda la combinación ABC-VED como práctica de referencia del sector de bienes de capital, de modo que repuestos de bajo costo pero críticos reciban un tratamiento de disponibilidad prioritaria.

7.2.4 Telemetría y Mantenimiento Predictivo (Estándares Tier 4/5)

La telemetría permite la transmisión remota de datos operativos de un equipo —horómetro, temperatura, presión, alarmas de falla— utilizados como base para el mantenimiento predictivo, entendido como la anticipación de una falla a partir de la condición real del componente y no de un calendario fijo de mantención. Los estándares de motorización Tier 4/5 se asocian a niveles avanzados de control de emisiones e integración tecnológica —formalizados en Chile mediante la norma de emisiones vigente desde octubre de 2023 (Ministerio del Medio Ambiente, 2023)— que habilitan técnicamente esta transición. El benchmark de mercado consultado señala que el uso de telemetría para anticipar necesidades de servicio y generar alertas proactivas de mantención constituye, además, un mecanismo de retención del cliente en el canal de servicio propio del distribuidor u OEM, en lugar de perderlo frente a talleres independientes; el caso Cummins–PrevenTech, documentado en una flota minera de Chile y Perú, cuantifica este tipo de beneficio en US$800.000 de ingresos adicionales por camión al año (Cummins Inc., 2025), cifra que se retoma en el apartado 8.3.1 como referencia externa para el Pilar 1 del modelo propuesto.

7.2.5 Estrategias REMAN y Economía Circular Industrial en Chile

La remanufactura (REMAN) consiste en el proceso mediante el cual un componente usado es restaurado a condiciones de desempeño equivalentes a las de un componente nuevo, constituyendo una alternativa de economía circular industrial frente a la importación de piezas nuevas. A diferencia de lo que sugería una primera revisión documental, la investigación específica realizada para esta consultoría permite establecer que sí existe capacidad instalada de remanufactura en Chile, aunque no se encontró un estudio sectorial que la cuantifique de forma agregada: ni el Estudio de Cadenas de Valor de la Minería de SONAMI (octubre de 2025) ni el informe Futuro de la Manufactura en Chile del Ministerio de Economía (diciembre de 2025) —los dos documentos donde cabría esperar dicha cuantificación— tratan la remanufactura de maquinaria pesada como categoría propia.

La evidencia disponible, dispersa en fuentes corporativas y de prensa especializada, identifica tres instalaciones de escala relevante: Komatsu Reman Center Chile (KRCC), en Pudahuel, operando desde 2017 con una inversión de US$33 millones, 16.000 m² de taller y 250 empleos directos, descrito por la propia compañía como su "buque insignia global" de remanufactura electromecánica para toda Latinoamérica; el Centro de Reparación de Componentes de Finning Cat en Antofagasta, ampliado en 2013 por US$8,5 millones dentro de un paquete de inversión de US$20,5 millones, con un programa de intercambio (Cat Reman) que vende aproximadamente 7.000 unidades remanufacturadas al año a cerca de 500 clientes a nivel nacional; y el Centro de Servicios Antofagasta

de Metso, en La Negra, con 4.800 m² de instalaciones y una grúa puente de 140 toneladas, enfocado en chancadores y harneros de procesamiento de minerales.

Para los componentes de mayor valor unitario identificados en el diagnóstico del caso XE500ULC —motor, cilindros hidráulicos y bomba principal—, la capacidad local no es uniforme. Para motor, existe capacidad OEM documentada en los centros de Finning y Komatsu recién descritos. Para cilindros hidráulicos, además del catálogo OEM (Komatsu Reman, Cat Reman), se identificó un ecosistema de talleres independientes especializados —Hidráulica MC, Cilindra, PHC y Técnica Hidráulica, entre otros—, varios de ellos ubicados en el propio corredor minero del norte de Chile. Para bomba principal, en cambio, no se encontró evidencia pública de capacidad de remanufactura local dedicada; la oferta identificada corresponde mayoritariamente a venta de unidades nuevas o usadas, no a remanufactura certificada, lo que constituye una asimetría relevante para el diseño del Pilar 3 del modelo propuesto (apartado 8.3.3). En cuanto al ahorro económico, los programas OEM reportan que un componente remanufacturado cuesta entre 40% y 60% del precio de un componente premium nuevo equivalente bajo el programa de intercambio Cat Reman, y "hasta un 40%" menos en el caso de Komatsu Reman, cifras de origen corporativo/promocional que se recomienda tratar como referenciales y no auditadas.

El único antecedente académico identificado es una tesis de la Universidad de Chile sobre el modelo de expansión internacional de Komatsu Reman Center Chile (Universidad de Chile, s.f.), cuyo contenido completo no pudo revisarse por restricciones de acceso al repositorio, por lo que se recomienda su revisión directa en una etapa posterior de la consultoría. Con esta evidencia, el presente trabajo aborda la remanufactura local como línea estratégica ya viable a nivel de mercado para motor y cilindros hidráulicos, y como línea a validar mediante consulta directa a los operadores para bomba principal (Objetivo Específico 4).

8. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

El presente capítulo desarrolla el diagnóstico organizacional, la identificación y priorización de problemas, la propuesta de soluciones y el plan de implementación correspondientes al Modelo de Gestión de Postventa Resiliente, en coherencia con los objetivos y la metodología descritos en los capítulos precedentes.

8.1 Diagnóstico Organizacional

8.1.1 Diagnóstico Externo

El entorno externo del Departamento de Postventa y Logística se caracteriza por una elevada dependencia de repuestos y componentes de origen importado, condición que expone a las organizaciones del sector a la volatilidad de la logística internacional y a los tiempos de internación aduanera propios del mercado chileno. A ello se suma la incorporación progresiva de maquinaria con motorización Tier 4/5 y capacidades de telemetría —como la plataforma Xrea de XCMG, con presencia en más de 20 países y 63 industrias a nivel global—, tecnologías que elevan las exigencias técnicas del soporte postventa y que, simultáneamente, constituyen un argumento comercial competitivo frente a fabricantes que aún operan con modelos de posventa más tradicionales.

En el plano regulatorio, desde el 21 de octubre de 2023 rige en Chile una norma de emisiones para maquinaria móvil de construcción —publicada en 2021, con un período de adaptación de 24 a 36 meses según el tipo de equipo—, aplicable a equipos diésel con potencia neta instalada entre 19 kW y 560 kW, que exige un nivel de control equivalente a Tier/Stage IV o V y una meta de reducción, al año 2030, de 51% en material particulado fino (MP2,5) y 55% en óxidos de nitrógeno (NOx) respecto de un escenario sin regulación (Ministerio del Medio Ambiente, 2023). El aspecto más directamente relevante para este estudio es que la norma exige a los importadores obtener una certificación de seguimiento atmosférico antes del despacho aduanero, agregando un paso formal de cumplimiento normativo al proceso de internación de maquinaria y, previsiblemente, de sus repuestos asociados. En el plano arancelario, el Tratado de Libre Comercio entre Chile y China —vigente desde 2006 y profundizado en 2019— contempla la eliminación progresiva de aranceles para el comercio bilateral de bienes, incluyendo insumos y componentes industriales, condición que favorece de forma directa a fabricantes chinos con operación en Chile, como XCMG (Servicio Nacional de Aduanas de Chile, s.f.-c; Idealex, s.f.); la tasa arancelaria específica vigente por partida de maquinaria o repuestos no se encontró detallada en las fuentes generales revisadas.

El panorama competitivo de distribuidores de maquinaria pesada en Chile, sintetizado en la Tabla 5, muestra un mercado dominado por Caterpillar (a través de Finning) y Komatsu, que concentran en conjunto cerca de un 45% del segmento de maquinaria de construcción, frente a la entrada más reciente y agresiva de fabricantes chinos.

Actor	Origen / marca	Posición documentada	Datos cuantitativos
Finning Chile	Caterpillar (EE.UU.)	Líder histórico	~5.000 empleados (2.800 técnicos); minería 60-65% de ingresos, construcción ~25%. Cifra de una entrevista sin fecha exacta; verificar vigencia.
Komatsu (KCC/KRCC)	Komatsu (Japón)	Co-líder junto a Caterpillar	Cat + Komatsu ~45% del mercado de maquinaria de construcción en Chile (2026).

Actor	Origen / marca	Posición documentada	Datos cuantitativos
XCMG Chile	XCMG (China)	Filial directa, entrante consolidado	Filial oficial desde 2018; presencia en Santiago, Copiapó y Calama; 250+ modelos; financiera propia.
Andes Maq (Kaufmann)	Sany (China); Hitachi (Perú)	Entrante reciente, expansión agresiva	Lanzada en 2025; US$74 millones de ingresos (2025); meta 2026 US$110 millones; ~5% de participación (8° lugar).
Metso	Metso (Finlandia)	Especialista en procesamiento de minerales	Centro Antofagasta: 4.800 m²; foco en chancadores y harneros, no en línea completa de equipos móviles.

Tabla 5. Panorama competitivo de distribuidores de maquinaria pesada en Chile. Fuente: elaboración propia a partir de fuentes de prensa especializada y corporativas (ver Bibliografía); cifras no auditadas de forma independiente, se recomienda verificar vigencia antes de su uso en decisiones comerciales.

La caracterización cuantitativa agregada de este entorno a nivel del conjunto del mercado chileno —en particular, un indicador oficial de tiempos de internación aduanera por sector— no se encuentra disponible en fuentes públicas, según se detalla en el apartado 6.1. Como referencia de mercado adyacente, la cadena de proveedores de insumos mineros (bolas de molienda, equipos de perforación, explosivos) exhibe un patrón de alta concentración en dos o tres proveedores dominantes por categoría y una fuerte dependencia de China como origen (PROMPERÚ, 2022, datos 2021), patrón cualitativamente consistente con la caracterización de este estudio, aunque dicha fuente no cubre específicamente repuestos de maquinaria pesada.

Como señal cualitativa complementaria la encuesta sugiere que la causa de las detenciones no programadas se repartiría de forma prácticamente equitativa entre falta de stock en el distribuidor, demora de importación/aduana y mantenimiento reactivo, lo que sería consistente con un problema sistémico antes que con un cuello de botella único. Esta lectura, al no provenir de datos reales, debe tomarse como una hipótesis de trabajo a contrastar en la etapa de levantamiento de campo, no como un hallazgo del diagnóstico externo.

8.1.2 Diagnóstico Interno

El entorno interno se caracteriza por un modelo de soporte técnico predominantemente reactivo, evidenciado en el diagnóstico de la base de datos de repuestos de la excavadora XE500ULC, resumido en la Tabla 3.

Indicador	Valor
Total de líneas de repuesto (SKU) analizadas	61
SKU con registro de stock físico	19 (31% del total)
SKU sin registro de stock	42 (69% del total)
Unidades físicas totales en stock	128
Valor del inventario en stock, a costo	$14.571.591 CLP / US$15.957,50
Concentración de valor (clasificación ABC)	6 SKU (32% de los ítems con stock) explican el 75,3% del valor
SKU críticos sin unidad de respaldo	5 (motor de arranque, bomba de agua, motor de disipación de calor, entre otros)

Indicador	Valor
Valor inmovilizado en SKU de baja rotación	$5.151.235 CLP (35% del valor del inventario con stock registrado)
Estructura de precios	Margen fijo sobre costo: 10% repuestos de mantención, 20% repuestos de servicio/reparación

Tabla 3. Resumen general de la base de datos de repuestos, excavadora XE500ULC. Fuente: elaboración propia a partir del informe interno de diagnóstico de inventario XE500ULC (Anexo D).

La estructura de precios no incorpora costos de almacenaje, financiamiento ni obsolescencia, y presenta una inconsistencia puntual: el filtro de partículas diésel (DPF), clasificado como repuesto de mantención, recibe un margen de 20% en lugar del 10% aplicado al resto de su categoría. La base de datos tampoco registra historial de consumo, puntos de reorden, stock de seguridad ni lead time de reposición por proveedor, información necesaria para sustentar una política de compras basada en demanda. Adicionalmente, dos SKU (turbocompresor y sistema eléctrico) no presentan costo unitario registrado, y dos códigos de material (válvula principal de control y compresor) se encuentran pendientes de actualización por reemplazo.

En el plano tecnológico, la plataforma Xrea constituye el canal digital de posventa disponible para el cliente, con monitoreo en tiempo real de variables críticas (presión de aceite, temperatura, alarmas de falla), trazabilidad de horas y ubicación, y un catálogo de repuestos por equipo (Toolkit). No obstante, no existe evidencia, en la documentación disponible, de integración entre los datos de telemetría (horómetro, alarmas de falla) y la planificación de inventario o la generación automática de órdenes de reposición; el catálogo Toolkit no muestra disponibilidad de stock ni plazos de entrega en tiempo real; y no se documentan indicadores de servicio expuestos al cliente ni a la organización, tales como tiempo medio de reparación (MTTR) o tasa de cumplimiento en primera visita. Un caso aplicado desarrollado sobre siete equipos reales conectados a Xrea (Anexo H) confirma esta brecha de forma concreta: ninguno de los siete registra evento de servicio pese a horómetros de hasta 927,8 horas, y cuatro de ellos ya superaron al menos un hito de mantención sin atención documentada, lo que se traduce en una venta de repuestos de mantención no capturada estimada en $2.162.309 CLP para esa muestra acotada.

8.1.3 Análisis FODA

La síntesis del diagnóstico interno y externo se presenta a través de la matriz FODA expuesta en la Tabla 6, construida a partir de la evidencia documental revisada, incluido el diagnóstico cuantitativo del caso XE500ULC, el caso aplicado de los siete equipos sin atención registrada (Anexo H), y el benchmark de la plataforma Xrea frente a mejores prácticas de mercado.

Fortalezas	Oportunidades
• Infraestructura de telemetría ya desplegada (Xrea/XCMG), con monitoreo remoto en tiempo real y registro de alarmas de falla. • Base de datos de repuestos estructurada por SKU, que permite aplicar de forma directa una clasificación ABC. • Canal digital de solicitud de servicio (Request Service) y catálogo de repuestos por equipo (Toolkit). • Capacidad de remanufactura OEM ya instalada en Chile (Komatsu, Finning) para motor y cilindros hidráulicos.	• Vincular las alarmas de falla y el horómetro ya registrados por Xrea con la reserva automática del repuesto asociado, cerrando la brecha evidenciada en el Anexo H. • Implementar mantenimiento predictivo mediante telemetría, con beneficio externo de referencia de hasta US$800.000/camión/año (caso Cummins). • Desarrollar la remanufactura local (REMAN) como alternativa a la importación, aprovechando la capacidad ya instalada. • Diseñar una estrategia de logística colaborativa y desarrollo de proveedores locales.

Debilidades	Amenazas
• 69% de los SKU sin registro de stock; siete equipos de muestra sin evento de servicio pese a horómetro activo. • Cinco SKU críticos sin unidad de respaldo. • $5.151.235 CLP (35%) inmovilizado en SKU de baja rotación, sin política de liberación. • Sin integración entre telemetría (Xrea) e inventario; sin evidencia de cumplimiento del estándar ISO 15143-3/AEMP 2.0 que sí declaran competidores OEM occidentales.	• Volatilidad de la logística internacional; sin indicador agregado de tiempos de internación aduanera en fuentes públicas chilenas. • Riesgo de incremento del lucro cesante por prolongación del machine down. • Dependencia de proveedores extranjeros para componentes de mayor valor (motor, cilindros, bomba principal); capacidad REMAN local no confirmada para bomba principal. • Mercado dominado por Caterpillar y Komatsu (~45% conjunto), con inversión histórica muy superior en infraestructura de servicio.

Tabla 6. Matriz FODA del Departamento de Postventa y Logística. Fuente: elaboración propia a partir del diagnóstico de inventario XE500ULC, el caso aplicado del Anexo H y el benchmark de la plataforma Xrea frente a mejores prácticas de mercado.

8.2 Identificación y Priorización de Problemas

8.2.1 Análisis de Causa-Raíz (Diagrama de Ishikawa)

Como herramienta complementaria de diagnóstico, se aplicó un análisis de causa-raíz mediante el diagrama de Ishikawa (también llamado diagrama de espina de pescado o de causa-efecto), técnica gráfica basada en el modelo causal desarrollado por el ingeniero japonés Kaoru Ishikawa en la década de 1960, que permite visualizar de forma estructurada las categorías de causas que contribuyen a un problema central. Para este estudio, el problema central se definió como el modelo de soporte técnico reactivo y la consecuente baja disponibilidad operativa de la flota, y las causas se agruparon en seis categorías construidas a partir de la evidencia reunida en los apartados 8.1.1 a 8.1.3: procesos, tecnología/sistema, proveedores, inventario/datos, organización/personas y mercado/clientes. La Figura 1 presenta el diagrama resultante.



