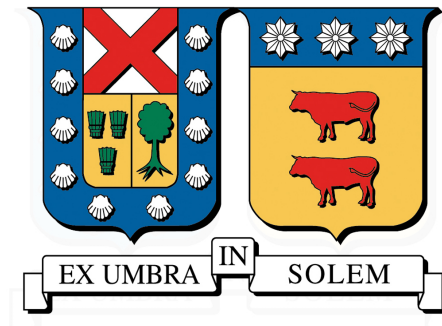


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS

VALPARAÍSO - CHILE



Category Management aplicado a suministros de Puentes Grúa de la gran minería en CODELCO

Pablo Tomás Carrasco Valenzuela

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

PROFESOR GUÍA : Dr. Cristóbal Fernández Robin
CO-REFERENTE : Mg. Constanza Hernández González

5 de 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: Category Management aplicado a suministros de Puentes Grúa de la gran minería en CODELCO.

Nombre del candidato(a): Pablo Tomás Carrasco Valenzuela.

Carrera / Grado: Ingeniería Civil Industrial.

Campus: Casa Central Valparaíso.

Departamento: Industrias.

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Cristóbal Fernández Robin, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

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

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

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

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

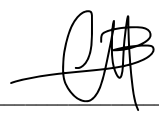
☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

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

4.- FIRMAS

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

Fecha: 22/10/2026

Firma: 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 22/10/2026

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

Al cerrar esta etapa, agradezco profundamente a mi familia y a las personas que me han acompañado incondicionalmente. A mis padres, por darme la vida, criarme con cariño, dedicación y sabiduría, y por enseñarme la generosidad y el amor. Gran parte de lo que soy, de la alegría con la que enfrento la vida y de la persona que aspiro a seguir siendo, nace de ustedes.

A mis hermanos. A Gabriel, por haber sido siempre una inspiración, un modelo a seguir y una persona noble de enorme corazón; y a mi hermana, por quererme tanto desde que éramos niños, por su apoyo constante y por la certeza de que siempre podremos contar el uno con el otro. A mi tía Gilda, por haberme criado con sus “gotitas de amor” y por haberme tendido una mano generosa, de esas que no son fáciles de encontrar.

También agradezco a los animales que han sido parte de mi vida, especialmente a mis perros. El cariño que les tengo me ha hecho más humano, más consciente y más empático con todas las formas de vida con las que compartimos este planeta.

A mis amigos de toda la vida en Talca, René, Martín, Emilio y la Nati, a quien quiero mucho, entre tantos otros, por los años, las conversaciones, las risas y la amistad que permanece inquebrantable. A mis amigos y amigas del movimiento Scout, una escuela fundamental en mi formación. Agradezco la Ley Scout, las aventuras, los aprendizajes y las experiencias que viví allí; fueron piezas clave en la forma en que hoy entiendo el compromiso, la lealtad y el servicio.

A mis amigos de la universidad, quienes me acompañaron en uno de los períodos más intensos y decisivos de mi vida. En especial al Kalule, al Watín, al Broze, a Bruno, al Mati, al Seba, al Martín, al Max, a la Meli, la Cami, la Cata y al Víctor, y a tantos otros a quienes les tengo mucho cariño. Gran parte de lo que aprendí, disfruté y superé en estos años se lo debo a ustedes, y espero que sigamos encontrando espacios para juntarnos y compartir.

A mi Romi, por acompañarme durante este último año y a lo largo de todo el desarrollo de este trabajo, desde sus primeros pasos hasta su entrega final. Gracias por tu amor, tu apoyo y tu paciencia. Te amo mucho y estoy profundamente agradecido de tenerte a mi lado. Espero saber corresponder todo el cariño que me entregas y poder acompañarte de la misma manera en tus propios proyectos.

Agradezco a Codelco, una empresa fundamental para Chile, por abrirme sus puertas y permitirme desarrollar esta memoria en un entorno de tanto aprendizaje. En particular, a la Dirección de Suministros para el Mantenimiento y a todas las personas que la integran.

A Constanza Hernández, mi tutora durante estos meses, por su paciencia, dedicación y generosidad para enseñar. Aprendí muchísimo de ti, no solo por tus conocimientos, sino también por la forma rigurosa y comprometida en que enfrentas tu trabajo. Me llevo de esta experiencia valiosas herramientas, confianza y una enorme motivación para enfrentar

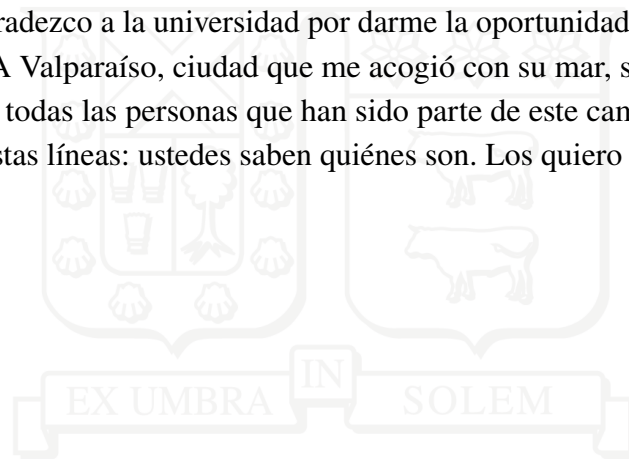
el mundo laboral.

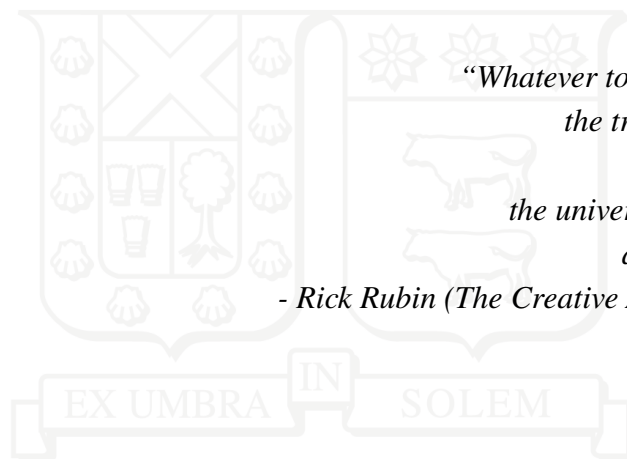
A Jorge Araya, por mostrarme una manera profundamente humana de liderar. Me inspiró su capacidad de trabajo, su compromiso con la Corporación y, sobre todo, la importancia que le otorga a las personas. Esa forma de liderazgo, basada en el esfuerzo, la convicción y la cercanía, es un modelo que espero poder cultivar algún día.

A Sandra, por su singular carácter y excelente sentido del humor; a Liz, por su inagotable energía y determinación; y a Valeria, por su permanente disposición para resolver cualquier duda. Todas ustedes hicieron de esta experiencia una instancia sumamente grata. Gracias por la calidez, el apoyo, las buenas conversaciones y la energía con la que me recibieron.

A mis profesores de la universidad, por todo lo que me enseñaron. En especial a mi profesor guía, Cristóbal Fernández, por acompañarme y orientarme en este proceso, a Rodolfo Salazar y Rafael Favereau, de quienes aprendí muchísimo y con quienes tuve la oportunidad de ser ayudante de mis asignaturas favoritas.

Finalmente, agradezco a la universidad por darme la oportunidad de crecer académica y personalmente. A Valparaíso, ciudad que me acogió con su mar, sus cerros, su gente y sus amistades. Y a todas las personas que han sido parte de este camino, muchas más de las que caben en estas líneas: ustedes saben quiénes son. Los quiero profundamente.





*“Whatever tools you use to create,
the true instrument is you.
And through you,
the universe that surrounds us
all comes into focus.”*

- Rick Rubin (The Creative Act: A Way of Being)

Resumen

Esta memoria formula una propuesta de estrategia de abastecimiento y contratación para la categoría de suministros de componentes para puentes grúa y grúas portales en Codelco, mediante la aplicación de las tres primeras fases de la metodología corporativa de Gestión de Categorías: análisis de la situación actual, análisis técnico y de mercado, y definición de estrategias. La categoría presenta información dispersa, heterogeneidad técnica de los materiales y dependencia de fabricantes originales, condiciones que dificultan su gestión y exponen la continuidad operacional.