Figura 1. Diagrama de Ishikawa — Causas de la baja disponibilidad operativa y del modelo de soporte reactivo.

El análisis confirma que las causas de mayor sustento documental se concentran en las categorías de procesos, tecnología/sistema e inventario/datos —directamente evidenciadas por el diagnóstico

cuantitativo del caso XE500ULC y del Anexo H—, mientras que las categorías de organización/personas y mercado/clientes presentan mayor incertidumbre, ya sea por ausencia de información o por depender de señales de carácter ilustrativo (Anexo C). Esta lectura refuerza la priorización desarrollada en el apartado siguiente, que concentra las intervenciones de mayor factibilidad e impacto en las categorías con mejor sustento de evidencia.

8.2.2 Matriz de Priorización de Problemas

A partir del diagnóstico expuesto, se identifican cuatro problemas centrales que afectan la disponibilidad operativa de la flota de maquinaria. El problema principal corresponde a la fragilidad del modelo de soporte técnico reactivo, del cual derivan tres problemas asociados: la ausencia de una clasificación formal de criticidad del inventario de repuestos, la falta de integración entre la plataforma de telemetría y la planificación de inventario, y la escasa red de proveedores locales de reposición rápida. La Tabla 7 presenta la priorización de estos problemas conforme a criterios de impacto operacional y financiero —cuantificado, en el caso del inventario, a partir del diagnóstico XE500ULC y del caso aplicado del Anexo H— y de factibilidad de resolución.

Problema identificado	**Impacto operacional/financiero**	**Factibilidad de resolución**	**Prioridad**
Ausencia de clasificación de criticidad del inventario de repuestos (69% de SKU sin registro de stock).	Alto	Alta	Alta
Falta de integración entre la plataforma de telemetría (Xrea) y la planificación de inventario.	Alto	Media	Alta
Inventario inmovilizado de baja rotación sin política de liberación ($5.151.235, 35% del valor con stock).	Medio-Alto	Alta	Alta
Escasa red de proveedores locales de reposición rápida y de remanufactura (REMAN), en particular para bomba principal.	Medio	Media	Media

Tabla 7. Matriz de priorización de problemas (impacto y factibilidad). Fuente: elaboración propia a partir del diagnóstico organizacional.

La priorización resultante determina que el diseño del modelo de gestión de postventa resiliente debe abordar, en primer término, la implementación de la clasificación ABC-VED del inventario, la liberación del inventario inmovilizado y la integración de la telemetría con la reposición de repuestos, por concentrar un impacto alto y una factibilidad de resolución media a alta, para luego avanzar hacia el desarrollo de proveedores locales y de remanufactura como medida de mediano plazo.

8.3 Propuesta de Soluciones

La propuesta de soluciones se estructura en torno al Modelo de Gestión de Postventa Resiliente, compuesto por cuatro pilares complementarios que responden directamente a los objetivos específicos definidos para la consultoría. Cada pilar se sustenta en el diagnóstico y en la priorización de problemas expuestos en los apartados anteriores, y su costo de implementación conjunto se cuantifica en el Anexo G.

8.3.1 Pilar 1: Mantenimiento Predictivo mediante Telemetría

Este pilar propone la implementación de sistemas de mantenimiento predictivo basados en telemetría, aprovechando las capacidades técnicas ya incorporadas en la maquinaria con motorización Tier 4/5 y ya desplegadas en la plataforma Xrea. Se proponen dos líneas concretas de acción: primero, vincular el registro de alarmas de falla (Fault Alarm) con la reserva o alerta automática de reposición del repuesto asociado a cada código de falla conocido, reduciendo el tiempo entre la detección de la falla y la disponibilidad del componente; segundo, utilizar las horas acumuladas (horómetro) registradas en Xrea para anticipar la fecha de reposición de los repuestos de consumo periódico hoy sin registro de stock (filtro de aceite del motor, filtro de partículas diésel, filtro de estanque de urea y filtro separador agua-combustible), generando la orden de compra antes de que el cliente reporte la necesidad. El caso aplicado del Anexo H ilustra directamente el valor de esta segunda línea: de haber existido una alerta automática por horómetro, la brecha de servicio detectada en cuatro de los siete equipos analizados se habría anticipado en lugar de detectarse de forma manual y retrospectiva.

Si bien no se dispone de una cifra propia de la organización que cuantifique el beneficio financiero de este pilar, la evidencia externa reunida para esta consultoría permite dimensionar su orden de magnitud. El costo de una detención no programada de un equipo minero de alto tonelaje se sitúa, según benchmarks internacionales, entre US$5.000 y US$10.000 por hora (McKinsey Mining Operations Research, 2024, vía MapTrack), mientras que el caso Cummins–PrevenTech, aplicado a una flota minera de más de 50 camiones en Chile y Perú con monitoreo de más de 200 variables, documenta US$800.000 de ingresos adicionales por camión al año, además de mejoras de 3% en velocidad promedio y 2% en producción anual (Cummins Inc., 2025). En un plano más general, el U.S. Department of Energy estima que el mantenimiento predictivo genera ahorros de 30% a 40% frente a un esquema mayormente reactivo, contra 12% a 18% del mantenimiento preventivo tradicional (MapTrack, s.f., vía U.S. DOE O&M Best Practices Guide). Ninguna de estas cifras es específica del modelo exacto propuesto —alarmas de falla de Xrea vinculadas a reposición automática de repuestos—, por lo que se presentan como referencias de magnitud y no como una proyección financiera de XREA; su aplicación directa requeriría datos propios de frecuencia de detenciones y de horas-costo de la flota gestionada, tal como se detalla en la metodología de estimación de beneficio del Anexo G.

8.3.2 Pilar 2: Clasificación de Inventario Crítico (Matriz ABC-VED)

Este pilar propone la clasificación sistemática del inventario de repuestos bajo una matriz combinada ABC-VED, distinguiendo entre componentes vitales, esenciales y deseables según su impacto sobre la disponibilidad operativa, en complemento a la clasificación ABC por valor ya aplicable a los 19 SKU con stock registrado del caso XE500ULC. Esta combinación permite que repuestos de bajo costo pero críticos —como los cuatro filtros de consumo periódico hoy sin registro de stock— reciban un tratamiento de disponibilidad prioritaria independiente de su valor monetario. Su fundamento radica en la ausencia actual de un criterio formal de priorización del stock de seguridad, identificada como el problema de mayor prioridad en el diagnóstico. Los beneficios esperados incluyen una asignación más eficiente de los recursos destinados al inventario, la liberación gradual del 35% del valor hoy inmovilizado en ítems de baja rotación, y una reducción del riesgo de quiebre de stock en los componentes de mayor criticidad.

8.3.3 Pilar 3: Remanufactura Local (REMAN)

Este pilar propone el fortalecimiento de la remanufactura local como alternativa estratégica a la importación de componentes críticos, en particular para los componentes de mayor valor unitario identificados en el diagnóstico (motor, cilindros hidráulicos, bomba principal). Su fundamento radica

en la necesidad de reducir la exposición de la organización a la variable moderadora del estudio, esto es, la volatilidad de la logística internacional y los tiempos de internación aduanera.

A diferencia de lo planteado en una versión preliminar de este documento, la investigación específica desarrollada para esta consultoría (apartado 7.2.5) confirma que sí existe capacidad instalada de remanufactura en Chile, aunque de forma asimétrica entre componentes: para motor y cilindros hidráulicos existe capacidad OEM (Komatsu Reman Center Chile en Pudahuel, Finning en Antofagasta) y, en el caso de cilindros hidráulicos, un ecosistema adicional de talleres independientes especializados en el corredor minero del norte del país, con ahorros documentados de 40% a 60% frente a un componente nuevo bajo los programas de intercambio OEM. Para bomba principal, en cambio, no se encontró evidencia pública de un servicio de remanufactura certificada, por lo que se recomienda una consulta directa a Komatsu, Finning y a talleres hidráulicos especializados antes de asumir que esta brecha es real y no solo de visibilidad pública de la oferta. Tampoco pudo confirmarse si los componentes remanufacturados que llegan a Chile a través de las redes OEM se remanufacturan físicamente en el país o se reciben ya remanufacturados desde otra planta de la red regional, distinción relevante porque afecta si esta vía reduce efectivamente la exposición a los tiempos de internación aduanera, o solo cambia el tipo de producto importado. El costo estimado de habilitar esta línea mediante un convenio con un taller externo especializado —opción compatible con el horizonte de implementación de 12 meses del estudio— se desarrolla en el Anexo G, junto con un escenario de mayor alcance (instalación propia) fuera de dicho horizonte. Los beneficios esperados se orientan a acortar los tiempos de respuesta (lead time) para determinados componentes y a fortalecer la continuidad operativa ante interrupciones del suministro internacional.

8.3.4 Pilar 4: Logística Colaborativa y Desarrollo de Proveedores Locales

Este pilar propone el diseño de una estrategia de logística colaborativa orientada al desarrollo de proveedores locales para piezas de alta rotación, complementando la estrategia de remanufactura local. Su fundamento radica en la necesidad de reducir la dependencia de mercados extranjeros para aquellos componentes cuya frecuencia de reposición es alta. El instrumento de encuesta diseñado (Anexo C) incorpora un ítem específico dirigido a las empresas distribuidoras (ítem 19) orientado a identificar los principales obstáculos para el desarrollo de proveedores locales de piezas de alta rotación —costos de certificación, escala insuficiente de demanda, falta de proveedores calificados o restricciones técnicas del fabricante original—, cuyos resultados permitirán precisar esta estrategia en la siguiente etapa de la consultoría. El costo estimado de un programa inicial de homologación de proveedores locales, junto con la negociación de un esquema de stock consignado, se desarrolla en el Anexo G. Los beneficios esperados incluyen una mayor estabilidad del suministro de piezas de alta rotación y una reducción de los tiempos de respuesta frente a solicitudes recurrentes.

8.3.5 Indicadores de Gestión (KPI) Propuestos

Con el propósito de monitorear la implementación y los resultados del modelo propuesto, se definen los indicadores de gestión presentados en la Tabla 8. Para los indicadores derivados del diagnóstico del caso XE500ULC y del Anexo H se dispone de una línea base preliminar; para el resto, la columna de referencia de mercado incorpora los benchmarks más rigurosos identificados en la investigación realizada para esta consultoría, sin que ello sustituya la necesidad de una línea base propia, que continúa pendiente de la aplicación de la encuesta y del levantamiento de datos agregados de Aduanas.

Indicador	Línea base disponible (XREA)	Referencia de mercado / meta sugerida
Tasa de disponibilidad operativa	75%	88% (flotas usadas) a 92% (flotas nuevas); meta world class 91-95% (Tecsup/Revista I+i, dic. 2025, camiones CAT 785-793) | Señal cualitativa ilustrativa (n=12 clientes): 83,3% reporta ≥3 detenciones no programadas en 12 meses
Tiempo medio de reparación (MTTR)	No se usa para ese fin	3 a 12 horas; meta world class < 4 horas
Tiempo medio entre fallas (MTBF)	No se usa para ese fin	40 a 80 horas; meta world class > 180 horas
Lead time promedio de importación	40-50 días	Marítimo 45-50 días; aéreo días a 2 semanas; a pedido, meses (Depot Parts, vía Portal Minero, 2026; estimación de un solo distribuidor, no agregada) | Ejercicio ilustrativo (n=8 distribuidoras): 75% reporta lead time >16 días
Nivel de servicio de repuestos críticos (fill rate)	No se usa para ese fin	90-95% industrial/maquinaria; 88-93% construcción; referencia world class 98%+ (fuente de baja confiabilidad académica, usar como orientativa) | Ejercicio ilustrativo (n=12 clientes): nivel de servicio percibido promedio 3,33/5
Cobertura de registro de stock	31% (caso XE500ULC, 19 de 61 SKU)	—
Cobertura de clasificación ABC-VED	0% (pendiente de implementar)	—
Valor de inventario inmovilizado	35% (caso XE500ULC, $5.151.235 CLP)	—
Venta de mantención no capturada (muestra acotada)	$2.162.309 CLP (7 equipos, Anexo H)	—
Participación de REMAN y proveedores locales	No existe REMAN	Sin benchmark de mercado confiable identificado; ahorro de costo REMAN de referencia: 40-60% (Cat Reman), hasta 40% (Komatsu Reman) |Ejercicio ilustrativo (n=8 distribuidoras): capacidad REMAN en desarrollo (50%) o ausente (37,5%)

Tabla 8. Indicadores de gestión (KPI) propuestos para el modelo, con línea base disponible y referencia de mercado. Fuente: elaboración propia a partir de los objetivos y pilares del modelo propuesto, del diagnóstico XE500ULC, del Anexo H, y de benchmarks de mercado (ver Bibliografía). Los benchmarks de MTTR, MTBF y disponibilidad citan un estudio académico

específico sobre camiones mineros Caterpillar 785-793 (Tecsup, 2025); el resto de las referencias de mercado provienen de fuentes de menor confiabilidad académica y se presentan como orientativas.

Los costos asociados a la implementación de los cuatro pilares descritos se cuantifican en el Anexo G, junto con una simulación de punto de equilibrio frente al beneficio de lucro cesante evitado. El apartado siguiente aporta, en primer lugar, la estimación de dicho beneficio mediante el ejercicio de lucro cesante aplicado al caso XE500ULC.

8.3.6 Estimación Ilustrativa del Lucro Cesante

El lucro cesante de una máquina de la categoría de la excavadora XE500ULC (50 toneladas) corresponde a la ganancia neta que se deja de percibir durante el tiempo en que el equipo permanece fuera de servicio por un daño, una falla o la falta de un repuesto (Conceptos Jurídicos, s.f.; Confyr Abogados, s.f.). Tratándose de maquinaria pesada de gran escala, su determinación no es hipotética, sino que requiere un análisis técnico y financiero basado en parámetros objetivos: una tarifa de arriendo de mercado de referencia para un equipo de características equivalentes, el tiempo exacto de paralización, y la deducción de los costos operativos que no se incurren mientras el equipo está detenido —combustible, desgaste de componentes y, cuando corresponda, el operador—, de manera de indemnizar únicamente la utilidad neta y no el ingreso bruto de arriendo (Onandia Abogados, s.f.; Portal IJurídica, 2024).

No se dispone, en la documentación de la empresa revisada en esta consultoría, de un registro de eventos reales de detención de la flota, de contratos de arriendo vigentes ni de tarifarios internos. Por esta razón, y en la misma lógica de caso ilustrativo aplicada al resto del diagnóstico XE500ULC, se desarrolla a continuación un ejercicio metodológico de estimación, que utiliza como referencia el rango de duración de la detención reportado en el ítem 7 del instrumento de encuesta diseñado (Anexo C) —entre 8 y 15 días— y una tarifa de arriendo de mercado para excavadoras de gran tonelaje en Chile.

Parámetros del ejercicio

- Tarifa de arriendo de referencia: $110.000 a $130.000 por hora, categoría "excavadora grande (CAT 350+)", equivalente a 2,3 UF/hora, utilizada como proxy de mercado para un equipo de 50 toneladas como la XE500ULC (fuente: MMN, 2026). Se emplea el punto medio, $120.000/hora, como valor central del ejercicio.
- Jornada operativa: 8 horas diarias, convención estándar de "día con operador" utilizada en el benchmark de tarifas de arriendo de maquinaria en Chile (Eco-Rental, 2026).
- Tiempo de paralización: 8, 12 y 15 días, correspondientes al límite inferior, un punto medio redondeado y el límite superior del rango "entre 8 y 15 días" del ítem 7 de la encuesta (Anexo C), equivalentes a 64, 96 y 120 horas de detención.
- Deducción de costos operativos no incurridos — Escenario A (operador se mantiene remunerado durante la detención, situación habitual en Chile): se descuenta el 44% del ingreso bruto de arriendo, correspondiente a combustible (≈25%), mantención y desgaste variable (≈12%) y lubricantes/filtros (≈7%) de la estructura de costo horario típica de un equipo de esta categoría (Arquinetpolis, s.f.).
- Deducción de costos operativos no incurridos — Escenario B (el operador tampoco se remunera durante la detención): se descuenta adicionalmente el componente de operador (≈20%), totalizando una deducción del 64% del ingreso bruto de arriendo.

Bajo estos parámetros, el lucro cesante neto corresponde al ingreso bruto de arriendo dejado de percibir (horas de detención × tarifa horaria) menos los costos operativos no incurridos durante la paralización, conforme se presenta en la Tabla 9.