Se integraron registros de materiales, compras, contratos, equipos y proveedores para construir un pool maestro de 2.146 SKU, de los cuales 2.009 se clasificaron en nueve familias funcionales y 137 quedaron pendientes de clasificación. La línea base del período 2021–2025 registró un gasto acumulado de USD 22,38 millones; el 69,29 % se ejecutó mediante compras *spot* y el 71 % se asoció a una única fuente observada. El análisis técnico identificó 907 puentes grúa y equipos afines clasificados como esenciales y, según la matriz FMECA de Codelco, 18 de los 27 componentes evaluados son críticos o muy críticos. El análisis de mercado identificó 41 marcas, 18 fabricantes y 278 SKU con compras a más de un proveedor, lo que sugiere que parte de la concentración observada podría reducirse mediante homologación y apertura competitiva selectiva.

Las familias se segmentaron mediante la matriz de Kraljic, utilizando su participación en el gasto y la concentración del suministro medida con el índice de Herfindahl–Hirschman (HHI). Sobre esa segmentación se construyeron cuatro escenarios de abastecimiento, comparados mediante una evaluación multicriterio. El modelo diferenciado por cuadrante (E3) obtuvo el mayor puntaje, con 4,00 sobre 5, y conservó el primer lugar en el análisis de sensibilidad de las ponderaciones. Su potencial de ahorro en precio se estimó entre USD 93 mil y USD 135 mil anuales, equivalentes a entre 2,1 % y 3,0 % del gasto anual promedio; el beneficio principal esperado corresponde a la continuidad del suministro de los equipos esenciales.

Los resultados indican que la categoría no debe gestionarse con una política única. Se propone combinar competencia y consolidación de demanda en las familias con alternativas de mercado, homologación y multisuministro donde sea técnicamente viable, y continuidad mediante fuentes OEM o equivalentes certificados en los componentes de mayor criticidad. El aporte del estudio es una base analítica trazable que integra variables económicas, técnicas y de mercado para sustentar futuras decisiones de contratación.

Palabras clave: gestión de categorías, abastecimiento estratégico, matriz de Kraljic, repuestos de mantenimiento, FMECA, puentes grúa.

Abstract

This thesis formulates a sourcing and contracting strategy proposal for the supply category of overhead and gantry crane components at Codelco, through the application of the first three phases of the corporate Category Management methodology: current situation analysis, technical and market analysis, and strategy definition. The category presents dispersed information, technical heterogeneity of materials, and dependence on original equipment manufacturers (OEMs), conditions that hinder its management and expose operational continuity to risk.

Material, purchasing, contract, equipment, and supplier records were integrated to build a master pool of 2,146 SKUs, of which 2,009 were classified into nine functional families and 137 remained pending classification. The baseline for the 2021–2025 period recorded a cumulative spend of USD 22.38 million; 69.29 % was executed through *spot* purchases and 71 % was associated with a single observed source. The technical analysis identified 907 overhead cranes and related equipment classified as essential and, according to Codelco's FMECA matrix, 18 of the 27 evaluated components are critical or very critical. The market analysis identified 41 brands, 18 manufacturers, and 278 SKUs with purchases from more than one supplier, suggesting that part of the observed concentration could be reduced through homologation and selective competitive bidding.

The families were segmented using the Kraljic matrix, utilizing their share of spend and supply concentration measured by the Herfindahl–Hirschman Index (HHI). Based on this segmentation, four sourcing scenarios were built and compared through a multi-criteria evaluation. The quadrant-differentiated model (E3) achieved the highest score, with 4.00 out of 5, and retained first place in the weights' sensitivity analysis. Its potential price savings were estimated between USD 93 thousand and USD 135 thousand annually, equivalent to between 2.1 % and 3.0 % of the average annual spend; the main expected benefit corresponds to the supply continuity of essential equipment.

The results indicate that the category should not be managed under a single policy. It is proposed to combine competition and demand consolidation in families with market alternatives, homologation and multi-sourcing where technically viable, and continuity through OEM sources or certified equivalents for the most critical components. The study's contribution is a traceable analytical baseline that integrates economic, technical, and market variables to support future contracting decisions.

Keywords: category management, strategic sourcing, Kraljic matrix, maintenance spare parts, FMECA, overhead cranes.

Índice

1.	Introducción	1
2.	Problema de investigación	5
3.	Objetivo general	8
3.1.	Objetivos específicos	8
4.	Marco teórico	9
4.1.	Abastecimiento estratégico	9
4.2.	Gestión de categorías	13
4.3.	Mantenimiento industrial y criticidad de activos	16
4.4.	Herramientas para la gestión de categorías	22
4.5.	Análisis de mercado proveedor	29
4.6.	Estrategias de abastecimiento	32
4.7.	Síntesis e integración del marco teórico	33
5.	Metodología	35
5.1.	Diseño metodológico	36
5.2.	Metodología de Gestión de Categorías	37
5.3.	Fuentes de información	38
5.4.	Principios de tratamiento de los datos	40
5.5.	Fase 1: análisis de la situación actual	41
5.6.	Fase 2: análisis técnico y de mercado	46
5.7.	Fase 3: definición y evaluación de estrategias	51
5.8.	Validez y limitaciones metodológicas	55
6.	Alcance	57
6.1.	Delimitación del estudio	57
6.2.	Aspectos excluidos del estudio	58
7.	Resultados de la gestión de categorías	59
7.1.	Fase 1: análisis de la situación actual	60
7.2.	Fase 2: análisis técnico y de mercado	62
7.3.	Fase 3: definición y evaluación de estrategias	73
7.4.	Síntesis de los resultados	81
8.	Discusión y limitaciones	83
8.1.	Interpretación de los hallazgos principales	83
8.2.	Contraste con la literatura	84
8.3.	Alcance y efecto de las decisiones metodológicas	85
8.4.	Limitaciones del estudio	87
8.5.	Implicancias para la gestión	88
9.	Conclusiones y recomendaciones	90
9.1.	Cumplimiento de los objetivos	90

9.2.	Respuesta a las preguntas de investigación	92
9.3.	Recomendaciones	93
9.4.	Trabajo futuro	94
Referencias		95
Glosario		99
Anexos		102
Anexo A. Bases de datos utilizadas		103
Anexo B. Construcción de la base de datos de la categoría		105
Anexo C. Fórmulas de transformación y cruce de datos		112
Anexo D. Matriz FMECA de componentes		115
Anexo E. Justificación de la evaluación multicriterio		116
Anexo F. Ejemplo de cálculo del potencial de ahorro en precio		117



Índice de figuras

1	Demanda sectorial y requerimientos del cobre (2015–2040).....	1
2	Proyección de líderes en minería y refinación de cobre (2030)	1
3	Producción de cobre en Chile y el mundo.....	2
4	Mapa y alcance divisional de la Corporación	3
5	Indicadores de la Gerencia de Abastecimiento para el Mantenimiento	3
6	Ejemplo de puente grúa.	4
7	Flujo descriptivo del problema de investigación	7
8	La cadena de valor.....	10
9	Características de control y elementos del sistema logístico pertinentes. ...	12
10	Estructura Genérica de una estructura de segmentación de una categoría... ..	13
11	Gráfico de economías de escalas	15
12	Fases del SOMA	17
13	Foto de proceso de electroobtención del cobre	19
14	Matriz de Probabilidad y Seguridad	21
15	Clasificación ABC y principio de Pareto aplicados al gasto	23
16	Matriz de Kraljic y orientaciones estratégicas generales	25
17	Analogía del concepto de costo total de propiedad	26
18	Modelo de las cinco fuerzas competitivas.....	30
19	Flujo metodológico aplicado en la memoria.....	35
20	Fases de Gestión de Categorías	37
21	Cronograma de desarrollo del trabajo, enero a julio de 2026	38
22	Esquema de las bases de datos utilizadas y sus relaciones	39
23	Actividades de la Fase 1 de Gestión de Categorías	41
24	Proceso de construcción de la base de datos de la categoría	42
25	Ubicación de la categoría en el árbol corporativo de categorías.....	44
26	Actividades de la Fase 2 de Gestión de Categorías	47
27	Árbol de ubicaciones técnicas: ejemplo de un puente grúa	47
28	Cadena de valor del mercado proveedor	49
29	Modelo de registro y gestión de proveedores	50
30	Interfaz de RedNegocios	50
31	Actividades de la Fase 3 de Gestión de Categorías	51
32	Equipos del libro SOMA 2025 según criticidad y clasificación esencial....	63
33	Concentración del parque de equipos por división.....	64
34	Distribución del parque por división y área operacional	65
35	Composición del parque por área y proceso operacional	65
36	Distribución del parque según el rol del equipo y la importancia del proceso	66
37	Cruce entre el rol del equipo (N5) y la importancia del proceso (N3)	66
38	Segmentación de las familias mediante la matriz de Kraljic	74
39	Potencial anual de ahorro en precio del escenario E3 frente al estado actual	77
40	Evaluación multicriterio de los escenarios de abastecimiento	78

41	Movimientos objetivo de las familias en la matriz de Kraljic	80
42	Esquema de las bases de datos utilizadas y sus relaciones	103
43	Matriz FMECA de los 27 componentes evaluados	115



Índice de tablas

1	Correspondencia entre las bases teóricas y su aplicación en el estudio	34
2	Unidades de observación utilizadas en el estudio	36
3	Fuentes de información utilizadas	38
4	Reducción del universo de materiales hasta el pool maestro	43
5	Criterios utilizados para evaluar los escenarios	54
6	Delimitación del estudio	57
7	Indicadores de la línea base de la categoría, 2021–2025	60
8	Distribución del pool por familia funcional	62
9	Componentes clasificados como muy críticos mediante FMECA	67
10	Segmentos del mercado proveedor identificados	69
11	Fabricantes identificados y canal de acceso en Chile	70
12	Principales marcas del parque y principales proveedores por gasto	71
13	Potencial preliminar de homologación por tipo de componente	72
14	Distribución de la categoría por cuadrante de Kraljic	74
15	Potencial anual de ahorro en precio por escenario	76
16	Lineamientos del modelo de abastecimiento recomendado (E3)	79
17	Riesgos de implementación y medidas de mitigación	81
18	Contenido de los anexos y secciones que respaldan	102
19	Síntesis de las bases de datos utilizadas	104
20	Tipos de marca utilizados como señal de pertenencia	106
21	Etiquetas de pertenencia aplicadas al pool preliminar	107
22	Niveles de prioridad del diccionario de familias	108
23	Composición del diccionario de familias funcionales	109
24	Ejemplos de asignación de familia mediante el diccionario	110
25	Extracto del diccionario de centros de beneficio	111
26	Síntesis de las transformaciones aplicadas	112
27	Calificación de cada escenario por criterio y evidencia que la sustenta	116
28	Compras del SKU de ejemplo	117
29	Ahorro potencial del SKU de ejemplo	118

1 | Introducción

El cobre acompaña buena parte de la vida material contemporánea: está presente en la infraestructura eléctrica, en la electromovilidad y en los sistemas de generación que hacen posible la transición energética. Esa presencia, a menudo poco visible, es la que hoy le confiere una posición estratégica dentro de la economía global. La magnitud del fenómeno se aprecia en las proyecciones de la Agencia Internacional de Energía, que reconoce al cobre como el mineral de transición con el mercado establecido de mayor tamaño y estima que su demanda crecería cerca de un 30 % hacia 2040 bajo el escenario de políticas declaradas (International Energy Agency, 2025). Un crecimiento sostenido de esa magnitud no solo expande el mercado: eleva de forma directa las exigencias sobre las compañías del rubro, que deben responder con altos estándares de seguridad, productividad, eficiencia y continuidad operacional.

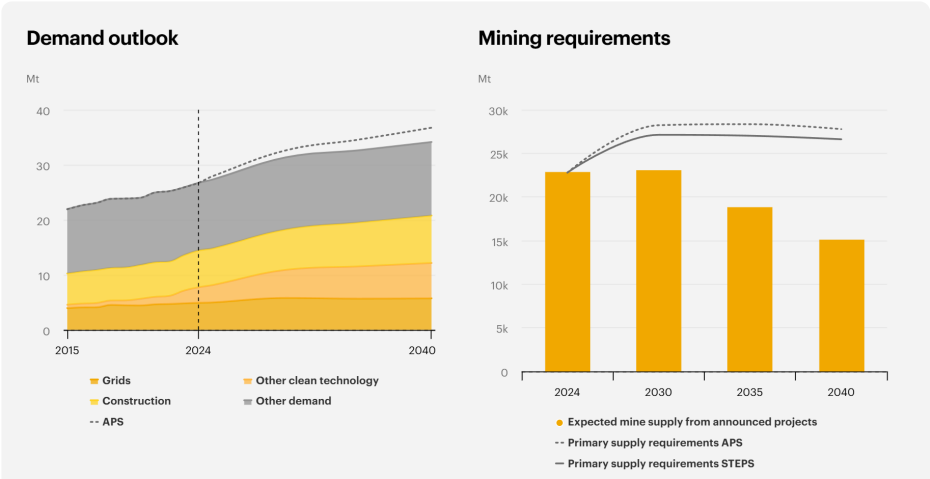


Figura 1: Demanda sectorial y requerimientos del cobre (2015–2040).
Fuente: International Energy Agency (2025).

A su vez, se identifican las naciones líderes en producción y refinación hacia el 2030:

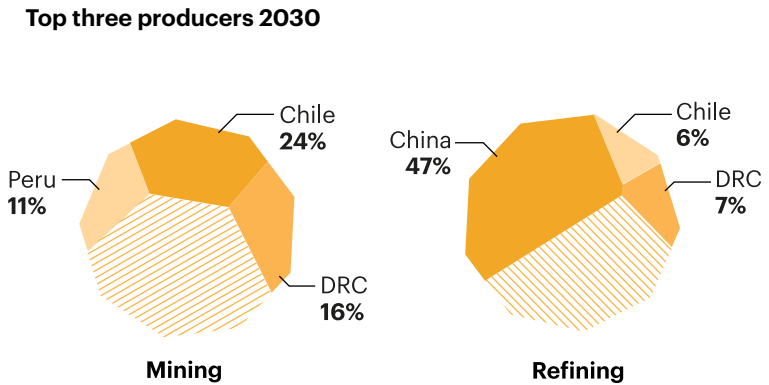


Figura 2: Proyección de líderes en minería y refinación de cobre (2030)
Fuente: International Energy Agency (2025).

Ese conjunto de exigencias recae con particular fuerza sobre las economías que se apoyan en la minería del cobre. En Chile, esta actividad constituye uno de los principales pilares productivos del país: durante 2024 la producción nacional alcanzó 5.506 miles de toneladas métricas, equivalentes al 24 % de la producción mundial de mina, cifra que sitúa al país en el primer lugar del ranking global y con cerca del 19 % de las reservas mundiales (Consejo Minero, 2025). Las proyecciones sectoriales anticipan un máximo productivo en torno a los 6,07 millones de toneladas hacia 2027 (Comisión Chilena del Cobre, 2025), lo que supone mantener e intensificar el ritmo operacional de las faenas existentes.

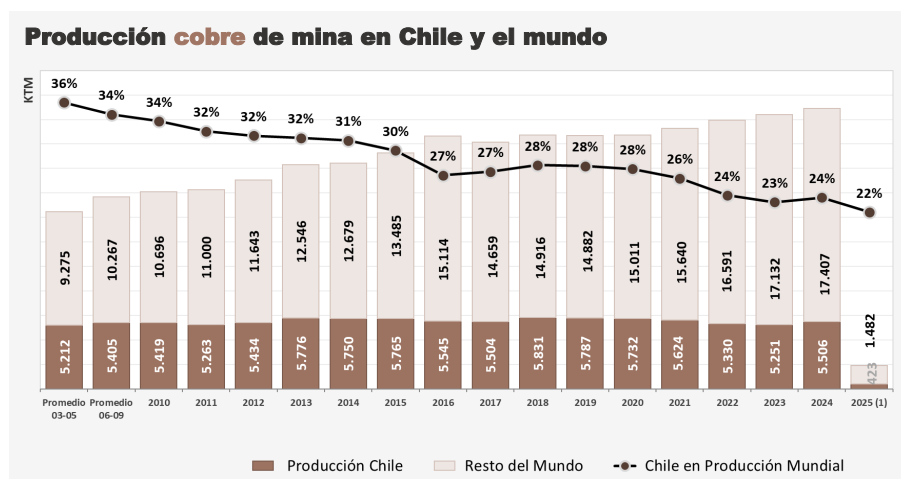


Figura 3: Producción cobre en Chile y el mundo.

Fuente: Consejo Minero (2025).

Detrás de esas cifras hay operaciones de una escala poco habitual. Una faena de la gran minería del cobre combina una alta intensidad de capital, procesos productivos complejos y activos industriales de gran escala, y su desempeño depende de la disponibilidad de equipos, repuestos, servicios especializados y capacidades de mantenimiento. Es precisamente esa dependencia la que vuelve críticas las interrupciones: cuando la continuidad operacional se ve comprometida, el efecto se traslada de forma directa a la productividad, los costos, la seguridad y el cumplimiento de los planes comprometidos.