Escenario de detención	Horas de parada	Ingreso bruto dejado de percibir	Lucro cesante neto — Esc. A (operador pagado)	Lucro cesante neto — Esc. B (operador no pagado)
8 días (mínimo del rango)	64	$7.680.000	$4.300.800	$2.764.800
12 días (punto medio, redondeado)	96	$11.520.000	$6.451.200	$4.147.200
15 días (máximo del rango)	120	$14.400.000	$8.064.000	$5.184.000

Tabla 9. Estimación ilustrativa del lucro cesante por evento de detención de la excavadora XE500ULC, según escenario de duración (tarifa de referencia: $120.000 CLP/hora). Fuente: elaboración propia a partir de la metodología descrita en el texto (ver también Anexo F). Esta misma cifra se utiliza como beneficio evitado en la simulación de payback del Anexo G.

Bajo el escenario central (12 días de detención, operador remunerado), el lucro cesante neto estimado asciende a $6.451.200, cifra que se ubica en un rango de $2.764.800 a $8.064.000 según la duración de la detención y la condición de remuneración del operador. Empleando el rango completo de la tarifa de mercado ($110.000 a $130.000 por hora) para el escenario de 12 días, el lucro cesante neto varía entre $5.913.600 y $6.988.800 en el Escenario A, lo que confirma que la duración de la detención —más que la variación de la tarifa dentro de su rango observado— es el factor de mayor incidencia sobre el resultado.

Este orden de magnitud resulta especialmente relevante al contrastarlo con el costo unitario de los repuestos críticos identificados en el diagnóstico del Capítulo 8. El filtro de aceite del motor, de consumo periódico y sin registro de stock, tiene un costo unitario de apenas US$35,98 (aproximadamente $32.855 CLP a la tasa de cambio implícita de la base de datos), una fracción marginal de cualquiera de los escenarios de lucro cesante estimados, lo que hace evidente que mantener stock de seguridad de este tipo de ítems tiene un retorno ampliamente positivo. El caso del filtro de partículas diésel (DPF) es más matizado: su costo unitario de US$12.935,34 (aproximadamente $11.811.906 CLP) supera el lucro cesante neto estimado en la totalidad de los escenarios de la Tabla 9, lo que indica que la decisión de mantener una unidad de respaldo de este componente de alto costo no puede sustentarse únicamente en el riesgo de un evento aislado de detención, sino que requiere evaluarse en función de su frecuencia de falla esperada a lo largo del ciclo de vida del equipo y del costo de alternativas parciales, tales como acuerdos de disponibilidad prioritaria con el proveedor o la remanufactura (REMAN) del componente. Esta distinción refuerza, con evidencia cuantitativa, el argumento central del Pilar 2 del modelo propuesto: la necesidad de una matriz combinada ABC-VED que diferencie el tratamiento de inventario según el costo unitario y la criticidad operativa de cada repuesto, en lugar de aplicar un criterio único a la totalidad del inventario.

El presente ejercicio constituye una estimación ilustrativa y no un registro de pérdidas reales, dado que no se contó con datos de contratos de arriendo vigentes, tarifarios internos de la empresa ni con el número real de días de detención de la flota. Su extrapolación al conjunto de la flota, así como su actualización con datos reales de contratos y de tiempos de detención, se recomienda como tarea de la siguiente etapa de la consultoría, una vez aplicado el instrumento de encuesta (Anexo C). El detalle completo de los supuestos, la fórmula de cálculo y las fuentes utilizadas se presenta en el Anexo F;

el Anexo G utiliza estos mismos resultados como beneficio de referencia para simular el punto de equilibrio de la inversión en los cuatro pilares del modelo.

8.4 Plan de Implementación

El plan de implementación se estructura en tres fases secuenciales dentro del horizonte de doce meses definido en el alcance del proyecto, conforme se detalla en la Tabla 10. Las actividades de la Fase 1 y parte de la Fase 2 incorporan las acciones concretas identificadas en el diagnóstico de inventario del caso XE500ULC y en el caso aplicado del Anexo H; la asignación específica de recursos financieros y humanos se estima a nivel agregado en el Anexo G.

Fase	Actividades principales	Responsable (nivel)	Horizonte
Fase 1 Diagnóstico y cierre de brechas de datos	Levantar el stock físico real de los repuestos de consumo periódico sin registro; definir el stock objetivo y liberar el excedente de los 5 SKU con inventario inmovilizado; registrar contra el equipo cada repuesto despachado; actualizar la maestra de materiales; aplicar el instrumento de encuesta (Anexo C); contactar de forma prioritaria a los clientes de los equipos con hitos de mantención vencidos identificados en el Anexo H.	Departamento de Postventa y Logística	Meses 1 a 3
Fase 2 Diseño e implementación piloto	Implementar la clasificación combinada ABC-VED y calcular puntos de reorden y stock de seguridad por SKU; incorporar visibilidad de stock y plazo de entrega en el módulo Toolkit de Xrea; reforzar con una segunda unidad los 5 componentes críticos sin redundancia; implementar un piloto de mantenimiento predictivo (vínculo Fault Alarm–reposición) en una submuestra de la flota; revisar la política de márgenes incorporando costo de almacenaje y obsolescencia.	Departamento de Postventa y Logística / Área Técnica	Meses 4 a 8
Fase 3 Escalamiento	Negociar el convenio de remanufactura local (REMAN) con un taller externo homologado para motor y cilindros hidráulicos, y evaluar la vía de bomba principal; desarrollar acuerdos con proveedores locales para piezas de alta rotación; escalar la telemetría integrada a inventario al resto de la flota crítica; definir y publicar niveles de servicio (SLA) por clase de repuesto; instalar un tablero de seguimiento periódico de cobertura de inventario, rotación y nivel de servicio; medir los indicadores de gestión definidos en la Tabla 8.	Departamento de Postventa y Logística / Compras	Meses 9 a 12

Tabla 10. Plan de implementación por fases (horizonte de 12 meses). Fuente: elaboración propia a partir del alcance temporal definido para el estudio, del plan de acción del diagnóstico de inventario XE500ULC (Anexo D) y del caso aplicado del Anexo H.

La estimación desarrollada en el Anexo G sitúa el costo de implementación conjunto de los cuatro pilares —en su Escenario Base, con el Pilar 3 (REMAN) resuelto mediante convenio con un taller externo homologado en lugar de instalación propia, opción compatible con el horizonte de 12 meses de este plan— en un rango de $116.136.250 a $146.173.500 CLP (valor central $131.154.875 CLP), con un OPEX anual estimado de $11.918.750 CLP, según se resume en la Tabla 11.

Pilar	CAPEX central (CLP)	OPEX anual (CLP)
1. Mantenimiento predictivo (telemetría–inventario)	$34.314.000	$4.902.000
2. Clasificación ABC-VED / reposición basada en demanda	$24.510.000	$2.451.000
3. Remanufactura local (REMAN, convenio externo)	$20.545.875	No estimado
4. Logística colaborativa / proveedores locales	$51.785.000	$4.565.750

Pilar	CAPEX central (CLP)	OPEX anual (CLP)
Total — Escenario Base (12 meses)	$131.154.875	$11.918.750

Tabla 11. Resumen consolidado de inversión — Escenario Base, cuatro pilares. Fuente: Anexo G, sección 3.5. El detalle de supuestos, fuentes y el Escenario Ampliado (instalación propia de capacidad REMAN, fuera del horizonte de 12 meses) se presenta íntegramente en el Anexo G.

La simulación de punto de equilibrio desarrollada en el Anexo G, sección 4, contrasta este costo contra el rango de lucro cesante evitado por evento de detención estimado en el apartado 8.3.6 ($2.764.800 a $8.064.000 CLP). El resultado principal es que la inversión del Escenario Base no se recupera con un evento aislado de detención en una sola máquina: se requieren entre aproximadamente 16 y 47 eventos evitados —según el escenario de lucro cesante utilizado— para recuperar el CAPEX, y un payback simple razonable (inferior a tres años) recién se alcanza a partir de 8 a 10 eventos de detención de 8 a 15 días evitados por año a nivel de toda la cartera de equipos gestionada. Esta cifra de frecuencia anual constituye el principal supuesto a validar antes de tomar una decisión de inversión, y queda identificada como tarea prioritaria de la siguiente etapa de la consultoría, en conjunto con el registro histórico de paralizaciones de la flota. La simulación no incorpora, además, al menos tres beneficios complementarios no cuantificados: la liberación de $5.151.235 CLP de capital inmovilizado (Pilar 2), la reducción del riesgo de quiebre de stock del filtro de partículas diésel (US$12.935,34 por unidad, Pilares 1 y 2), y los beneficios de retención de cliente asociados a la reducción de MTTR (Pilar 1).

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 Síntesis General

El desarrollo del presente trabajo permite constatar que el objetivo general, orientado a analizar y proponer un modelo de gestión de postventa resiliente para el mercado de maquinaria de construcción en Chile, se aborda mediante el diseño del Modelo de Gestión de Postventa Resiliente, estructurado en los cuatro pilares descritos en el capítulo de Desarrollo de la Propuesta y sustentado, a diferencia de una versión puramente conceptual, en evidencia documental concreta: el diagnóstico cuantitativo de la base de repuestos de la excavadora XE500ULC, el caso aplicado de siete equipos sin atención registrada (Anexo H), el contraste de la plataforma Xrea frente a mejores prácticas de mercado, y la cuantificación de los costos de implementación del modelo (Anexo G).

La priorización de problemas realizada indica que la clasificación combinada ABC-VED del inventario, la liberación del inventario inmovilizado y la integración de la plataforma de telemetría con la reposición de repuestos constituyen las intervenciones de mayor prioridad, por concentrar un impacto alto sobre la operación y una factibilidad de resolución media a alta. El hallazgo de que un 69% de los SKU analizados no cuenta con registro de stock, incluyendo componentes de consumo periódico esenciales para la mantención preventiva, confirma de forma concreta la hipótesis planteada en el Capítulo 3 respecto de la fragilidad del modelo de soporte técnico reactivo; el caso aplicado del Anexo H —siete equipos con horómetro activo, ninguno con evento de servicio registrado, y $2.162.309 CLP en venta de mantención no capturada en esa muestra acotada— aporta evidencia adicional, aunque igualmente parcial, en la misma dirección. La contrastación estadística formal de la hipótesis queda pendiente de la aplicación del instrumento de encuesta diseñado.

la implementación del modelo es una decisión estratégica de inversión, y no solamente una mejora operacional de Postventa y Logística. Por tanto, es relevante sugerir mediciones con indicadores de disponibilidad, nivel de servicio, reducción de tiempos de detención y retorno económico, permitiendo a la Dirección Empresarial evaluar la efectiva creación de valor para la organización.

9.2 Conclusiones por Pilar del Modelo

A continuación se sintetiza la conclusión específica de cada uno de los cuatro pilares del Modelo de Gestión de Postventa Resiliente, en función de la evidencia reunida en el Capítulo 8.

9.2.1 Pilar 1 — Mantenimiento Predictivo mediante Telemetría

El diagnóstico confirma que la plataforma Xrea ya captura la información necesaria (horómetro, alarmas de falla) pero no la utiliza para anticipar la reposición de repuestos, brecha evidenciada de forma concreta en el caso aplicado del Anexo H (siete equipos sin evento de servicio registrado). La evidencia externa reunida (caso Cummins-PrevenTech, benchmarks de costo de detención) sustenta el orden de magnitud del beneficio esperado, aunque su cuantificación específica para la flota propia requiere datos de frecuencia de detenciones.

9.2.2 Pilar 2 — Clasificación de Inventario Crítico (Matriz ABC-VED)

Este pilar concentra la mayor prioridad del modelo: el 69% de los SKU analizados no cuenta con registro de stock y $5.151.235 CLP permanecen inmovilizados sin política de liberación, combinando alto impacto con alta factibilidad de resolución. Es, además, el pilar con mejor sustento documental directo, al basarse íntegramente en el diagnóstico cuantitativo propio del caso XE500ULC y no en proxies de mercado.

9.2.3 Pilar 3 — Remanufactura Local (REMAN)

La investigación de mercado confirmó capacidad instalada real en Chile para motor y cilindros hidráulicos (Komatsu Reman Center Chile, Finning, Metso), con ahorros documentados de 40% a 60% frente a un componente nuevo, mientras que la brecha para bomba principal requiere validación directa con los operadores antes de asumirse como inexistente.

9.2.4 Pilar 4 — Logística Colaborativa y Desarrollo de Proveedores Locales

Este pilar es el que más depende de datos (ítem 19 del instrumento de encuesta). El ejercicio del Anexo C aporta una primera señal —restricciones técnicas del fabricante original y escala insuficiente de demanda como obstáculos más mencionados.

9.3 Síntesis Financiera

La estimación ilustrativa del lucro cesante desarrollada en el apartado 8.3.6 —entre $2.764.800 y $8.064.000 por evento de detención de la excavadora XE500ULC— aporta un primer orden de magnitud del beneficio económico que el modelo propuesto busca proteger, y permite una lectura diferenciada por tipo de repuesto: mientras el stock de seguridad de componentes de bajo costo unitario y consumo periódico —como el filtro de aceite del motor, valorizado en apenas $32.855 CLP— se justifica ampliamente frente a cualquiera de los escenarios de lucro cesante estimados, la cobertura de componentes de alto costo unitario y baja frecuencia de falla —como el filtro de partículas diésel, valorizado en $11.811.906 CLP— requiere un análisis de factibilidad específico. La cuantificación de costos desarrollada en el Anexo G añade una segunda lectura financiera relevante: el costo de implementación conjunto de los cuatro pilares ($131,2 millones de pesos chilenos en su valor central) no se justifica frente a un evento aislado de detención, sino que requiere que el modelo evite del orden de 8 a 10 eventos de este tipo al año a nivel de toda la cartera de equipos gestionada —cifra que, junto con el tamaño real de dicha cartera, constituye el dato pendiente de mayor relevancia para transformar esta estimación ilustrativa en un caso de inversión formal (VAN, TIR).

9.4 Hallazgos de la Investigación de Mercado Complementaria

La investigación de mercado desarrollada como complemento a este trabajo permite, además, cerrar parcialmente tres de los vacíos de información identificados en una versión preliminar del diagnóstico. En materia de remanufactura local, se confirmó la existencia de capacidad instalada real en Chile —Komatsu Reman Center Chile, Finning y Metso—, con ahorros documentados de 40% a 60% frente a componentes nuevos para motor y cilindros hidráulicos, aunque sin evidencia pública de un servicio equivalente para bomba principal. En materia de indicadores de gestión, se identificó un estudio académico específico sobre camiones mineros de gran tonelaje (Tecsup, 2025) que aporta rangos de referencia razonables para disponibilidad operativa, MTTR y MTBF, aunque estos benchmarks no reemplazan la necesidad de una línea base propia de la organización. En materia de datos agregados de Aduanas, se confirmó que dicho indicador no existe en fuentes públicas chilenas, y se documentaron tres vías alternativas —solicitud de Transparencia, procesamiento de microdatos y levantamiento directo— para obtenerlo en una etapa posterior.

9.5 Recomendaciones

Como recomendaciones prácticas, se sugiere iniciar la implementación del modelo por el cierre de las brechas de datos identificadas —levantamiento del stock físico de los repuestos de consumo periódico, liberación del inventario inmovilizado y contacto prioritario con los clientes de los equipos con hitos de mantención vencidos del Anexo H—, dado que constituyen intervenciones de alto impacto y alta factibilidad de resolución en el corto plazo. En paralelo, se recomienda aplicar el instrumento de encuesta diseñado (Anexo C) a una muestra mayor de empresas cliente y

distribuidoras del sector, de manera de robustecer la línea base de los indicadores de gestión que hoy permanecen, y levantar el registro histórico de frecuencia y duración de detenciones de la flota, dato que permitiría transformar la simulación de payback del Anexo G en una estimación específica para la organización. El desarrollo de acuerdos de remanufactura local y de proveedores locales se sugiere como una intervención de mediano plazo, a ejecutar una vez validados los resultados de las fases iniciales, priorizando motor y cilindros hidráulicos —donde la capacidad de mercado ya está confirmada— por sobre bomba principal, cuya oferta de remanufactura requiere validación directa con los operadores.

9.6 Limitaciones y Trabajo Futuro

El presente trabajo presenta como limitación principal más allá del ejercicio ilustrativo documentado en el Anexo C, de un registro de eventos reales de detención y de contratos de arriendo vigentes que permitan reemplazar la estimación ilustrativa del lucro cesante por una cifra basada en datos reales de la empresa, del tamaño real de la cartera de equipos gestionada —necesario para validar la frecuencia de eventos evitados supuesta en el Anexo G—, de cotizaciones reales de proveedores que reemplacen los proxies de mercado utilizados en la estimación de costos de los cuatro pilares, y de una línea base propia de MTTR, MTBF y disponibilidad operativa. Se deja constancia, asimismo, de que el Servicio Nacional de Aduanas de Chile no publica un indicador agregado de lead time por sector, por lo que su eventual construcción a partir de microdatos abiertos se identifica como una oportunidad concreta de investigación futura que excede el alcance de este estudio. Se recomienda que las etapas siguientes de la consultoría incorporen el levantamiento de dicha información, de manera de robustecer la cuantificación de los beneficios esperados y de transformar el plan de implementación propuesto en un caso de inversión con evaluación financiera formal (VAN, TIR, período de recuperación descontado).