Dentro de la industria minera nacional, Codelco cumple un rol estratégico. En 2025 la Corporación produjo 1.334.445 toneladas métricas finas (tmf) de cobre propio, cifra que representa aproximadamente un 5,6 % de la producción mundial de mina y cerca de un cuarto de la producción nacional (Codelco, 2025c). Sus activos se distribuyen en las divisiones que se presentan en la Figura 4. Sostener esos niveles de producción, fortalecer la seguridad de las operaciones y mejorar la competitividad constituye un desafío permanente, y enfrentarlo exige contar con modelos de gestión capaces de integrar operación, mantenimiento, abastecimiento y mercado proveedor bajo una lógica orientada a la generación de valor.

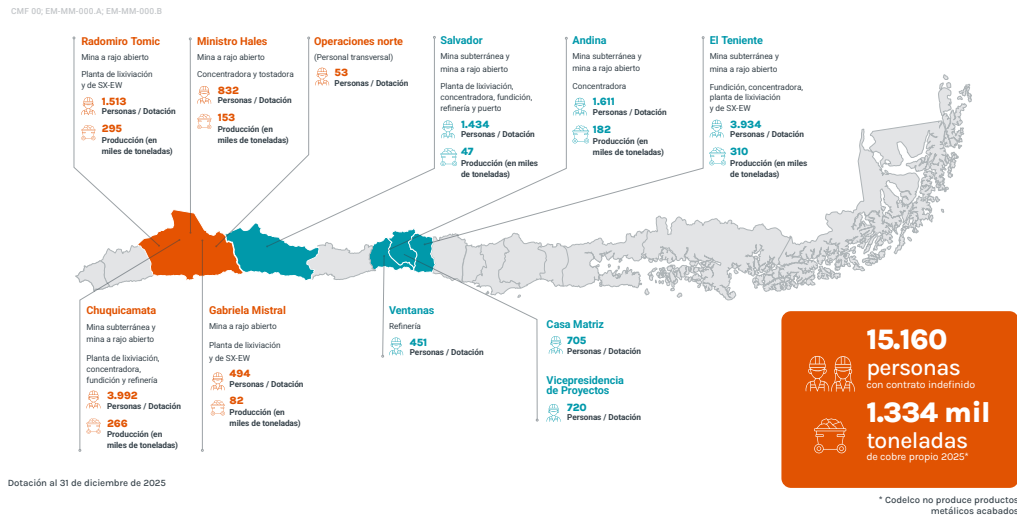


Figura 4: Mapa y alcance divisional de la Corporación.

Fuente: Codelco (2025c).

Esa integración descansa sobre una función que ha cambiado de naturaleza. El abastecimiento ha evolucionado desde un enfoque predominantemente transaccional hacia un rol estratégico, una transformación que la literatura especializada documenta desde el trabajo seminal de Kraljic (1983) y que hoy constituye un enfoque asentado en la gestión de la cadena de suministro (Monczka et al., 2020). En Codelco, abastecer no se limita a adquirir bienes y servicios: implica gestionar los riesgos de suministro, desarrollar el mercado proveedor, resguardar la transparencia de los procesos y responder a las exigencias técnicas de las áreas usuarias. Esta evolución se materializa en la Vicepresidencia de Abastecimiento (VAB), unidad responsable de la gestión corporativa de compras y contratos (Codelco, 2025e), cuyos principales indicadores se sintetizan en la Figura 5.



Figura 5: Indicadores de la Gerencia de Abastecimiento para el Mantenimiento.

Fuente: Codelco (2025d).

No todas las categorías que administra la VAB plantean el mismo grado de dificultad. Las vinculadas al mantenimiento industrial destacan por una complejidad particular, pues concentran simultáneamente diversidad técnica de materiales, criticidad operacional y

grados heterogéneos de dependencia respecto de fabricantes originales, distribuidores y proveedores alternativos. Esta combinación de atributos ha sido identificada como característica distintiva de la logística de repuestos de mantenimiento, cuyo tratamiento requiere criterios de segmentación diferentes de los aplicables a los materiales de consumo regular (Huiskonen, 2001). Cuando la gestión de estas categorías carece de estructura, se restringe la capacidad de capturar valor, se dificulta la estandarización de criterios técnicos y comerciales, y aumenta la exposición a riesgos de suministro.

Los equipos de izaje, y en particular los puentes grúa, se inscriben en este tipo de categorías. Estos equipos sostienen el traslado de componentes pesados, el apoyo al cambio de repuestos y el manejo de materiales en plantas, bodegas, talleres, fundiciones y refinerías, por lo que la disponibilidad de sus componentes incide sobre la confiabilidad de las actividades de mantenimiento y, en determinados casos, sobre la continuidad del proceso productivo (Flores Flores, 2024; Godoy Espinosa, 2011).

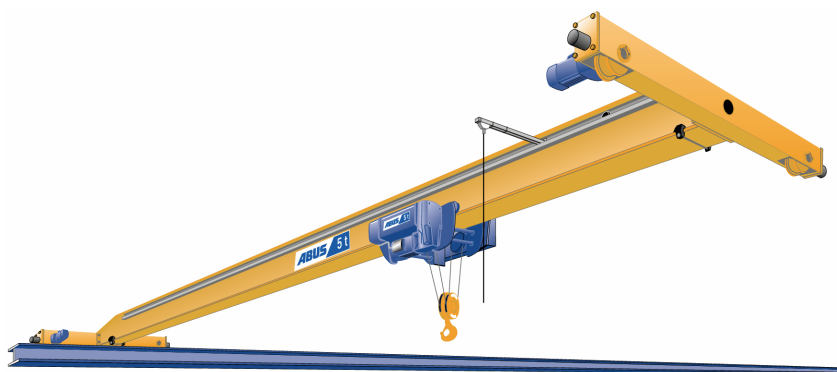


Figura 6: Ejemplo de puente grúa.

Fuente: Extraído de ABUS Crane Systems (s.f.).

La gestión estratégica de esta categoría enfrenta, sin embargo, una dificultad de origen: la información relevante se encuentra distribuida entre sistemas corporativos, registros históricos de compra, maestros de materiales, contratos y antecedentes técnicos, con formatos y niveles de completitud heterogéneos. Transformar ese conjunto disperso en una base analítica útil para la toma de decisiones exige procesos previos de depuración, clasificación y consolidación. A ello se suma la amplitud de componentes, marcas, fabricantes y modalidades de compra presentes en la categoría, que dificulta incluso su delimitación. Esta carencia de estructura analítica es, en definitiva, la que motiva y delimita el presente trabajo.

En este marco, la presente memoria se desarrolla en la Vicepresidencia de Abastecimiento de Codelco y tiene por propósito estructurar y analizar la categoría de suministros de componentes para puentes grúa mediante la aplicación de la metodología corporativa de Gestión de Categorías (Codelco, 2017). Se busca con ello convertir información dispersa en conocimiento accionable, capaz de orientar futuras decisiones de contratación y de apoyar la captura de valor para la Corporación.

2 | Problema de investigación

La gestión de abastecimiento en categorías asociadas a mantenimiento en la industria minera presenta desafíos relevantes derivados de la complejidad técnica de los materiales, la criticidad de los equipos involucrados, la diversidad del mercado proveedor y la necesidad de asegurar continuidad operacional en procesos productivos de alta exigencia. En este contexto, la gestión por categorías constituye un enfoque metodológico que permite estructurar el análisis de una categoría de abastecimiento, comprender su situación actual, evaluar el mercado proveedor y sustentar la definición de estrategias de contratación alineadas con las necesidades operacionales y los lineamientos corporativos.

En particular, la categoría de suministros de componentes para puentes grúa corresponde a un conjunto heterogéneo de materiales, repuestos, partes y piezas utilizados en equipos de izaje relevantes para la operación minera. Esta categoría se caracteriza por la coexistencia de múltiples marcas y fabricantes, la presencia de proveedores originales (OEM) y alternativos, distintos niveles de especificidad técnica y una amplia dispersión de materiales en los sistemas de información corporativos. Estas condiciones dificultan su delimitación, clasificación y análisis desde una perspectiva estratégica de abastecimiento.

En el contexto de Codelco, la información asociada a esta categoría se encuentra distribuida en diversas fuentes, tales como el maestro de materiales, los registros de compras históricas, los contratos vigentes e históricos y los antecedentes disponibles sobre proveedores, marcas y equipos. Si bien existe una base de datos extensa, esta requiere procesos de depuración, normalización, clasificación y consolidación para transformarse en información útil para la toma de decisiones. En consecuencia, el problema no radica únicamente en la disponibilidad de datos, sino en la falta de una estructura analítica suficientemente clara, trazable y consistente que permita utilizar dichos datos para comprender la categoría y orientar decisiones de abastecimiento.

Esta situación genera limitaciones en las tres primeras etapas de la metodología de gestión de categorías. En primer lugar, dificulta el Análisis de la Situación Actual, al restringir la posibilidad de caracterizar adecuadamente el gasto histórico, los materiales involucrados, los contratos existentes, la cobertura contractual, los proveedores actuales y la relación entre materiales y equipos. En segundo lugar, limita el análisis técnico y de mercado, al no contar con una delimitación suficientemente robusta de la categoría ni con una caracterización clara de marcas, fabricantes, proveedores OEM, proveedores alternativos y potenciales fuentes de suministro. En tercer lugar, afecta la definición de estrategias de abastecimiento, debido a que las decisiones sobre estandarización, homologación, consolidación de demanda, cobertura contractual o modelo de licitación requieren una base analítica previa que sea confiable y comparable.

De esta manera, la falta de estructuración de la categoría dificulta la implementación de una gestión de abastecimiento consistente y orientada al valor, reduciendo la capacidad

de identificar oportunidades de mejora en términos de eficiencia del gasto, mitigación de riesgos de suministro, estandarización técnica y fortalecimiento de la cobertura contractual. Esta problemática adquiere mayor relevancia considerando que los puentes grúa forman parte de equipos de izaje asociados a actividades de mantenimiento y operación, por lo que la disponibilidad oportuna de sus componentes puede incidir en la continuidad operacional, la seguridad y la confiabilidad de los procesos mineros.

En este contexto, surge la necesidad de estructurar y analizar la categoría de suministros de componentes para puentes grúa de manera sistemática, trazable y alineada con las primeras etapas del Proceso Corporativo de Contratación. Esto implica desarrollar un entendimiento integrado de la situación actual de la categoría, del mercado proveedor asociado y de las posibles alternativas estratégicas de abastecimiento, de modo que la información disponible pueda transformarse en una base de decisión para el diseño de una futura estrategia de licitación.

A partir de lo anterior, se plantean las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Cómo se encuentra estructurada actualmente la categoría de suministros de componentes para puentes grúa en CODELCO, en términos de materiales, familias técnicas, proveedores, contratos y gasto histórico?
- ¿Cuáles son las principales características técnicas y comerciales del mercado proveedor asociado a esta categoría, considerando marcas, fabricantes, origen, tipo de proveedor y condición OEM o no OEM?
- ¿Qué brechas y oportunidades de mejora se identifican en la gestión de la categoría, en términos de delimitación, estandarización, homologación, cobertura contractual y estrategia de abastecimiento?
- ¿Qué lineamientos estratégicos pueden proponerse para apoyar el diseño de una estrategia de licitación alineada con las necesidades operacionales y los lineamientos corporativos de CODELCO?

En función de estas preguntas, el presente trabajo se orienta a desarrollar un análisis estructurado de la categoría de suministros de componentes para puentes grúa, considerando las etapas de Análisis de la Situación Actual, análisis técnico y de mercado, y definición de lineamientos estratégicos de abastecimiento. Con ello, se busca generar una base metodológica y analítica que permita apoyar la toma de decisiones en el marco del Proceso Corporativo de Contratación y sustentar el diseño de una estrategia de licitación coherente con las necesidades de mantenimiento, continuidad operacional y gestión corporativa de abastecimiento de CODELCO.

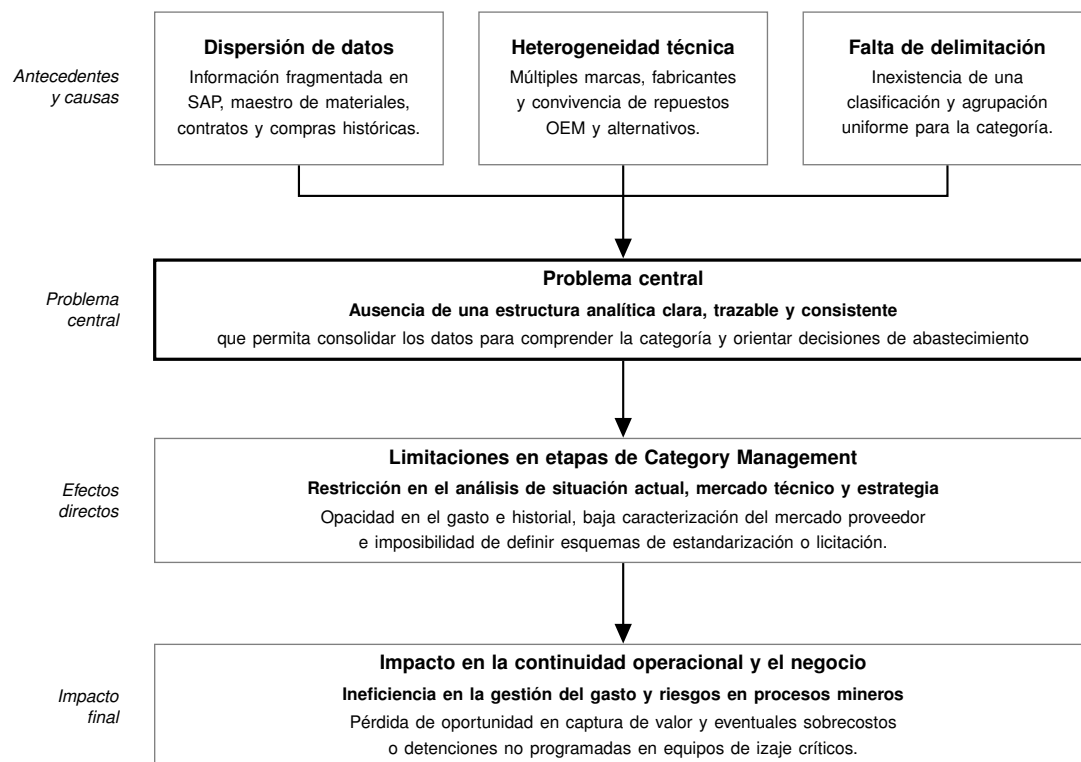


Figura 7: Flujo descriptivo del problema de investigación

Fuente: Elaboración propia

3 | Objetivo general

Formular una propuesta de estrategia de abastecimiento y contratación para la categoría de suministros de componentes para puentes grúa y grúas portales en Codelco, a partir del análisis de su situación actual, criticidad técnica y mercado proveedor, con el propósito de orientar futuras decisiones de licitación y abastecimiento.

3.1 Objetivos específicos

1. Delimitar y estructurar la categoría de suministros de componentes para puentes grúa y grúas portales, mediante la depuración, integración y clasificación de la información de materiales, compras y contratos, definiendo un pool maestro y familias funcionales trazables.
2. Caracterizar la situación actual de la categoría mediante el análisis del gasto histórico, la cobertura de compra, la modalidad de compra y la concentración de proveedores, identificando sus principales brechas de abastecimiento.
3. Analizar la relevancia operacional, la criticidad técnica y el mercado proveedor de la categoría, a partir del parque de equipos, la matriz FMECA corporativa de componentes y la caracterización de fabricantes, proveedores OEM, proveedores alternativos y canales de acceso al mercado nacional, identificando restricciones y oportunidades de homologación y competencia.
4. Segmentar las familias funcionales mediante la matriz de Kraljic, utilizando su impacto económico y la concentración observada del suministro, y complementar su interpretación con la criticidad técnica y la dependencia de fabricantes originales.
5. Construir y evaluar escenarios alternativos de abastecimiento mediante una evaluación multicriterio y un análisis de sensibilidad, con el fin de seleccionar un modelo recomendado y formular sus lineamientos, condiciones habilitantes y riesgos de implementación.

4 | Marco teórico

En este capítulo se presentan los principales conceptos, enfoques y herramientas que sustentan el desarrollo de la presente memoria. Su propósito es proporcionar una base teórica que permita comprender el estudio desde la perspectiva del abastecimiento estratégico y, en particular, desde el enfoque de gestión de categorías aplicado a la categoría de suministros de componentes para puentes grúa y grúas portales en Codelco.

La revisión conceptual se estructura en seis dimensiones integradas. Inicialmente, examina el abastecimiento estratégico y la gestión de la cadena de suministro, dando paso al enfoque de gestión de categorías como marco ordenador de las decisiones de compra. Posteriormente, aborda el mantenimiento industrial e introduce el análisis FMECA para dimensionar la criticidad técnica de los equipos de izaje. Asimismo, profundiza en las herramientas cuantitativas del estudio (análisis de gasto, índice HHI, matriz de Kraljic, costo total de propiedad, evaluación multicriterio y sensibilidad) y culmina con la caracterización del mercado proveedor junto con las estrategias de abastecimiento aplicables.