10. BIBLIOGRAFÍA

Las siguientes referencias corresponden a las fuentes y marcos conceptuales identificados explícitamente en los documentos proporcionados y en la investigación de mercado desarrollada para esta consultoría. Dado que la información de citación completa (año de publicación, editorial u obra de origen) no se encuentra disponible en la totalidad de los casos, dicha condición se indica de manera expresa en cada referencia. Se advierte, además, que varias fuentes de mercado corresponden a portales especializados o material corporativo/promocional, no a literatura académica arbitrada; dicha condición se señala explícitamente en el cuerpo del documento cada vez que se citan.

Universidad Técnica Federico Santa María. (2025). Normas Formato Consultoría, MBA Magíster en Gestión Empresarial. Departamento de Ingeniería Comercial.

Romo, R. (2026). Taller de Tesina: Tesina de Consultoría Empresarial para MBA USM [Material de taller, versión 1.0]. Universidad Técnica Federico Santa María.

Organización Internacional del Trabajo (OIT). Definición de la práctica de consultoría

Lippitt, G. Modelo de roles del consultor según el nivel de actividad consultiva en la resolución de problemas.

Nees, D. y Greiner, L. Tipología de prototipos de consultores (aventureros naturales, arquitectos de sistemas, navegadores estratégicos, médicos de gestión, copilotos amistosos).

McKinsey, J. O. Origen de la profesión de consultoría.

Tractian. Essential Guide to Effective Spare Parts Management. Disponible en: tractian.com/en/blog/spare-parts-management.

f7i.ai. (2026). Spare Parts Management Playbook: Audit, Optimize, & Predict. Disponible en: f7i.ai/blog/the-spare-parts-management-playbook-turning-your-storeroom-from-a-cost-center-into-a-reliability-engine.

Veyron. Gestión de refacciones en campo: mejores prácticas. Disponible en: veyron.com.mx/gestion-de-refacciones-en-campo-mejores-practicas/.

Logistic & Delivery. La postventa se consolida como factor clave. Disponible en: logisticanddelivery.com/post/la-postventa-se-consolida-como-factor-clave.

XCMG. XCMG Xrea — The Digital Transformation for Manufacturing Industry. MarketScreener.

XCMG. XCMG presenta innovación ecológica y soluciones inteligentes en bauma 2025. PR Newswire.

XCMG. XCMG Xrea. Disponible en: xcmgmachinery.com/xcmg-xrea.html.

Base de datos interna de la empresa. Costo total de propiedad (TCO) y precios unitarios de repuestos, excavadora XE500ULC.

Registros internos de la empresa. Guía de uso de la plataforma Xrea (versión web y aplicación móvil).

Extracto de la vista "Equipments" de la plataforma Xrea (XCMG), 7 equipos con número de serie, horómetro y ubicación, aportado por el usuario (ver Anexo H).

Conceptos Jurídicos. (s.f.). Lucro cesante. Disponible en: conceptosjuridicos.com/cl/lucro-cesante/.

Confyr Abogados. (s.f.). ¿Qué es el lucro cesante y cómo se demuestra? Disponible en: confyrabogados.com/que-es-el-lucro-cesante-y-como-se-demuestra/.

Poder Judicial de Chile. Noticias del Poder Judicial sobre indemnización por lucro cesante. Disponible en: pjud.cl/prensa-y-comunicaciones/noticias-del-poder-judicial/63966.

Derechopedia. Indemnización por lucro cesante. Disponible en: derechopedia.cl/Indemnización_por_lucro_cesante.

Onandia Abogados. (s.f.). Indemnización por lucro cesante. Disponible en: onandia-abogados.com/blog/indemnizacion-por-lucro-cesante/.

Portal IJurídica. (2024). Cuarta Sala aclara exigencias para indemnización por lucro cesante en accidente del trabajo. Disponible en: portal.ijuridica.cl/2024/09/cuarta-sala-aclara-exigencias-para-indemnizacion-por-lucro-cesante-en-accidente-del-trabajo/.

OCH Group. (s.f.). ¿Qué es y cómo se calcula el lucro cesante de una empresa en marcha? Disponible en: ochgroup.co/que-es-y-como-se-calcula-del-lucro-cesante-de-una-empresa-en-marcha/.

MMN — Maquinaria Pesada. (2026). Arriendo de excavadoras en Chile: precios, empresas y cómo cotizar en 2026. Disponible en: mmn.cl/arriendo-de-excavadoras-en-chile-precios-empresas-y-como-cotizar-en-2026/.

Eco-Rental. (2026). Tarifas y precios de arriendo de maquinaria en Chile 2026. Disponible en: eco-rental.cl/tarifas-precios-arriendo-maquinaria-chile-2026/.

Arquinetpolis. (s.f.). Costo horario de maquinaria: cómo se calcula y qué incluye. Disponible en: arquinetpolis.com/presupuestos-de-obra/costo-horario-de-maquinaria/.

Servicio Nacional de Aduanas de Chile. (s.f.-a). Estadísticas de comercio exterior. Disponible en: aduana.cl/aduana/site/edic/base/port/estadisticas.html.

Servicio Nacional de Aduanas de Chile. (s.f.-b). Registro de Importación — Portal de Datos Abiertos. Disponible en: datos.gob.cl/organization/servicio_nacional_de_aduanas.

Servicio Nacional de Aduanas de Chile. (s.f.-c). Tratado de Libre Comercio Chile-China. Disponible en: aduana.cl/tratado-de-libre-comercio-chile-china/aduana/2007-02-28/100917.html.

World Customs Organization. (2011). Guía para la medición del tiempo requerido para el levante de las mercancías (Time Release Study). Disponible en: wcoomd.org.

Aprende Logística. (s.f.). Fill rate en logística: Definición, fórmula y benchmarks. Disponible en: aprende-logistica.com/fill-rate-logistica-definicion-formula/.

Instituto Internacional de Gestión y Tecnología (IGT). (s.f.). KPI's: Indicadores de gestión en maquinaria pesada. Disponible en: igt.edu.pe/kpis-indicadores-de-gestion-en-maquinaria-pesada/.

Symx.ai. (s.f.). Los 5 mejores KPI para el mantenimiento minero. Disponible en: symx.ai/es/los-5-mejores-kpi-para-el-mantenimiento-minero/.

Oxmaint. (s.f.). KPIs de mantenimiento: MTTR, MTBF y 10 indicadores clave. Disponible en: oxmaint.es/blog/kpi-mantenimiento-mttr-mtbf.

RedCapacitación Chile. (s.f.). Guía de planificación de mantenimiento de maquinaria minera: Gestión de activos y disponibilidad. Disponible en: redcapacitacion.cl.

Revista I+i, Tecsup. (2025, diciembre). Impacto de la gestión del MTBF y MTTR en el índice de disponibilidad de camiones mineros Caterpillar 785-793. Disponible en: revista.tecsup.edu.pe/index.php/Imasi/article/view/114.

Heavy Vehicle Inspection (HVI App). (2026). Maximize Mining Fleet Uptime with Key Benchmarks; XCMG Excavator Complete Lifecycle Guide. Disponible en: heavyvehicleinspection.com.

Reliamag. (s.f.). MTBF and MTTR Benchmarks by Equipment Type: What Holds Up. Disponible en: reliamag.com/guides/mtbf-and-mttr-benchmarks-by-equipment-type/.

calcular.cl. (2026). Valor UF agosto 2026. Disponible en: calcular.cl/valor-uf-agosto-2026.

ISOTools Chile. (s.f.). Costes de llevar a cabo una certificación ISO. Disponible en: cl.isotools.org/costes-de-llevar-a-cabo-una-certificacion-iso/.

Modelosdeplandenegocios.com. (2026). ¿Cuánto cuesta montar un taller? Disponible en: modelosdeplandenegocios.com/blogs/news/cuanto-cuesta-montar-taller.

Tractian. (2025). Comparación de precios de software CMMS 2025: análisis de costos y tarifas. Disponible en: tractian.com/es/blog/comparacion-de-precios-de-software-cmms-2025-analisis-de-costos-y-tarifas.

TR3BOL Argentina. (2026). ¿Cuánto cuesta desarrollar una solución IoT a medida? Disponible en: trebolargentina.com/cuanto-cuesta-desarrollar-una-solucion-iot-a-medida/.

UPG.cl. (2026). ¿Cuánto cuesta desarrollar software a medida en Chile? Guía 2026. Disponible en: upg.cl/blog/cuanto-cuesta-desarrollo-software-chile/.

Ministerio del Medio Ambiente de Chile. (2023). Entra en vigencia nueva norma para maquinaria móvil de construcción que reducirá a la mitad emisiones. Disponible en: mma.gob.cl.

Idealex. (s.f.). Análisis técnico del TLC Chile-China: oportunidades arancelarias y proyecciones estratégicas. Disponible en: idealex.press.

Pauta / Bloomberg. (s.f.). El mayor distribuidor global de maquinarias ve una actividad "plana" en Chile. Disponible en: pauta.cl.

Diario Financiero. (2026). Nueva filial de maquinaria pesada de Kaufmann proyecta duplicar sus ventas en minería en 2026. Disponible en: df.cl.

Metso. (s.f.). Centro de Servicios Antofagasta. Disponible en: metso.com/es/productos-y-servicios/servicios/centro-de-servicios-antofagasta/.

PROMPERÚ. (2022). Estudio de mercado de proveedores a la minería en Chile (datos 2021). Disponible en: recursos.exportemos.pe.

SONAMI. (2025, octubre). Estudio de Cadenas de Valor de la Minería. Disponible en: sonami.cl.

Ministerio de Economía de Chile. (2025, diciembre). Futuro de la Manufactura en Chile. Disponible en: economia.gob.cl.

Reporte Minero. (2017). Komatsu inaugura el centro de remanufactura de equipos más grande de Latinoamérica. Disponible en: reporteminero.cl.

Guía Minera de Chile. (s.f.). Komatsu Reman Center Chile celebra Encuentro del Centro de Excelencia Reman para América Latina; Banco de Pruebas de Komatsu Reman Center Chile va en pos de la confiabilidad de los productos. Disponible en: guiaminera.cl.

Universidad de Chile. (s.f.). Análisis de expansión internacional de Komatsu Reman Center Chile con su modelo Electromechanical Shop [Tesis de pregrado, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas]. Repositorio Académico Universidad de Chile.

Finning Cat. (s.f.). Centro de Reparación de Componentes Antofagasta; Venta de Remanufacturados. Disponible en: finning.com/es_CL.

Diario Financiero. (s.f.). Finning Cat invierte US$20 millones en centros de formación y mantenimiento. Disponible en: df.cl.

Komatsu. (s.f.). Remanufactured components; Komatsu Reman — Major components, Minor components [folleto, Komatsu Europe]. Disponible en: komatsu.com; komatsu.eu.

Cat Parts Store. (s.f.). 0R-4446: Paquete de cilindros Cat® Reman. Disponible en: parts.cat.com.

Hidráulica MC. (s.f.). Fabricación y Reparación de Cilindros Hidráulicos. Disponible en: hidraulicamc.cl.

Cilindra. (s.f.). Reparación de Cilindros Hidráulicos en Iquique y Alto Hospicio. Disponible en: cilindra.cl.

Portal Minero. (2026, agosto 3). El eslabón invisible del superciclo: cómo la cadena de repuestos define hoy la continuidad operacional en la minería nacional. Disponible en: portalminero.com.

Cámara Aduanera de Chile A.G. (s.f.). Disponible en: sofofa.cl.

Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales de Colombia (DIAN). (s.f.). Estudio de Tiempos de Despacho de Mercancías [referencia comparativa de metodología]. Disponible en: dian.gov.co.

Norte en Línea. (2026). "En la minería, detener la operación no es solo un problema técnico, es una hemorragia financiera". Disponible en: norteenlinea.com.

MapTrack. (s.f.). Equipment Downtime Cost Statistics 2026 [cita a McKinsey Mining Operations Research 2024 y U.S. DOE O&M Best Practices Guide]. Disponible en: maptrack.com.

Cummins Inc. (2025). La información de PrevenTech® permite aumentar la productividad de los camiones al sumar $800K de ingresos por camión; Digging Deeper: Reducing machine downtime in mining. Disponible en: cummins.com.

Revista Nueva Minería & Energía. (2025-2026). Mantenimiento predictivo 3.0 en minería: modelos multimodales y decisiones prescriptivas recortan hasta 50% las detenciones [solo titular verificado]. Disponible en: nuevamineria.com.

Geoforce. (s.f.). AEMP/ISO 15143-3: Mixed-fleet data ingestion. Disponible en: llms.geoforce.com.

Develop with Deere. (s.f.). ISO 15143-3. Disponible en: developer.deere.com.

ForConstructionPros. (s.f.). My Komatsu Achieves AEMP 2.0/ISO 15143-3 Interoperability. Disponible en: forconstructionpros.com.

Berg Insight. (2025). The installed base of construction equipment OEM telematics systems will reach 13 million units worldwide by 2029. Disponible en: berginsight.com.

Se deja constancia de que, conforme a las instrucciones del presente trabajo, no se han incorporado referencias bibliográficas académicas adicionales a las contenidas en los archivos proporcionados y en las fuentes públicas citadas.

11. ANEXOS

Anexo A: Glosario de Términos Técnicos

El presente glosario reúne los términos técnicos utilizados a lo largo del documento, con el propósito de facilitar su lectura.

Término	Definición
Machine down	Tiempo de parada no programado de un equipo, durante el cual este permanece inoperativo por causa de una falla.
Lucro cesante	Pérdida económica derivada de la imposibilidad de operar un activo durante el período en que este se encuentra detenido.
Lead time	Tiempo transcurrido entre la solicitud de un repuesto o componente y su efectiva disponibilidad para su uso.
Tier 4/5	Estándares de motorización asociados a niveles avanzados de control de emisiones y de integración tecnológica en maquinaria pesada.
Telemetría	Tecnología que permite la transmisión remota de datos operativos de un equipo, utilizada como base para el mantenimiento predictivo.
SKU (Stock Keeping Unit)	Código único que identifica una línea de repuesto o producto dentro del inventario de una organización.
Clasificación ABC	Método de clasificación de inventario según su participación en el valor total, ordenando los ítems de mayor (A) a menor (C) aporte.
Matriz VED	Herramienta de clasificación de inventario según su criticidad, que distingue componentes Vitales, Esenciales y Deseables.
REMAN	Remanufactura de componentes, proceso mediante el cual una pieza usada es restaurada a condiciones de desempeño equivalentes a las de un componente nuevo.
Logística colaborativa	Esquema de coordinación entre una organización y sus proveedores orientado a mejorar conjuntamente la disponibilidad y los tiempos de respuesta del suministro.
Stock consignado	Modalidad de inventario en la cual el proveedor mantiene existencias físicas en las instalaciones del cliente, transfiriéndose la propiedad al momento de su consumo.
Fault Alarm	Alarma de falla registrada por la plataforma de telemetría Xrea cuando un equipo presenta una condición anómala de operación.
MTTR	Tiempo medio de reparación (Mean Time To Repair): tiempo promedio requerido para restablecer la operatividad de un equipo tras una falla.
MTBF	Tiempo medio entre fallas (Mean Time Between Failures): tiempo promedio transcurrido entre fallas sucesivas de un mismo componente o equipo.
SLA (Service Level Agreement)	Nivel de servicio comprometido con el cliente, expresado habitualmente como un tiempo máximo de respuesta o de reposición.
CAPEX / OPEX	Gasto de capital (inversión inicial) y gasto operacional (recurrente), respectivamente, utilizados en la estimación de costos de implementación de los cuatro pilares (Anexo G).
Payback simple	Período de tiempo requerido para que el beneficio acumulado de una inversión iguale su costo inicial, sin descontar el valor del dinero en el tiempo.
ISO 15143-3 / AEMP 2.0	Estándar de interoperabilidad para el intercambio de datos de telemetría entre plataformas de distintos fabricantes de maquinaria (flotas mixtas).

Tabla 12. Glosario de términos técnicos. Fuente: elaboración propia a partir de los términos empleados en los documentos proporcionados.

Anexo B: Ficha Resumen del Proyecto de Consultoría

Campo	Detalle
Título del proyecto	Elaboración de estrategia de resiliencia en la postventa de maquinaria: optimización en la cadena de suministro y gestión de inventario ante la volatilidad del mercado chileno.
Autor	Rodrigo Antonio Jiménez Flores
Institución	Universidad Técnica Federico Santa María, Departamento de Ingeniería Comercial
Programa	MBA, Magíster en Gestión Empresarial
Departamento interviniente	Postventa y Logística
Caso de estudio ilustrativo	Excavadora sobre orugas XE500ULC (XCMG) y plataforma de telemetría Xrea; caso aplicado complementario de 7 equipos (Anexo H)
Horizonte de análisis	24 meses de datos históricos y 12 meses de implementación proyectada
Fecha del documento	Agosto de 2026

Anexo C: Instrumento de Recolección de Datos (Encuesta)

El presente instrumento constituye la propuesta de encuesta a aplicar durante la etapa de levantamiento de datos de la consultoría, en coherencia con el componente cualitativo de la metodología de análisis descrita en el Capítulo 6. Su aplicación permite recoger evidencia primaria sobre la disponibilidad operativa de la flota, los tiempos de respuesta de repuestos críticos y la percepción de resiliencia de la cadena de suministro. A la fecha de este documento, el instrumento se encuentra diseñado; su aplicación a una muestra mayor de empresas continúa pendiente para la siguiente etapa de la consultoría. Como validación metodológica del instrumento y del plan de análisis, en la última subsección de este anexo se presenta un ejercicio de aplicación (datos n=20), rotulado como tal en cada tabla, gráfico y párrafo correspondiente.

Campo	Detalle
Objetivo del instrumento	Recabar información primaria para el diagnóstico de la disponibilidad operativa, los tiempos de respuesta y la percepción de resiliencia en la cadena de suministro de postventa de maquinaria pesada en Chile.
Población objetivo	Empresas de construcción y minería que operan maquinaria pesada, y empresas distribuidoras o proveedoras de maquinaria y repuestos en Chile.
Unidad de análisis	La empresa, representada por un responsable de operaciones, mantenimiento, logística, compras o postventa.
Tipo de muestreo	No probabilístico, por conveniencia o juicio experto
Modalidad de aplicación	Encuesta autoadministrada, en formato digital o presencial.
Duración estimada	Entre 10 y 15 minutos.
Escala principal	Likert de 5 puntos, complementada con preguntas de selección única, múltiple y dos preguntas abiertas.

Tabla A. Ficha técnica del instrumento de encuesta. Fuente: elaboración propia.

Estructura del cuestionario

El cuestionario se organiza en cuatro secciones: la Sección I clasifica a la empresa encuestada; según dicha clasificación, se responde la Sección II-A (empresas cliente) o la Sección II-B (empresas distribuidoras); la Sección III, común a todos los encuestados, evalúa la percepción general de

resiliencia de la cadena de suministro; y la Sección IV recoge datos de contacto de carácter opcional. La matriz de operacionalización vincula cada ítem con la variable independiente (ítems 12, 13, 15, 17, 18, 23), la variable dependiente (ítems 6, 7, 8, 11, 14, 20) y la variable moderadora (ítems 9, 21, 22) definidas en el Capítulo 2, así como con cada uno de los cuatro objetivos específicos.

Sección I: Clasificación del encuestado

- 1. Nombre de la empresa (opcional).
- 2. Cargo del encuestado: Gerente/Jefe de Operaciones; Gerente/Jefe de Mantenimiento; Jefe de Postventa/Repuestos; Jefe de Logística/Compras; Otro.
- 3. Tipo de empresa: constructora, minera u otra operadora de maquinaria (cliente); empresa distribuidora de maquinaria y/o repuestos; otro.
- 4. Región donde opera principalmente la empresa.
- 5. Tamaño de la flota de maquinaria pesada: 1 a 10; 11 a 30; 31 a 60; más de 60 equipos.

Sección II-A: Empresas cliente (constructoras, mineras y otras operadoras)

- 6. Frecuencia de detención no programada (machine down) por falta de un repuesto en los últimos 12 meses: nunca; 1 a 2 veces; 3 a 5 veces; más de 5 veces.
- 7. Tiempo promedio de detención a la espera de un repuesto crítico importado: menos de 3 días; 3 a 7 días; 8 a 15 días; más de 15 días.
- 8. Calificación del impacto de las detenciones sobre plazos y costos de obras o faenas (escala 1 a 5).
- 9. Principal causa de las detenciones no programadas: falta de stock en el distribuidor; demora en importación o aduana; falta de anticipación (mantenimiento reactivo); otra.
- 10. Componentes con mayor frecuencia de falla o dificultad de importación: electrónicos; hidráulicos; motor y transmisión; neumáticos u orugas; otro.
- 11. Calificación del nivel de servicio actual del/los proveedor(es) de repuestos (escala 1 a 5).
- 12. Disposición a compartir datos de telemetría con el distribuidor para habilitar mantenimiento predictivo: sí; no; no sabe/no aplica.
- 13. Relevancia de contar con stock consignado para reducir tiempos de detención (escala 1 a 5).

Sección II-B: Empresas distribuidoras o proveedoras

- 14. Lead time promedio de importación de un repuesto crítico sin stock local: menos de 7 días; 7 a 15; 16 a 30; más de 30 días.
- 15. Clasificación del inventario según criticidad (matriz VED): sí, formal; sí, informal; no.
- 16. Categorías con mayor dificultad o demora de importación: electrónicos; hidráulicos; motor y transmisión; neumáticos u orugas; otro.
- 17. Oferta o evaluación de servicios de mantenimiento predictivo basados en telemetría: ya lo ofrece; lo está evaluando; no lo ha considerado.
- 18. Capacidad propia o de terceros para remanufactura (REMAN) en Chile: sí; no; en desarrollo.
- 19. Principales obstáculos para desarrollar proveedores locales de piezas de alta rotación (hasta 2 opciones): costos de certificación; escala insuficiente de demanda; falta de proveedores calificados; restricciones técnicas del OEM; otro.

• 20. Porcentaje de la demanda de repuestos críticos cubierta con stock local sin importación urgente: menos de 25%; 25%-50%; 51%-75%; más de 75%.

Sección III: Percepción general y resiliencia de la cadena de suministro (todos los encuestados)

• 21. Volatilidad de la logística internacional en los últimos 24 meses (escala 1 a 5).

• 22. Impacto de los tiempos de internación aduanera en Chile sobre la disponibilidad de repuestos críticos (escala 1 a 5).

• 23. Priorización (1 a 4) de estrategias para mejorar la resiliencia de la postventa: mantenimiento predictivo mediante telemetría; clasificación de inventario crítico (VED); remanufactura local (REMAN); logística colaborativa y desarrollo de proveedores locales.

• 24. Pregunta abierta: principal barrera para avanzar hacia un modelo de postventa más resiliente.

• 25. Pregunta abierta: oportunidad más relevante para fortalecer la disponibilidad operativa en los próximos 12 meses.

La Sección IV recoge, de forma opcional, nombre de contacto, correo electrónico y autorización para citar la información de forma anonimizada. El instrumento completo, con formato de aplicación, se mantiene disponible como documento independiente del proyecto de consultoría.

Aplicación Ilustrativa del Instrumento (Muestra, n=20)

Con el propósito de validar que el instrumento de recolección de datos y el plan de tabulación asociado fueran operativos antes de su aplicación, se desarrolló el siguiente ejercicio metodológico sobre una muestra de 20 empresas (12 empresas cliente —7 constructoras y 5 mineras— y 8 empresas distribuidoras o proveedoras), con nombres y respuestas construidos según el comportamiento típico reportado para el sector.

Aspecto	Detalle
Tamaño de muestra	20 empresas (12 empresas cliente; 8 empresas distribuidoras/proveedoras)
Naturaleza de los datos	fines metodológicos y demostrativos
Tipo de muestreo (ejercicio)	No probabilístico, por conveniencia o juicio experto
Unidad de análisis	La empresa, representada por un responsable de operaciones, mantenimiento, logística/compras o postventa
Modalidad de aplicación	Autoadministrada, formato digital
Escalas utilizadas	Likert 1-5 (percepción), selección única, selección múltiple, ranking de prioridades y dos preguntas abiertas

Tabla B. Ficha técnica de la aplicación ilustrativa del instrumento (muestra, n=20). Fuente: elaboración propia

Caracterización de la muestra (Sección I)

La muestra se compone de 12 empresas cliente que operan maquinaria pesada (7 constructoras y 5 mineras) y 8 empresas distribuidoras o proveedoras de maquinaria y repuestos. En cuanto al tamaño de flota, predominan las empresas con 50% en el tramo de 11 a 30 equipos y 30% en el tramo de 31 a 60 equipos. Geográficamente, la muestra se concentra en la Región Metropolitana (25%) y la

Región de Antofagasta (20%). El cargo más frecuente entre los encuestados fue Jefe de Postventa/Repuestos (30%), seguido de Gerente/Jefe de Operaciones y Jefe de Logística/Compras (25% cada uno).

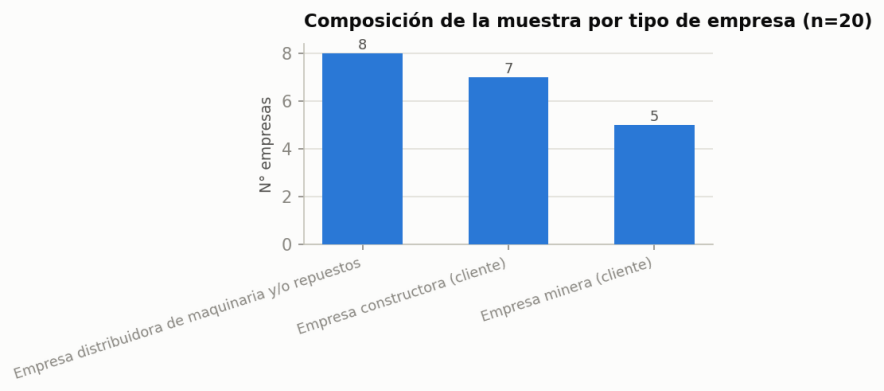


Gráfico 1. Composición de la muestra por tipo de empresa, n=20 (ejercicio ilustrativo). Fuente: elaboración propia

Disponibilidad operativa y repuestos — empresas cliente (Sección II-A)

Bajo los datos, el 58,3% de las empresas cliente reportó entre 3 y 5 detenciones no programadas por falta de repuestos en los últimos 12 meses, y un 25% adicional señaló más de 5 eventos. En promedio, los equipos permanecerían detenidos entre 3 y 15 días en el 83,3% de los casos, con un impacto percibido alto sobre plazos y costos (promedio 4,5/5). La causa principal se repartiría de forma prácticamente equitativa entre falta de stock en el distribuidor, demora de importación/aduana y mantenimiento reactivo (33,3% cada una).

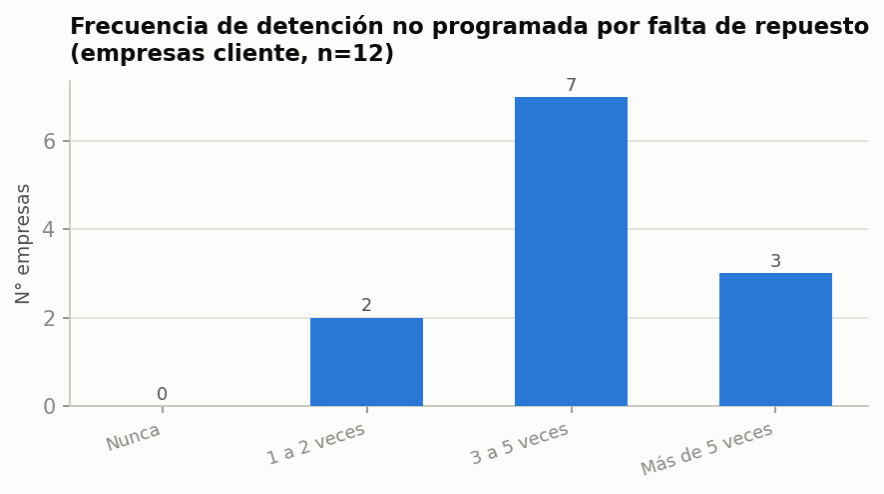


Gráfico 2. Frecuencia de detención no programada por falta de repuesto, empresas cliente n=12. Fuente: elaboración propia

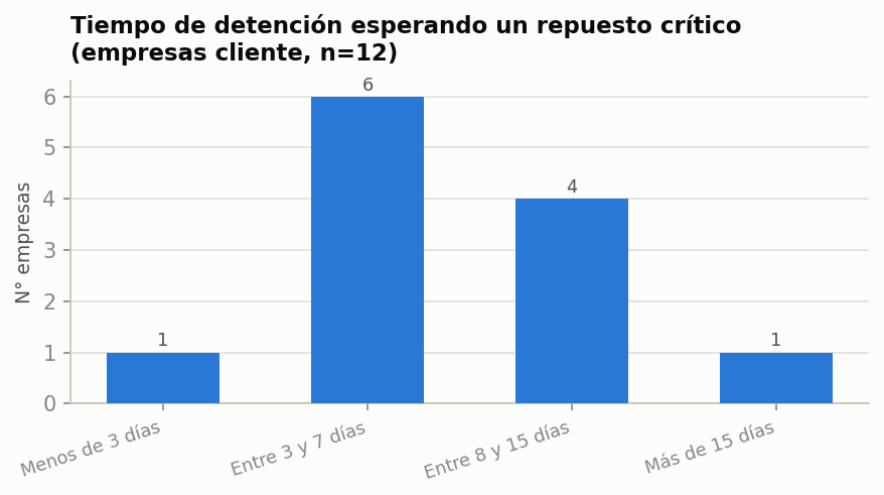


Gráfico 3. Tiempo de detención esperando un repuesto crítico, empresas cliente n=12 Fuente: elaboración propia

Motor y transmisión concentraría el mayor número de menciones como componente de mayor frecuencia de falla (7 de 12 empresas), seguido de neumáticos/orugas (4). El nivel de servicio promedio de los proveedores se ubicaría en 3,33/5, mientras que la relevancia de contar con stock consignado alcanzaría 3,42/5, y un 41,7% de las empresas cliente se declararía dispuesto a compartir datos de telemetría con su distribuidor.

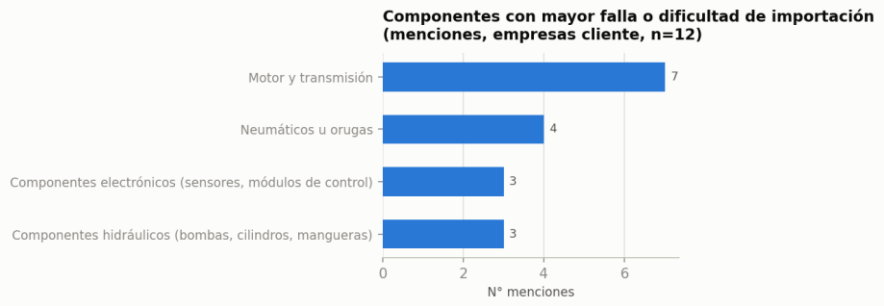


Gráfico 4. Componentes con mayor frecuencia de falla o dificultad de importación, empresas cliente n=12. Fuente: elaboración propia

Repuestos y capacidad de respuesta — empresas distribuidoras (Sección II-B)

El 75% de las empresas distribuidoras reportaría un lead time de importación superior a 16 días para repuestos críticos sin stock local. La muestra se dividiría en partes iguales entre quienes clasifican su inventario por criticidad de manera formal (matriz VED, 50%) y de manera informal (50%). Un 62,5% de los distribuidores estaría evaluando ofrecer mantenimiento predictivo basado en telemetría y un 25% ya lo ofrecería, mientras que la capacidad de remanufactura (REMAN) se encontraría mayoritariamente en desarrollo (50%) o ausente (37,5%).