La lógica que articula estos ámbitos es que ninguna variable aislada describe adecuadamente la categoría. El gasto informa su importancia económica; la evaluación de criticidad y el FMECA aportan la consecuencia técnica de una falla; el índice HHI representa la concentración observada de proveedores; la cobertura contractual y la dependencia de fabricantes originales describen las condiciones de suministro; y la evaluación multicriterio integra estas evidencias para comparar alternativas. Esta separación conceptual es deliberada, pues evita equiparar concentración con riesgo total de suministro, o precio de compra con costo total. Cada herramienta se presenta, por tanto, junto con su alcance y sus límites de interpretación.

4.1 Abastecimiento estratégico

El abastecimiento estratégico corresponde a un enfoque de gestión orientado a planificar y ejecutar decisiones de compra y contratación considerando no solo el precio de adquisición, sino también variables como calidad, riesgo, continuidad operacional, mercado proveedor, costo total y generación de valor para la organización. A diferencia de un enfoque transaccional, centrado principalmente en responder a requerimientos puntuales de compra, el abastecimiento estratégico busca anticipar necesidades, analizar categorías de gasto, desarrollar proveedores y definir estrategias coherentes con los objetivos del negocio (Monczka et al., 2020).

En organizaciones intensivas en activos, como la minería, el abastecimiento estratégico adquiere especial relevancia debido a la alta dependencia de bienes, repuestos, servicios especializados y capacidades del mercado proveedor. Una decisión de abastecimiento no

adecuada puede impactar no solo el costo de compra, sino también la disponibilidad de equipos, los tiempos de mantenimiento, la continuidad operacional y la gestión de riesgos.

4.1.1 Supply Chain Management

El concepto de *Supply Chain Management* se refiere a la coordinación integrada de flujos de materiales, información, servicios y recursos financieros a lo largo de una cadena de suministro, desde proveedores hasta usuarios finales. Su objetivo es asegurar que los bienes y servicios requeridos estén disponibles en el momento, lugar, cantidad, calidad y costo adecuados (Christopher, 2011).

En el contexto minero, la cadena de suministro incluye actividades de planificación de demanda, compras, contratación, gestión de proveedores, inventarios, transporte, almacenamiento y soporte a la operación. En categorías asociadas a mantenimiento, esta cadena se vuelve particularmente crítica, ya que la falta de disponibilidad de un repuesto o componente puede afectar la ejecución de actividades de mantenimiento, aumentar tiempos de detención o generar riesgos para la continuidad operacional.

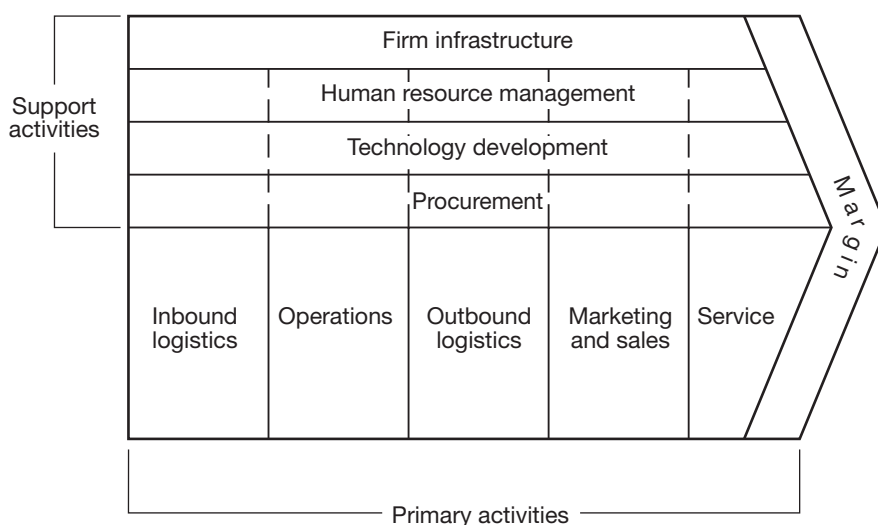


Figura 8: La cadena de valor

Fuente: Porter (1985), reproducido en Christopher (2011)

Para la categoría de componentes de puentes grúa, la gestión de la cadena de suministro implica comprender qué materiales se requieren, qué proveedores pueden suministrarlos, qué nivel de criticidad tienen, qué contratos los cubren y cuáles son los riesgos asociados a su disponibilidad. Por ello, el análisis de la categoría no puede limitarse al gasto histórico, sino que debe integrar antecedentes técnicos, contractuales, comerciales y operacionales.

4.1.2 Rol del abastecimiento en la cadena de suministro

El abastecimiento cumple un rol articulador dentro de la cadena de suministro, ya que conecta las necesidades internas de la organización con las capacidades del mercado proveedor. Su función no se limita a comprar bienes o contratar servicios, sino que incluye analizar mercados, definir estrategias de contratación, gestionar riesgos, asegurar cumplimiento normativo, evaluar proveedores y apoyar la captura de valor.

En Codelco, este rol se vincula con principios de probidad, transparencia, competitividad y eficiencia, los cuales deben orientar los procesos de compra y contratación. El Procedimiento Corporativo de Contratación establece etapas, responsabilidades, aprobaciones y modalidades de salida al mercado, mientras que la gestión de categorías aporta una base analítica previa para sustentar decisiones estratégicas de abastecimiento (Codelco, 2025e).

Para categorías de mantenimiento, el rol de abastecimiento es especialmente relevante porque las áreas usuarias requieren continuidad de suministro, compatibilidad técnica y tiempos de respuesta adecuados. En este sentido, abastecimiento debe equilibrar criterios comerciales con criterios técnicos y operacionales, evitando que las decisiones se basen únicamente en precio.

En empresas del Estado como Codelco, la sujeción estricta al Procedimiento Corporativo de Contratación busca garantizar probidad y competitividad, pero puede introducir rigideces y tiempos de tramitación extensos. Cuando los procesos licitatorios no responden con la agilidad requerida por el mantenimiento, se genera una propensión estructural hacia la compra spot o la fragmentación de pedidos de urgencia, lo que refuerza la necesidad de contar con estrategias de categoría previas que reduzcan la fricción administrativa.

4.1.3 Abastecimiento estratégico en minería

La minería se caracteriza por operaciones de alta escala, procesos continuos, activos especializados y una elevada dependencia de la disponibilidad operacional. En este contexto, el abastecimiento estratégico permite gestionar categorías críticas de bienes y servicios, reducir exposición a riesgos de suministro, mejorar condiciones comerciales y asegurar la disponibilidad de recursos necesarios para la operación.

En categorías asociadas a mantenimiento industrial, los desafíos son mayores debido a la diversidad de repuestos, la existencia de marcas específicas, la dependencia de fabricantes originales, la obsolescencia de componentes y la necesidad de compatibilidad técnica. Por ello, las estrategias de abastecimiento deben considerar no solo el gasto, sino también la criticidad del activo, el impacto de una falla, la disponibilidad del mercado proveedor y la posibilidad de homologar componentes.

En el caso de puentes grúa, el abastecimiento estratégico permite evaluar si conviene consolidar demanda, establecer contratos de cobertura, segmentar familias de repuestos, desarrollar proveedores alternativos o mantener abastecimiento OEM para componentes específicos. Estas decisiones deben estar alineadas con la continuidad operacional, la seguridad, la eficiencia contractual y la gestión de riesgos.

4.1.4 Repuestos MRO y sus características particulares

Los repuestos de mantenimiento, reparación y operación (MRO) presentan una lógica de gestión distinta de la de los insumos productivos de consumo estable. Su demanda puede ser intermitente, la ausencia de una pieza puede tener consecuencias desproporcionadas respecto de su precio, y su intercambiabilidad suele estar limitada por diseño, marca, condición de servicio o certificación técnica. Esta particularidad justifica que las categorías de mantenimiento no se administren con las mismas políticas aplicadas a materiales de consumo regular.

Huiskonen (2001) identifica cuatro características que condicionan la gestión logística de los repuestos de mantenimiento: la criticidad, entendida como la consecuencia de la falta del componente; la especificidad, asociada al grado de dependencia de un diseño o fabricante; el patrón de demanda, que puede ser recurrente, intermitente o ligado a una intervención puntual; y el valor del material. Estas dimensiones explican por qué una pieza económica puede requerir cobertura contractual, fuente asegurada o inventario de resguardo aun con bajo consumo, mientras una pieza estandarizada y de demanda recurrente admite mayor competencia.