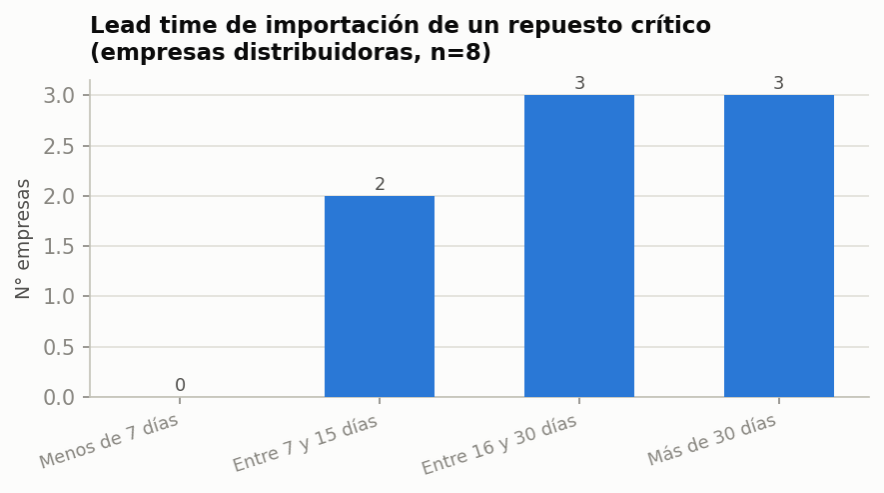


Gráfico 5. Lead time promedio de importación de un repuesto crítico sin stock local, distribuidoras n=8. Fuente: elaboración propia

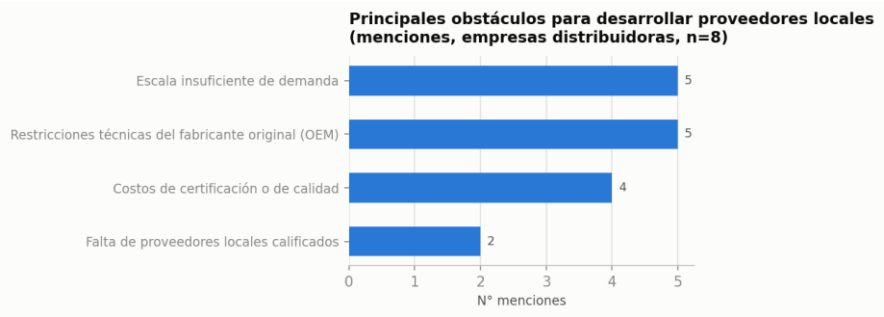


Gráfico 6. Principales obstáculos para desarrollar proveedores locales de piezas de alta rotación, distribuidoras n=8. Fuente: elaboración propia

Percepción general y resiliencia de la cadena de suministro (Sección III)

Bajo los datos, la volatilidad de la logística internacional en los últimos 24 meses se percibiría como alta (promedio 4,1/5), y el impacto de los tiempos de internación aduanera también se percibiría como relevante (3,55/5). Al comparar segmentos, las empresas cliente percibirían una volatilidad logística ligeramente mayor que las distribuidoras (4,25 vs. 3,88). Al priorizar estrategias de resiliencia, el mantenimiento predictivo mediante telemetría obtendría la mayor prioridad promedio (1,95), seguido de la clasificación de inventario crítico (matriz VED, 2,2), la logística colaborativa (2,6) y, en último lugar, la remanufactura local (REMAN, 3,25).

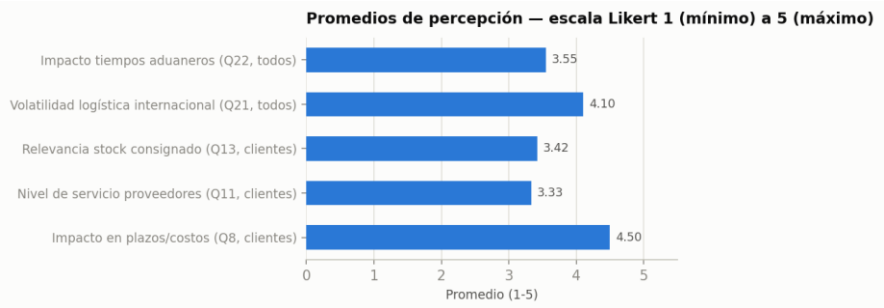


Gráfico 7. Promedios de percepción Likert 1-5 para los principales ítems del instrumento, n=20 Fuente: elaboración propia

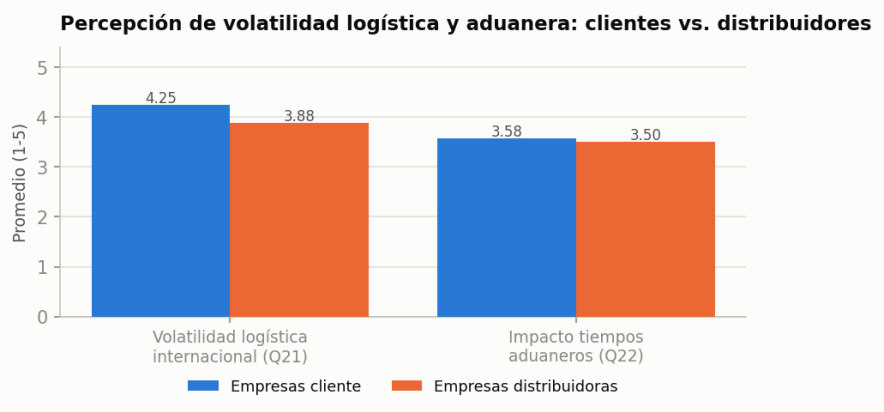


Gráfico 8. Percepción de volatilidad logística y aduanera, empresas cliente vs. distribuidoras, n=20

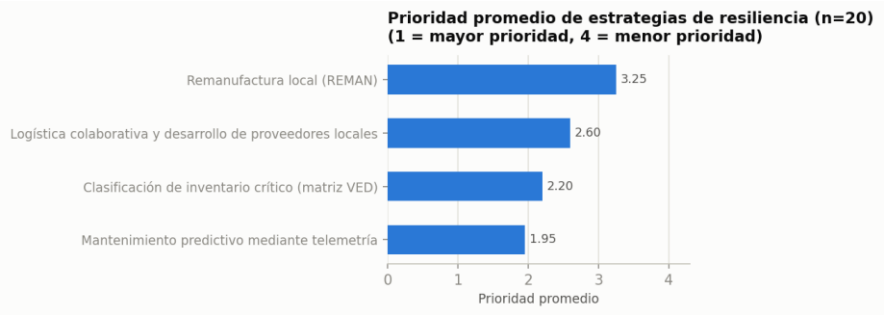


Gráfico 9. Prioridad promedio asignada a cuatro estrategias de resiliencia de la postventa, n=2). Fuente: elaboración propia

Síntesis por variable de estudio

La siguiente tabla resume, a modo de ejercicio, cómo se leen los resultados organizados según las variables independiente, dependiente y moderadora definidas en la Tabla B del instrumento (Anexo C), de manera de mostrar cómo se incorporan los resultados reales una vez aplicada la encuesta al mercado.

Variable	Ítems	Principal hallazgo
Independiente — Mantenimiento predictivo / inventario resiliente	12, 13, 15, 17, 18, 23	Alta disposición a compartir telemetría (41,7%) y alta relevancia del stock consignado (3,42/5) en clientes; adopción de mantenimiento predictivo aún incipiente en distribuidores (25% ya lo ofrece); mantenimiento predictivo como estrategia de mayor prioridad promedio.
Dependiente — Disponibilidad operativa / nivel de servicio	6, 7, 8, 11, 14, 20	83,3% de clientes reporta 3 o más detenciones no programadas en 12 meses; impacto percibido en plazos/costos alto (4,5/5); nivel de servicio de proveedores solo intermedio (3,33/5); lead time de importación

Variable	Ítems	Principal hallazgo
		mayoritariamente superior a 16 días.
Moderadora — Volatilidad logística / tiempos aduaneros	9, 21, 22	Volatilidad logística internacional percibida como alta (4,1/5); impacto aduanero también relevante (3,55/5); demora en importación/aduana es una de las tres causas principales de detención (33,3%).

Tabla C. Síntesis por variable de estudio (muestra, n=20). Fuente: elaboración propia

Preguntas abiertas: barreras y oportunidades (síntesis temática)

Bajo el ejercicio, los relatos abiertos se agruparían en torno a cuatro grandes temas: el costo de mantener inventario propio y la persistencia de un enfoque reactivo (barreras más mencionadas); la falta de stock consignado en sitio y la volatilidad logística post-2021; la escala de demanda local insuficiente; y la baja adopción de telemetría por parte de los clientes. En cuanto a oportunidades, el stock consignado y el mantenimiento predictivo/telemetría concentrarían cada uno 5 de las 20 menciones, seguidos de la logística colaborativa con clientes (4 menciones). Esta síntesis es, por construcción, coherente con los resultados cuantitativos ilustrativos de la Sección III, dado que ambos ejercicios se diseñaron en conjunto.

Hallazgos del ejercicio

• Bajo los datos, la indisponibilidad de repuestos críticos aparecería como un problema recurrente más que excepcional, con un impacto alto percibido sobre plazos y costos.

• El problema se presentaría como multicausal: falta de stock, demoras de importación/aduana y mantenimiento reactivo se repartirían de forma prácticamente equitativa como causa principal.

• Existiría alineamiento entre lo que los clientes valorarían (stock consignado, telemetría) y lo que los distribuidores estarían evaluando ofrecer, aunque la adopción efectiva de mantenimiento predictivo y remanufactura local se mostraría aún incipiente.

• El mantenimiento predictivo mediante telemetría y la clasificación de inventario crítico (matriz VED) concentrarían la mayor prioridad estratégica, por sobre la remanufactura local y la logística colaborativa.

Lecturas a validar en la etapa de campo

La oportunidad de acelerar la adopción de mantenimiento predictivo aprovechando una eventual disposición de los clientes a compartir datos operativos; la conveniencia de formalizar la clasificación de inventario crítico en las empresas distribuidoras; y la necesidad de validar directamente con Komatsu, Finning y talleres hidráulicos la capacidad de remanufactura de bomba principal, brecha ya identificada con evidencia real en el apartado 7.2.5.

Anexo D: Diagnóstico de Inventario de Repuestos, Excavadora XE500ULC

Las tablas siguientes detallan el diagnóstico cuantitativo de la base de datos de repuestos utilizada como caso de estudio en el Capítulo 8, elaborado a partir de la planilla de costo total de propiedad (TCO) y precios unitarios de la excavadora XE500ULC.

Clasificación ABC por valor de inventario (SKU con stock registrado, n=19)

Repuesto	Categoría	Stock (u)	% valor	% acum.	Clase
Kit filtro bomba de urea (DEF Pump Filter Kit)	Mantención	19	25,7%	25,7%	A
Rueda guía (Idler)	Servicio	3	14,8%	40,5%	A
Dispositivo tensor (Tensioner)	Servicio	2	14,6%	55,1%	A
Asiento (Seat)	Servicio	2	7,9%	63,0%	A
Filtro de combustible fino	Mantención	8	6,7%	69,7%	A
Junta giratoria (Swivel)	Servicio	2	5,6%	75,3%	A
Filtro de drenaje (Drain Filter)	Mantención	29	5,5%	80,8%	B
Motor de disipación de calor	Servicio	1	5,5%	86,3%	B
Ventilador (Fan)	Servicio	4	4,7%	91,0%	B
Filtro circulación externa	Mantención	12	1,9%	92,8%	B
Motor de arranque (Starting Motor)	Servicio	1	1,8%	94,6%	B
Filtro circulación interna	Mantención	11	1,5%	96,1%	C
Filtro succión de aceite	Mantención	2	0,9%	97,1%	C
Filtro piloto (Pilot Filter)	Mantención	18	0,8%	97,9%	C
Filtro retorno de aceite	Mantención	1	0,7%	98,6%	C
Bomba de agua (Water Pump)	Servicio	1	0,4%	99,0%	C
Filtro interno de aire	Mantención	3	0,4%	99,4%	C
Filtro externo de aire	Mantención	1	0,3%	99,7%	C
Filtro válvula respiradero	Mantención	8	0,3%	100,0%	C

Tabla 13. Clasificación ABC por valor de inventario, excavadora XE500ULC (SKU con stock, n=19). Fuente: elaboración propia a partir de la base de datos TCO de repuestos de la empresa.

Repuestos críticos sin unidad de respaldo

Repuesto	Categoría	Stock actual (u)	Costo unit. (USD)
Filtro externo de aire	Mantención	1	US$50,82
Filtro retorno de aceite	Mantención	1	US$112,46
Motor de arranque (Starting Motor)	Servicio	1	US$289,39
Bomba de agua (Water Pump)	Servicio	1	US$68,19
Motor de disipación de calor	Servicio	1	US$870,37

Tabla 14. Repuestos críticos sin unidad de respaldo. Fuente: elaboración propia a partir de la base de datos TCO de repuestos de la empresa.

Repuestos de consumo periódico sin registro de stock

Repuesto	Categoría	Costo unit. (USD)
Filtro de aceite del motor (Oil Filter Element)	Mantención	US$35,98
Filtro de partículas diésel (DPF)	Mantención	US$12.935,34
Filtro estanque de urea (DEF Tank Filter)	Mantención	US$293,36
Filtro separador agua-combustible	Mantención	US$93,92

Tabla 15. Repuestos de consumo periódico sin registro de stock. Fuente: elaboración propia a partir de la base de datos TCO de repuestos de la empresa.

Repuestos con posible sobrestock o baja rotación

Repuesto	Stock (u)	Valor inmovilizado (CLP)	Costo unit. (USD)
Filtro de drenaje (Drain Filter)	29	$801.061	US$30,25
Kit filtro bomba de urea (DEF Pump Filter Kit)	19	$3.746.353	US$215,93
Filtro piloto (Pilot Filter)	18	$113.578	US$6,91
Filtro circulación externa	12	$270.767	US$24,71
Filtro circulación interna	11	$219.476	US$21,85

Tabla 16. Repuestos con nivel físico elevado respecto de la cantidad requerida por evento de mantención (total inmovilizado: $5.151.235 CLP, 35% del valor del inventario con stock registrado). Fuente: elaboración propia a partir de la base de datos TCO de repuestos de la empresa.

Anexo E: Ficha Técnica de la Plataforma Xrea (XCMG)

Xrea es la plataforma digital y de telemática global de XCMG, fabricante de la excavadora XE500ULC utilizada como caso de estudio. Integra IoT, big data, computación en la nube e inteligencia artificial para conectar cada máquina vendida con una red centralizada de monitoreo, mantenimiento predictivo y gestión de repuestos, disponible mediante interfaz web y aplicación móvil.

Funciones principales disponibles para el cliente en Chile

- Inicio: mapa con la ubicación de los equipos conectados y detalle resumido de la flota.
- Equipments: listado general de equipos asociados a la cuenta, con estado operativo, conectividad e indicadores en tiempo real.
- Perfil del equipo: ubicación, horas acumuladas, consumo, RPM del motor, nivel de combustible, presión de aceite, temperatura del aceite hidráulico, eventos y alarmas.
- Fault Alarm: visualización de alarmas de falla del equipo dentro de su perfil.
- Utilization: análisis de horas de operación, consumo de combustible y tiempos de ralentí en un período determinado, con datos de GPS exportables.
- Operation Hours: horas laborales e inactividad del equipo en un rango de tiempo definido.
- Event Timeline: línea de tiempo de encendido y apagado del equipo para análisis de comportamiento operativo.
- Request Service (aplicación móvil): generación de solicitudes de servicio con adjunción de evidencia, ubicación y horario de atención.

• Toolkit (aplicación móvil): catálogo de repuestos por equipo, con búsqueda por modelo o número de identificación.

• Task: seguimiento de tareas generadas automáticamente a partir de cada evento registrado.

Esta infraestructura constituye la base tecnológica sobre la cual se sustenta el Pilar 1 del modelo propuesto (mantenimiento predictivo mediante telemetría), en la medida en que ya recoge la información operativa necesaria —horómetro y alarmas de falla— para anticipar la demanda de repuestos, sin que actualmente exista una integración automática con la planificación de inventario, brecha que se ilustra de forma concreta en el caso aplicado del Anexo H. Como limitación de esta infraestructura, no se encontró evidencia pública de que Xrea cumpla el estándar de interoperabilidad ISO 15143-3/AEMP 2.0 que sí declaran competidores como Caterpillar, John Deere, Komatsu y CASE, ni de auditorías independientes sobre la exactitud de sus sensores.

Anexo F: Metodología y Cálculo del Lucro Cesante — Caso Ilustrativo XE500ULC

El presente anexo detalla los fundamentos jurídicos, la fórmula de cálculo y las fuentes empleadas en la estimación ilustrativa del lucro cesante desarrollada en el apartado 8.3.6, con el propósito de que el ejercicio pueda ser replicado y actualizado por la organización una vez se cuente con datos reales de contratos de arriendo, tarifarios internos y registros de detención de la flota.

Fundamento conceptual

El lucro cesante se define, desde la perspectiva jurídica, como la ganancia neta que un activo deja de generar durante el tiempo en que permanece fuera de servicio por un daño o accidente (Conceptos Jurídicos, s.f.; Confyr Abogados, s.f.). Tratándose de maquinaria pesada, su acreditación ante un eventual proceso de indemnización se sustenta habitualmente en contratos de obra u órdenes de servicio vigentes, tarifarios oficiales o cotizaciones del mercado local de arriendo, e informes periciales contables o técnicos que determinen la productividad estándar del equipo y el perjuicio económico real en el patrimonio de la empresa (Confyr Abogados, s.f.; OCH Group, s.f.). La jurisprudencia nacional exige, adicionalmente, que la pérdida se acredite como una utilidad neta real y no como un ingreso bruto hipotético (Portal IJurídica, 2024).