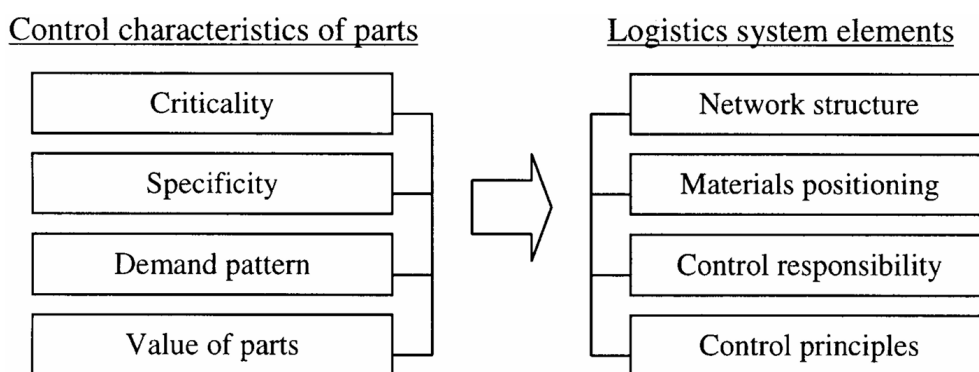


Figura 9: Características de control y elementos del sistema logístico pertinentes.

Fuente: Huiskonen (2001)

Para la categoría de puentes grúa, esta caracterización es directamente aplicable: coexisten componentes de alta especificidad y criticidad (principalmente aquellos vinculados a sistemas de frenado, izaje o seguridad) con materiales estandarizables de menor riesgo. Por ello, el marco de análisis debe permitir tratamientos diferenciados dentro de una misma categoría, en lugar de una política de compra uniforme.

4.2 Gestión de categorías

La gestión de categorías es una metodología de abastecimiento estratégico que agrupa bienes o servicios en conjuntos homogéneos, denominados categorías, con el propósito de analizarlos y gestionarlos de forma integrada. Este enfoque permite comprender el gasto, la demanda, los proveedores, las especificaciones técnicas, los contratos, los riesgos y las oportunidades de mejora asociadas a una familia de bienes o servicios (Codelco, 2017).

En Codelco, la gestión de categorías constituye una herramienta relevante para pasar desde una lógica de compra individual hacia una gestión estructurada y corporativa del abastecimiento. Su aplicación permite identificar sinergias entre divisiones, consolidar requerimientos, mejorar competitividad, reducir fragmentación y definir estrategias de contratación alineadas con las necesidades del negocio.

4.2.1 Concepto de categoría

Una categoría de suministro corresponde a un conjunto de bienes o servicios que comparten características técnicas, funcionales, comerciales o de mercado, y que pueden gestionarse de manera integrada. La definición correcta de una categoría es fundamental, ya que determina el universo de análisis, los proveedores relevantes, las familias de productos incluidas y las oportunidades estratégicas que pueden identificarse.

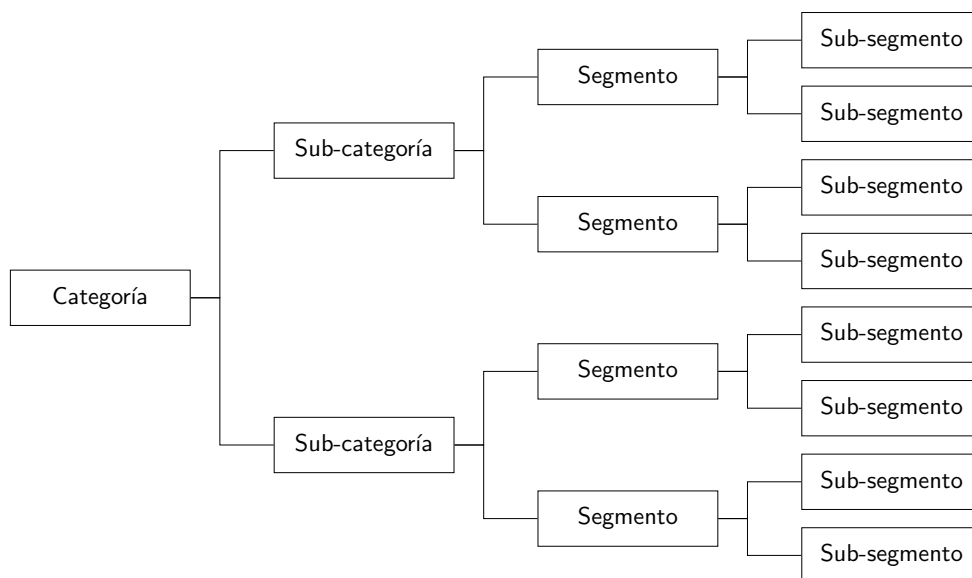


Figura 10: Estructura Genérica de una estructura de segmentación de una categoría

Fuente: elaboración propia

En el caso de esta memoria, la categoría corresponde a suministros de componentes para puentes grúa. Esta categoría incluye materiales, repuestos, partes y piezas asociados

a equipos de izaje, tales como cables, ganchos, botoneras, polipastos, motorreductores, rieles, sistemas eléctricos y otros componentes vinculados a la operación y mantenimiento de puentes grúa.

La delimitación de la categoría es un paso crítico, porque los materiales asociados a equipos de izaje pueden encontrarse dispersos en el maestro de materiales, con descripciones heterogéneas, marcas distintas y distintos niveles de detalle técnico. Por ello, antes de definir una estrategia de abastecimiento, resulta necesario construir una base analítica que permita identificar qué materiales pertenecen efectivamente a la categoría.

Asimismo, la delimitación de la categoría se conecta directamente con la gobernanza de datos maestros (*Master Data Management*, MDM). La existencia de duplicidades, descripciones ambiguas y codificaciones heterogéneas en sistemas ERP dificulta la visibilidad del gasto real. Por ello, la gestión de categorías requiere como condición previa la depuración, normalización y estandarización del maestro de materiales, asegurando que cada SKU cuente con atributos técnicos trazables y una taxonomía unificada.

4.2.2 Proceso de gestión de categorías

El proceso de gestión de categorías se desarrolla a través de fases que permiten pasar desde el diagnóstico de una categoría hasta la implementación de una estrategia contractual. En la metodología corporativa de Codelco, este proceso contempla seis fases: análisis de la situación actual, análisis técnico y de mercado, definición de estrategias, elaboración de RFQ, evaluación de propuestas, y negociación y cierre contractual (Codelco, 2017).

La presente memoria se concentra en las tres primeras fases. La primera busca comprender la situación actual de la categoría, considerando gasto, materiales, contratos, proveedores y cobertura contractual. La segunda profundiza en el análisis técnico y de mercado, incorporando criterios de criticidad, marcas, fabricantes, proveedores actuales y potenciales. La tercera integra los hallazgos anteriores para formular lineamientos estratégicos de abastecimiento.

Este proceso es especialmente útil para categorías que presentan alta dispersión de materiales, múltiples proveedores y distintos niveles de criticidad, como ocurre con los suministros asociados a puentes grúa. La metodología permite estructurar información dispersa y transformarla en insumos para la toma de decisiones.

4.2.3 Consolidación de demanda y economías de escala

La consolidación de demanda consiste en agrupar requerimientos similares provenientes de distintas áreas, divisiones o unidades, con el objetivo de aumentar volumen, mejorar condiciones comerciales, reducir fragmentación y fortalecer el poder de negociación. Esta

estrategia puede generar economías de escala cuando el mayor volumen permite obtener mejores precios, condiciones logísticas, tiempos de entrega o niveles de servicio.

En el contexto de Codelco, la consolidación de demanda adquiere relevancia debido a la existencia de operaciones distribuidas en distintas divisiones, las cuales pueden consumir materiales similares bajo esquemas de compra separados. En categorías de mantenimiento, esta fragmentación puede traducirse en múltiples compras spot, baja cobertura contractual y pérdida de oportunidades de negociación.