Fórmula de cálculo

Lucro cesante neto = (Horas de detención × Tarifa de arriendo horaria) − Costos operativos no incurridos durante la detención.

Donde las horas de detención resultan de multiplicar los días de paralización por la jornada operativa diaria, y los costos operativos no incurridos corresponden a la fracción del ingreso bruto de arriendo que la empresa efectivamente ahorra al no operar el equipo (combustible, mantención y desgaste variable, lubricantes y filtros, y el operador cuando este no se remunera durante la detención).

Supuestos y fuentes utilizadas

Parámetro	Valor utilizado	Fuente / justificación
Tarifa de arriendo horaria	$110.000–$130.000 CLP/hora (punto medio: $120.000)	MMN (2026), categoría "excavadora grande (CAT 350+)", equivalente a 2,3 UF/hora, usada como proxy de un equipo de 50 toneladas.
Jornada operativa diaria	8 horas/día	Convención de "día con operador" utilizada en el benchmark de tarifas de

Parámetro	Valor utilizado	Fuente / justificación
		arriendo de maquinaria en Chile (Eco-Rental, 2026).
Días de detención (escenarios)	8, 12 y 15 días	Rango "entre 8 y 15 días" del ítem 7 del instrumento de encuesta (Anexo C); 12 días como punto medio redondeado del rango.
Deducción de costos no incurridos — Escenario A	44% del ingreso bruto (combustible ≈25%, mantención/desgaste ≈12%, lubricantes/filtros ≈7%)	Estructura de costo horario típica de maquinaria pesada (Arquinetpolis, s.f.); operador se mantiene remunerado durante la detención.
Deducción de costos no incurridos — Escenario B	64% del ingreso bruto (Escenario A + operador ≈20%)	Arquinetpolis (s.f.); aplica cuando el operador tampoco se remunera durante la detención.
Costo unitario de referencia — filtro de aceite del motor	US$35,98 (≈$32.855 CLP)	Base de datos TCO de repuestos XE500ULC (Anexo D), tasa de cambio implícita 913,15 CLP/USD.
Costo unitario de referencia — filtro de partículas diésel (DPF)	US$12.935,34 (≈$11.811.906 CLP)	Base de datos TCO de repuestos XE500ULC (Anexo D), tasa de cambio implícita 913,15 CLP/USD.

Tabla 17. Supuestos, valores y fuentes utilizados en la estimación ilustrativa del lucro cesante. Fuente: elaboración propia.

Se deja constancia de que la totalidad de los parámetros anteriores corresponde a un ejercicio metodológico ilustrativo, con datos reales de contratos, tarifarios internos y registros de detención de la empresa Su actualización con información real de la organización —en particular el tiempo efectivo de detención por evento y la condición contractual de la maquinaria (uso propio o arrendada a terceros)— permitirá transformar este ejercicio en una estimación de valor probatorio para efectos de gestión interna o, de ser pertinente, de eventuales procesos de indemnización. Estos mismos resultados se utilizan en el Anexo G como beneficio evitado de referencia para simular el punto de equilibrio de la inversión en los cuatro pilares del modelo propuesto.

Anexo G: Estimación de Costos de Implementación de los Cuatro Pilares

Simulación ilustrativa de inversión (CAPEX/OPEX) y punto de equilibrio frente al lucro cesante evitado. Insumo complementario al apartado 8.3.6, al Anexo F y al Plan de Implementación del apartado 8.4.

G.1 Introducción y advertencia metodológica

El diagnóstico de inventario y posventa de la excavadora XE500ULC y el ejercicio de lucro cesante desarrollado en el apartado 8.3.6 y el Anexo F identifican el beneficio que se busca proteger mediante la implementación de los cuatro pilares del Modelo de Gestión de Postventa Resiliente, pero dejan pendiente la cuantificación del costo de dicha implementación. El presente anexo cierra parcialmente esa brecha, aportando una primera estimación ilustrativa de costo (CAPEX de implementación y OPEX de mantenimiento anual) para cada uno de los cuatro pilares, y una simulación de punto de equilibrio (breakeven) frente al beneficio de lucro cesante evitado ya calculado.

Al igual que el ejercicio de lucro cesante del Anexo F, esta estimación es ilustrativa y no constituye una cotización comercial: no existen en el proyecto cotizaciones reales de proveedores de software, consultoría o habilitación de talleres para la organización objeto de este estudio. Los valores se

construyen a partir de referencias de mercado generales para Chile y Latinoamérica (desarrollo de software, implementación de sistemas empresariales, certificación de procesos, habilitación de talleres mecánicos), citadas y ajustadas mediante supuestos explícitos. Su propósito es ofrecer un orden de magnitud razonable y una estructura de simulación que el Departamento de Postventa y Logística pueda reemplazar por cotizaciones reales en las etapas siguientes de la consultoría.

Consistente con el Resumen Ejecutivo y los Objetivos Específicos 2 a 4 de la tesina, y con el Plan de Acción del diagnóstico de inventario y posventa (apartado 8.4), se consideran los siguientes cuatro pilares: (1) mantenimiento predictivo vía integración telemetría–inventario; (2) clasificación de inventarios críticos bajo matriz ABC-VED y política de reposición basada en demanda; (3) remanufactura local (REMAN); y (4) logística colaborativa y desarrollo de proveedores locales.

G.2 Supuestos y parámetros generales

La estimación utiliza dos parámetros de conversión, resumidos en la Tabla 18, consistentes con el criterio ya aplicado en el resto de la tesina (tasa de cambio implícita del diagnóstico financiero XE500ULC).

Parámetro	Valor utilizado	Fuente
Valor UF (referencial, agosto de 2026)	$40.850 CLP	calcular.cl (2026)
Tasa de cambio USD/CLP (implícita)	913,15 CLP/USD	Diagnóstico de Inventario y Análisis Financiero XE500ULC (2026)

Tabla 18. Parámetros de conversión utilizados en la estimación de costos de los cuatro pilares.

Para cada pilar se estima un CAPEX de implementación (inversión inicial, dentro del horizonte de 12 meses declarado en el Alcance del estudio, salvo indicación contraria) y, cuando corresponde, un OPEX anual de mantenimiento o soporte. Los rangos reportados provienen de las fuentes de mercado citadas en cada sección; el valor central se usa como punto de referencia para la simulación de la sección G.4.

G.3 Estimación de costos por pilar

G.3.1 Pilar 1 — Mantenimiento predictivo vía integración telemetría–inventario

Dado que la infraestructura de telemetría (plataforma Xrea) ya se encuentra desplegada, el costo de este pilar no corresponde al desarrollo de una solución IoT completa, sino a un proyecto de integración de software de complejidad media (vínculo entre el registro de Fault Alarm y el módulo de reposición de repuestos) más un tablero de seguimiento de indicadores.

Componente	Supuesto	CAPEX (CLP)
A. Integración Fault Alarm ↔ reposición automática	400–800 UF (implementación empresarial básica); punto medio 600 UF	$16.340.000 – $32.680.000
B. Tablero de seguimiento KPI (cobertura ABC-VED, MTTR, NPS/CSAT)	150 h de desarrollo, tarifa senior freelance 1,6 UF/h	$9.804.000

Tabla 19. Pilar 1 — componentes de costo estimados. Fuente: UPG.cl (2026). CAPEX total: $26.144.000 – $42.484.000 CLP (central $34.314.000 CLP). OPEX anual estimado: $4.902.000 CLP/año (20% de mantenimiento anual sobre el componente A, dentro del rango 15–25% reportado para soluciones de software/IoT — TR3BOL Argentina, 2026).

G.3.2 Pilar 2 — Clasificación ABC-VED y reposición basada en demanda

Este pilar combina horas de levantamiento de información interna (stock físico de los cuatro repuestos de consumo periódico sin registro, actualización de la maestra de materiales) con la implementación de un módulo de clasificación ABC-VED y cálculo de puntos de reorden y stock de seguridad.

Componente	Supuesto	CAPEX (CLP)
A. Levantamiento de stock físico y maestra de materiales	200 h de analista/consultor, tarifa 1,0 UF/h	$8.170.000
B. Módulo de clasificación ABC-VED y puntos de reorden	400 UF (extremo inferior del rango de sistemas empresariales)	$16.340.000

Tabla 20. Pilar 2 — componentes de costo estimados. Fuente: UPG.cl (2026). CAPEX total: $24.510.000 CLP. OPEX anual estimado: $2.451.000 CLP/año (15% de soporte y actualización sobre el componente B).

G.3.3 Pilar 3 — Remanufactura local (REMAN)

No se identificaron cifras públicas específicas para Chile sobre el costo de habilitar capacidad de remanufactura de componentes de maquinaria pesada. Se presentan dos escenarios de alcance claramente distintos: un escenario base de convenio con un taller externo especializado ya establecido (única opción compatible con el horizonte de 12 meses del Alcance), y un escenario ampliado de instalación propia (fuera de dicho horizonte, referencia de largo plazo).

Escenario	Supuesto	CAPEX
Base — convenio externo	USD 15.000–30.000 por proveedor homologado (proxy: implementación de procesos de calidad con consultor externo)	US$15.000 – US$30.000 ($13.697.250 – $27.394.500 CLP)
Ampliado — taller propio	Taller mecánico industrial general, USD 50.000–200.000, ajustado ×1,5 por especialización en componentes hidráulicos de alta presión	US$75.000 – US$300.000 ($68.486.250 – $273.945.000 CLP)

Tabla 21. Pilar 3 — componentes de costo estimados, dos escenarios de alcance. Fuentes: ISOTools Chile (s.f.); Modelosdeplandenegocios.com (2026). CAPEX Pilar 3 usado en la simulación (Escenario Base): $13.697.250 – $27.394.500 CLP (central $20.545.875 CLP). No se estima OPEX por insuficiencia de datos de referencia (ver limitaciones, sección G.5).

G.3.4 Pilar 4 — Logística colaborativa y desarrollo de proveedores locales

Se estima el costo de un programa de homologación técnica para un número ilustrativo de cuatro proveedores locales de piezas de alta rotación, más las horas de asesoría legal/comercial para la negociación de un esquema de stock consignado.

Componente	Supuesto	CAPEX (CLP)
A. Homologación de 4 proveedores locales críticos	USD 12.500 por proveedor (punto medio de USD 5.000–20.000)	$45.657.500
B. Negociación e implementación de stock consignado	100 h de asesoría legal/comercial, tarifa 1,5 UF/h	$6.127.500

Tabla 22. Pilar 4 — componentes de costo estimados. Fuentes: ISOTools Chile (s.f.); UPG.cl (2026). CAPEX total: $51.785.000 CLP. OPEX anual estimado: $4.565.750 CLP/año (10% de seguimiento anual del programa de homologación).

G.3.5 Resumen consolidado de inversión

Pilar	CAPEX (rango, CLP)	CAPEX central (CLP)	OPEX anual (CLP)
1. Telemetría–inventario	$26.144.000 – $42.484.000	$34.314.000	$4.902.000
2. ABC-VED / reposición	$24.510.000	$24.510.000	$2.451.000
3. REMAN (escenario base)	$13.697.250 – $27.394.500	$20.545.875	No estimado
4. Logística colaborativa	$51.785.000	$51.785.000	$4.565.750
Total — Escenario Base (12 meses)	$116.136.250 – $146.173.500	$131.154.875	$11.918.750

Tabla 23. Resumen consolidado de inversión — Escenario Base (los cuatro pilares, Pilar 3 vía convenio externo). Si se sustituye el Pilar 3 por el escenario ampliado de instalación propia de capacidad REMAN, la inversión total (Escenario Ampliado) se eleva a $184.622.500 – $420.118.500 CLP, con un valor central de $302.370.500 CLP.

G.4 Simulación: punto de equilibrio frente al lucro cesante evitado

El Anexo F calculó el lucro cesante neto evitado por cada evento de detención de la XE500ULC, en un rango de $2.764.800 a $8.064.000 CLP según el escenario de costos operativos no incurridos (A o B) y la duración de la detención (8, 12 o 15 días). La Tabla 24 replica esos seis valores y calcula, para cada uno, cuántos eventos de detención de ese tipo deberían evitarse para recuperar el CAPEX del Escenario Base ($131.154.875 CLP) y del Escenario Ampliado ($302.370.500 CLP), sin considerar el valor del dinero en el tiempo.

Escenario de lucro cesante evitado	Valor por evento (CLP)	N.º eventos — Esc. Base	N.º eventos — Esc. Ampliado
8 días — Esc. A	$4.300.800	30,5	70,3
8 días — Esc. B	$2.764.800	47,4	109,4
12 días — Esc. A	$6.451.200	20,3	46,9
12 días — Esc. B	$4.147.200	31,6	72,9
15 días — Esc. A	$8.064.000	16,3	37,5
15 días — Esc. B	$5.184.000	25,3	58,3

Tabla 24. Simulación de punto de equilibrio: número de eventos de detención evitados necesarios para recuperar el CAPEX de implementación.

El resultado es consistente con la magnitud de ambas cifras: la inversión en los cuatro pilares no se recupera con un único evento de detención de una sola máquina, sino que su justificación económica depende de la frecuencia con que el modelo logre evitar detenciones de este tipo a lo largo de la cartera de equipos gestionada. Esta cartera no está cuantificada en los archivos disponibles para este análisis, por lo que la Tabla 25 presenta el payback como una función de la frecuencia anual de eventos evitados, dejando esa frecuencia como variable a validar con datos reales de la operación.

G.4.1 Payback en años, según frecuencia anual de eventos evitados

Se utiliza el valor central de lucro cesante evitado por evento ($6.451.200 CLP; 12 días de detención, Escenario A) y el CAPEX y OPEX del Escenario Base ($131.154.875 CLP y $11.918.750 CLP/año, respectivamente). El beneficio neto anual se calcula como (frecuencia anual × valor del evento) − OPEX anual; el payback simple es CAPEX ÷ beneficio neto anual.

Eventos evitados/año	Beneficio bruto anual (CLP)	Beneficio neto anual (CLP)	Payback simple
1	$6.451.200	($5.467.550)	Sin recuperación (beneficio neto negativo)
2	$12.902.400	$983.650	133,3 años
3	$19.353.600	$7.434.850	17,6 años
5	$32.256.000	$20.337.250	6,45 años
8	$51.609.600	$39.690.850	3,30 años
10	$64.512.000	$52.593.250	2,49 años
15	$96.768.000	$84.849.250	1,55 años
20	$129.024.000	$117.105.250	1,12 años

Tabla 25. Simulación de payback simple del Escenario Base, según frecuencia anual ilustrativa de eventos de detención evitados.

La simulación muestra que, con una frecuencia de uno a dos eventos evitados al año, la inversión no se justifica solo por el lucro cesante evitado (beneficio neto negativo o payback superior a 130 años). El punto de equilibrio se vuelve razonable —payback inferior a 3 años, umbral habitual de aceptación para inversiones operativas de este tipo— recién a partir de aproximadamente 8 a 10 eventos de detención de 8 a 15 días evitados por año a nivel de la cartera de equipos gestionada. Esta cifra no puede contrastarse con datos reales de paralización de la flota, por lo que constituye el principal supuesto a validar antes de tomar una decisión de inversión.

G.4.2 Beneficios complementarios no incluidos en la simulación

La simulación anterior utiliza exclusivamente el lucro cesante evitado como beneficio, por ser la única cifra cuantificada disponible en el proyecto. El caso de inversión real de los cuatro pilares es previsiblemente más favorable, dado que captura al menos tres beneficios adicionales identificados en el diagnóstico pero no cuantificados aquí: la liberación de $5.151.235 CLP de capital inmovilizado en los cinco SKU de baja rotación (parcialmente atribuible al Pilar 2); la reducción del riesgo de quiebre de stock en componentes críticos de alto valor unitario, como el filtro de partículas diésel (DPF, US$12.935,34 por unidad), hoy sin registro de stock (Pilares 1 y 2); y los beneficios de retención de cliente y diferenciación competitiva asociados a la reducción de MTTR y a la mejora de NPS/CSAT (Pilar 1), no cuantificados por ausencia de línea base de estos indicadores.

G.5 Limitaciones del análisis

- Los costos estimados no provienen de cotizaciones reales de proveedores; son proxies de mercado general (desarrollo de software en Chile, certificación de procesos de calidad, habilitación de talleres mecánicos) ajustados mediante supuestos explícitos.
- No se dispone de datos reales sobre el tamaño de la cartera de equipos gestionada ni sobre la frecuencia histórica de eventos de detención, por lo que el payback de la sección G.4.1 se presenta como función de un supuesto de frecuencia, no como una cifra única.
- No se estimó el OPEX del Pilar 3 (REMAN) por insuficiencia de referencias de mercado sobre costos operativos de un taller propio o de un convenio recurrente de remanufactura.
- El Escenario Ampliado del Pilar 3 excede el horizonte de 12 meses declarado en el Alcance del estudio y se incluye solo como referencia de largo plazo.

• No se incorpora el valor del dinero en el tiempo (tasa de descuento) en los cálculos de payback; se trata de un payback simple, adecuado para una primera aproximación pero no para una evaluación de proyecto formal (VAN/TIR).

G.6 Conclusiones y próximos pasos

La estimación ilustrativa desarrollada en este anexo sitúa la inversión de implementación de los cuatro pilares del Modelo de Gestión de Postventa Resiliente en un rango de $116.136.250 a $146.173.500 CLP (Escenario Base, valor central $131.154.875 CLP), con un OPEX anual estimado de $11.918.750 CLP, si el Pilar 3 (REMAN) se implementa mediante un convenio con un taller externo especializado en lugar de una instalación propia. La comparación con el rango de lucro cesante evitado ya calculado en el Anexo F muestra que la inversión se justifica económicamente solo si el modelo previene un número relevante de eventos de detención por año a nivel de toda la cartera de equipos gestionada —del orden de 8 a 10 eventos anuales— y no como resultado de un evento aislado en una sola máquina.

Se recomienda que las siguientes etapas de la consultoría reemplacen los supuestos de este anexo por: (1) cotizaciones reales de proveedores de software para la integración telemetría–inventario y el módulo de clasificación ABC-VED; (2) una cotización o términos de referencia de un convenio de remanufactura con un taller externo especializado; (3) el número real de proveedores locales a homologar bajo el Pilar 4; y, de forma prioritaria, (4) el registro histórico de eventos de detención de la flota (frecuencia y duración).

Anexo H: Diagnóstico de Venta Perdida por Horómetro (Caso 7 Equipos Xrea)

Caso ilustrativo — 7 equipos XCMG con horómetro registrado en la plataforma Xrea, sin evento de servicio documentado por la red XCMG. Insumo complementario a los apartados 8.1.2 y 8.4.

H.1 Resumen del caso

El presente anexo analiza un conjunto de 7 equipos XCMG conectados a la plataforma de telemetría Xrea, identificados por su número de serie, horómetro acumulado y ubicación, que no registran ningún evento de servicio documentado por la red XCMG/XREA. De estos 7 equipos, 4 ya superaron al menos un hito de mantención periódica (250 horas) sin que exista evidencia de atención, mientras que 3 aún no alcanzan su primer hito pero tampoco cuentan con un registro de línea base.

Aplicando la estructura de costos de repuestos de mantención de la base de datos TCO de la excavadora XE500ULC —ya utilizada como caso de estudio en el diagnóstico de inventario de esta consultoría— y un supuesto explícito de intervalos de servicio (250/500/1.000 horas), se estima que la venta de repuestos de mantención no capturada por la red XCMG/XREA en estos 7 equipos, a la fecha del horómetro reportado, asciende a $2.162.309 CLP (US$2.368,02). Esta cifra es deliberadamente conservadora: corresponde solo al valor de venta de filtros y consumibles de mantención periódica, sin incluir mano de obra, lubricantes a granel ni el riesgo económico —mucho mayor y no cuantificado en este ejercicio— de que la ausencia de mantención preventiva derive en la falla de componentes mayores, o en la pérdida definitiva del cliente hacia talleres independientes.

H.2 Dataset de equipos analizados

Nota de alcance: la planilla de origen no especifica el modelo exacto de cada uno de los 7 equipos. Para la cuantificación económica se utiliza como proxy la estructura de costos de repuestos de mantención de la excavadora XE500ULC, por ser la única base de costos disponible en el proyecto.

N°	N° de serie	Horómetro (h)	Ubicación	Estado de atención XCMG
1	XUGA5005JSKA00058	927,8	Tal Tal	Sin registro — hito(s) vencido(s)
2	XUGA5005PSKA00056	665,8	Sierra Gorda	Sin registro — hito(s) vencido(s)
3	XUGA500UVTKA00072	6,9	Lampa	Sin registro — aún no alcanza el primer hito
4	XUGA5005CRKA00050	870,7	Buin	Sin registro — hito(s) vencido(s)
5	XUGA500UCTKA00071	13,1	Coquimbo	Sin registro — aún no alcanza el primer hito
6	XUGA5005KSKA00057	348,7	Antofagasta	Sin registro — hito(s) vencido(s)
7	XUGA5005PRKA00049	16,6	Romeral	Sin registro — aún no alcanza el primer hito

Tabla 26. Equipos con horómetro registrado en Xrea, sin evento de servicio documentado. Fuente: extracto de plataforma Xrea aportado por el usuario.

De los 7 equipos, se distinguen dos grupos con implicancias distintas. Los equipos con hitos de mantención ya vencidos (Tal Tal, Sierra Gorda, Buin y Antofagasta) ya superaron el primer punto de servicio recomendado (250 h) —y en tres casos también el de 500 h— sin ningún registro de atención, evidencia directa de mantención preventiva no realizada por la red XCMG/XREA. Los equipos que aún no alcanzan su primer hito (Lampa, Coquimbo y Romeral) corresponden a entregas recientes que tampoco cuentan con una ficha de línea base registrada, lo que representa una oportunidad de enganche temprano con el cliente antes de que recurra a un taller independiente para su primer servicio.

H.3 Metodología de cuantificación económica

La base de datos de repuestos TCO de la excavadora XE500ULC no registra intervalos de horómetro asociados a cada repuesto de mantención. Para estimar qué repuestos debieron reponerse según el horómetro de cada equipo, se adopta el siguiente supuesto explícito, consistente con la estructura de 250/500/1.000/2.000+ horas documentada para maquinaria de excavación de esta categoría y específicamente reportada para excavadoras XCMG por una guía de ciclo de vida de mantención de fuente especializada (Heavy Vehicle Inspection, 2026): cada 250 horas, servicio básico de motor (filtro de aceite del motor, filtro de válvula respiradero y filtro piloto del circuito hidráulico); cada 500 horas, se añaden filtro de combustible fino, filtro separador agua-combustible, filtros de aire interno y externo, y los filtros hidráulicos de drenaje, retorno, succión y circulación interna/externa; cada 1.000 horas, se añaden el filtro de estanque de urea (DEF) y el kit de filtro de bomba de urea (DEF) — ningún equipo del dataset alcanza este hito (máximo observado: 927,8 h). Este supuesto de intervalos es ilustrativo y no reemplaza al manual oficial de mantención de XCMG para el modelo específico de cada equipo, que no está disponible en este proyecto.

Los precios corresponden al precio de venta neto (costo CIF + margen de 10% para repuestos de mantención) ya utilizado en el diagnóstico financiero de esta consultoría, con tasa de cambio implícita de 913,15 CLP/USD.

Repuesto (paquete 250 h)	Precio venta neto (USD)	Precio venta neto (CLP)
Filtro de aceite del motor	US$39,98	$36.506
Filtro válvula respiradero	US$6,33	$5.783
Filtro piloto	US$7,68	$7.011
Subtotal	US$53,99	$49.300

Tabla 27. Repuestos de mantención asociados al hito de 250 horas.

Repuesto adicional (500 h)	Precio venta neto (USD)	Precio venta neto (CLP)
Filtro de combustible fino	US$148,81	$135.887
Filtro separador agua-combustible	US$104,36	$95.292
Filtro interno de aire	US$24,01	$21.926
Filtro externo de aire	US$56,47	$51.563
Filtro de drenaje	US$33,61	$30.692
Filtro circulación externa	US$27,46	$25.071
Filtro circulación interna	US$24,28	$22.169
Filtro retorno de aceite	US$124,96	$114.103
Filtro succión de aceite	US$83,41	$76.167
Subtotal (adicional a 500h)	US$627,37	$572.870

Tabla 28. Repuestos adicionales al hito de 500 horas (se suman a los de la Tabla 27). Servicio de 500h completo: US$681,36 ($622.170).

Repuesto adicional (1.000 h, referencial)	Precio venta neto (USD)	Precio venta neto (CLP)
Filtro estanque de urea (DEF Tank Filter)	US$325,96	$297.646
Kit filtro bomba de urea (DEF Pump Filter Kit)	US$239,92	$219.085
Subtotal (adicional a 1.000h)	US$565,88	$516.731

Tabla 29. Repuestos adicionales al hito de 1.000 horas, referencial (ningún equipo del dataset lo alcanza). Servicio de 1.000h completo: US$1.247,24 ($1.138.901).

H.4 Cuantificación: venta perdida en repuestos de mantención

Equipo (ubicación)	Horómetro (h)	Hitos vencidos	Venta perdida (USD)	Venta perdida (CLP)
Tal Tal	927,8	250h/500h/750h	US$789,34	$720.770
Sierra Gorda	665,8	250h/500h	US$735,35	$671.470
Lampa	6,9	— (aún no vence)	—	—
Buin	870,7	250h/500h/750h	US$789,34	$720.770
Coquimbo	13,1	— (aún no vence)	—	—
Antofagasta	348,7	250h	US$53,99	$49.300
Romeral	16,6	— (aún no vence)	—	—

Equipo (ubicación)	Horómetro (h)	Hitos vencidos	Venta perdida (USD)	Venta perdida (CLP)
TOTAL — 7 equipos			US$2.368,02	$2.162.309

Tabla 30. Venta perdida estimada en repuestos de mantención, por equipo, según horómetro reportado. Fuente: elaboración propia a partir del extracto Xrea aportado y de la base TCO XE500ULC.

El total estimado de $2.162.309 CLP (US$2.368,02) se concentra en los 4 equipos que ya superaron su primer hito de servicio (Tal Tal, Buin, Sierra Gorda y Antofagasta); los 3 equipos restantes no aportan venta perdida bajo este supuesto porque aún no alcanzan las 250 horas, aunque sí representan una oportunidad de enganche temprano. Esta cifra corresponde exclusivamente a filtros y consumibles de mantención periódica y debe leerse como un piso, no como el total del efecto económico de la falta de atención.

H.5 Riesgo económico adicional no cuantificado

La cifra de la sección H.4 subestima el efecto económico real de la falta de atención por al menos tres motivos. Primero, el paquete de repuestos no incluye el valor de la mano de obra del servicio ni de los fluidos a granel (aceite de motor, aceite hidráulico, refrigerante). Segundo, el diagnóstico de inventario de esta consultoría ya identificó 5 repuestos críticos sin unidad de respaldo (motor de arranque, bomba de agua, motor de disipación de calor, entre otros); la operación continuada sin cambio de filtros acelera la contaminación y el desgaste de componentes de mayor valor, según se detalla en la Tabla 31.

Componente mayor	Precio venta ref. (TCO)	Situación de stock	Por qué se agrava con la falta de atención
Motor (Engine)	US$46.565,35	Sin unidad de respaldo	Alto costo unitario; falla mayor por falta de servicio periódico de aceite/filtros
Bomba principal (Main Pump)	US$8.982,04	Sin stock físico registrado	Componente crítico de presión hidráulica; desgaste acelerado sin cambio de filtros
Válvula principal de control	US$9.550,10	Código en proceso de reemplazo	Sensible a contaminación de aceite hidráulico por filtros vencidos
Motor de disipación de calor	US$1.087,96	1 unidad, sin respaldo	Ya identificado como crítico sin redundancia (Anexo D)
Motor de arranque (Starting Motor)	US$361,74	1 unidad, sin respaldo	Ya identificado como crítico sin redundancia (Anexo D)
Bomba de agua (Water Pump)	US$85,24	1 unidad, sin respaldo	Ya identificado como crítico sin redundancia (Anexo D)

Tabla 31. Componentes mayores cuyo riesgo de falla se agrava por la ausencia de mantención preventiva, con precio de venta de referencia (TCO XE500ULC).

Este riesgo es consistente con evidencia externa reunida en esta consultoría sobre el beneficio del mantenimiento predictivo: el caso Cummins–PrevenTech en flotas mineras de Chile y Perú documenta US$800.000 de ingresos adicionales por equipo al año atribuibles a telemetría aplicada a mantenimiento; y referencias de McKinsey Mining Operations Research sitúan el costo de una detención no programada de un equipo minero de alto tonelaje entre US$5.000 y US$10.000 por hora. No se dispone de datos propios de paralización para los 7 equipos de este caso, por lo que estas cifras se citan como referencia de magnitud del riesgo, no como una proyección aplicable directamente.

Tercero, la ausencia total de servicio registrado en 4 equipos con horómetro relevante (349 a 928 horas) sugiere que el cliente podría estar siendo atendido fuera de la red XCMG/XREA —por un taller independiente o por capacidad propia—, hipótesis consistente con la mejor práctica de mercado ya documentada en esta consultoría, según la cual el uso de telemetría para anticipar necesidades de servicio se reporta como mecanismo para retener al cliente en el canal de servicio propio. De confirmarse, el valor en riesgo no se limita a los repuestos de la Tabla 30, sino a todo el flujo de servicio y repuestos de estos equipos durante su vida útil restante.

H.6 Vínculo con el diagnóstico ABC-VED y los cuatro pilares

Este caso ilustra de forma concreta la brecha identificada en el apartado 8.4 y confirma la pertinencia de los cuatro pilares del Modelo de Gestión de Postventa Resiliente costeados en el Anexo G. Bajo el Pilar 1, de estar implementada la integración telemetría-inventario, el horómetro de estos 7 equipos habría generado una alerta automática al alcanzar cada hito de 250/500 horas, en lugar de que la brecha se detecte de forma manual y retrospectiva como en este anexo. Bajo el Pilar 2, los repuestos de las Tablas 27 y 28 son, en su mayoría, ítems de bajo costo unitario pero alta criticidad operativa (filtros), exactamente el perfil que la matriz VED prioriza con independencia de su valor monetario. Este caso aporta, además, un primer punto de referencia real —aunque parcial— para la variable que la simulación de payback del Anexo G dejó pendiente: la frecuencia de eventos de servicio no capturados a nivel de cartera de equipos.

H.7 Recomendaciones

- Contactar de forma prioritaria a los clientes de Tal Tal, Buin, Sierra Gorda y Antofagasta para verificar el estado real de mantención de sus equipos y ofrecer el servicio vencido, antes de que el desgaste derive en falla de un componente mayor.
- Registrar una ficha de línea base (horómetro de entrega, contacto de servicio asignado) para los equipos de Lampa, Coquimbo y Romeral, de modo que su primer servicio a las 250 horas sea capturado por la red XCMG/XREA y no por un taller independiente.
- Extender este mismo ejercicio de cuantificación a la totalidad de los equipos visibles en la plataforma Xrea, para dimensionar la venta potencial total en riesgo a nivel de cartera y validar la frecuencia anual supuesta en la simulación de payback del Anexo G.
- Levantar, junto al Departamento de Postventa y Logística, una orden de servicio real (desglose de repuestos, mano de obra y fluidos) para reemplazar el supuesto de la sección H.3 por datos propios, y confirmar los intervalos oficiales de mantención de XCMG por modelo de equipo.
- Investigar directamente con los clientes de los 4 equipos con hitos vencidos si están siendo atendidos por un canal externo, para dimensionar el riesgo de fuga de cliente descrito en la sección H.5.

H.8 Limitaciones del análisis

- Los intervalos de servicio (250/500/1.000 horas) son un supuesto ilustrativo basado en la estructura general de mantención de excavadoras de esta categoría y en una fuente externa no académica (Heavy Vehicle Inspection, 2026); no provienen del manual oficial de mantención de XCMG para el modelo específico de estos 7 equipos.
- El modelo de cada uno de los 7 equipos no se especifica en los datos de origen; se usó como proxy de costos la base TCO de la excavadora XE500ULC, la única disponible en el proyecto.
- La cuantificación cubre únicamente repuestos de mantención periódica (filtros); no incluye mano de obra, fluidos a granel, ni el valor de componentes mayores en riesgo (Tabla 31).

• No se confirmó con el cliente si estos equipos están efectivamente sin mantención o si están siendo atendidos por un canal fuera de la red XCMG/XREA; el informe asume la ausencia de registro en la plataforma como proxy de falta de atención.

• El ejercicio se limita a los 7 equipos de la muestra aportada; no representa el total de la cartera de equipos conectados a Xrea, cuyo tamaño no está cuantificado en los archivos disponibles para este análisis.

12. ARTÍCULO PUBLICABLE

Conforme a la estructura general de desarrollo establecida en las normas de formato de la Universidad Técnica Federico Santa María, la elaboración de un artículo publicable procede únicamente si así lo dispone el profesor guía, por lo que este apartado se mantiene sin desarrollo, sujeto a la instrucción que emita el profesor guía en una etapa posterior del proceso de titulación.