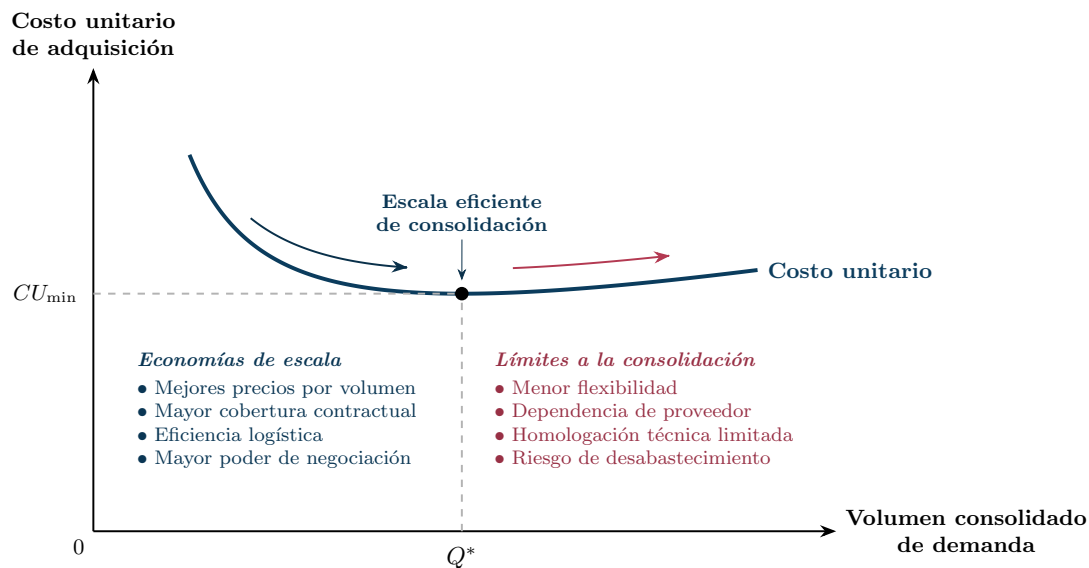


Figura 11: Gráfico de economías de escalas

Fuente: elaboración propia

Para la categoría de puentes grúa, la consolidación de demanda permite evaluar si ciertos componentes o familias de repuestos presentan recurrencia suficiente para ser gestionados bajo contratos de cobertura o acuerdos corporativos. Sin embargo, esta estrategia debe analizarse junto con criterios técnicos, ya que no todos los componentes son homologables ni intercambiables entre equipos, marcas o configuraciones.

4.2.4 Rol en el abastecimiento estratégico

La gestión de categorías cumple un rol central dentro del abastecimiento estratégico, ya que permite ordenar el análisis de gasto, mercado y riesgo antes de definir una estrategia de contratación. Su aporte consiste en entregar una visión integrada de la categoría, evitando decisiones aisladas basadas únicamente en requerimientos puntuales.

En el caso de esta memoria, la gestión de categorías permite conectar información proveniente de distintas fuentes: maestro de materiales, registros de compra, contratos, proveedores, marcas, fabricantes y antecedentes de equipos. Esta integración es necesaria

para identificar brechas de estandarización, concentración de proveedores, cobertura contractual, compras spot recurrentes y oportunidades de mejora.

De esta manera, la gestión de categorías actúa como puente entre el análisis técnico-operacional de los puentes grúa y las decisiones comerciales de abastecimiento. Su aplicación permite formular lineamientos estratégicos más robustos, trazables y alineados con las necesidades de mantenimiento y continuidad operacional.

4.3 Mantenimiento industrial y criticidad de activos

El mantenimiento industrial comprende el conjunto de actividades orientadas a preservar o restituir la condición operacional de equipos, instalaciones y sistemas productivos. En industrias intensivas en activos, como la minería, el mantenimiento es fundamental para asegurar disponibilidad, confiabilidad, seguridad y continuidad operacional.

La gestión de mantenimiento no depende únicamente de la planificación y ejecución de actividades técnicas, sino también de la disponibilidad de repuestos, componentes, herramientas, servicios especializados y contratos de soporte. Por ello, existe una relación directa entre mantenimiento y abastecimiento: una estrategia de suministro deficiente puede afectar la ejecución del mantenimiento y aumentar el riesgo de indisponibilidad de activos.

4.3.1 Sistema Operativo de Mantenimiento (SOMA)

El Sistema Operativo de Mantenimiento (SOMA) corresponde al modelo utilizado en Codelco para estandarizar prácticas, procesos y criterios asociados a la gestión de mantenimiento. Su propósito es ordenar la gestión de activos, mejorar la confiabilidad operacional y orientar recursos hacia los equipos de mayor impacto para la Corporación (Codelco, 2025b).

Dentro del SOMA, la Fase B adquiere especial relevancia para esta memoria, ya que se orienta a conocer los activos y clasificarlos según su criticidad. Esta clasificación considera dimensiones como seguridad, medio ambiente, producción y costos, además de la frecuencia o probabilidad de falla. De esta forma, el mantenimiento puede priorizar sus esfuerzos en activos que presentan mayor impacto operacional.

Para abastecimiento, la información proveniente del SOMA permite vincular materiales y repuestos con equipos críticos o esenciales. Esto es relevante porque no todos los materiales deben gestionarse bajo los mismos criterios: los repuestos asociados a activos de alta criticidad pueden requerir mayor cobertura contractual, validación técnica, stock estratégico o proveedores con mayor capacidad de respuesta.



Figura 12: Fases del SOMA

Fuente: Codelco (2025b)

4.3.2 Evaluación de criticidad

La evaluación de criticidad es una herramienta que permite jerarquizar activos, equipos o componentes según el impacto que tendría su falla y la probabilidad o frecuencia de ocurrencia. Generalmente considera dimensiones como seguridad, medio ambiente, producción, costos, continuidad operacional y disponibilidad de alternativas.

En Codelco, la evaluación de criticidad permite clasificar equipos según su relevancia para la operación y definir tratamientos diferenciados de mantenimiento. El Libro Corporativo de Equipos Críticos y Esenciales señala que la evaluación considera el impacto de falla y su frecuencia, generando un índice de criticidad que permite clasificar los activos y orientar la gestión de mantenimiento (Codelco, 2025a).

Desde la perspectiva de abastecimiento, la criticidad permite priorizar materiales o familias de repuestos. Un componente de bajo gasto puede ser estratégicamente relevante si su falta de disponibilidad afecta un equipo esencial o detiene una actividad crítica de mantenimiento. Por ello, la criticidad complementa el análisis de gasto y permite construir una estrategia de categoría más equilibrada.

4.3.3 Equipos críticos y esenciales

Los equipos críticos son aquellos cuya falla puede generar impactos significativos en producción, seguridad, medio ambiente, costos o continuidad operacional. Por su parte, los equipos esenciales corresponden a activos que requieren un tratamiento especial debido a su rol en la seguridad, confiabilidad o soporte de procesos relevantes.

La clasificación de equipos críticos y esenciales permite priorizar recursos de mantenimiento, planificación, repuestos y abastecimiento. En el caso de Codelco, esta clasificación

busca reforzar la gestión de activos y asegurar que los equipos de mayor impacto cuenten con criterios adecuados de mantenimiento, listas de materiales, criticidad de repuestos y seguimiento operacional (Codelco, 2025a).

Para una estrategia de abastecimiento, esta distinción es importante porque permite diferenciar entre materiales de alta criticidad operacional y materiales rutinarios. De esta forma, la estrategia puede combinar contratos de cobertura para componentes críticos, compra competitiva para materiales de menor riesgo y análisis técnico para posibles homologaciones.

4.3.4 Puentes grúa y grúas portales como equipos esenciales

Los puentes grúa y las grúas portales son equipos de izaje utilizados para levantar, transportar y posicionar cargas dentro de instalaciones industriales, talleres, plantas, bodegas, fundiciones y refinerías. En ambos casos el movimiento se logra mediante un puente, un carro y un mecanismo de elevación. La diferencia principal radica en cómo se sostiene el puente: en un **puente grúa**, este se desplaza sobre caminos de rodadura elevados soportados por la estructura del edificio o por una estructura fija; en una **grúa portal**, el puente se apoya en patas que transmiten la carga hacia rieles ubicados a nivel del suelo. La norma ISO 4306-5 establece el vocabulario específico de ambos tipos, mientras que ISO 4301-5 los clasifica según sus condiciones de servicio, tales como ciclos de trabajo y espectro de cargas (International Organization for Standardization, 1991, 2005).

Esta distinción es pertinente para el abastecimiento porque, si bien ambos tipos comparten familias funcionales (izaje, frenado, transmisión, traslación, accionamiento eléctrico y control), no debe asumirse que sus componentes son intercambiables. La capacidad de carga, el grupo de servicio, la geometría, el fabricante y el sistema de control pueden modificar la especificación de una misma pieza. En consecuencia, una taxonomía por subsistema facilita el análisis agregado de la categoría, en tanto que cualquier homologación exige trazabilidad hasta el equipo y la pieza específica.

En operaciones mineras, los puentes grúa y las grúas portales pueden cumplir un rol esencial al permitir maniobras de mantenimiento sobre activos de gran tamaño o peso. Su indisponibilidad puede generar retrasos en actividades planificadas, limitar la capacidad de intervención sobre otros equipos o aumentar la exposición a riesgos operacionales si no existen alternativas adecuadas de izaje. Por esta razón, la categoría de suministros asociada no debe analizarse únicamente desde el gasto: es necesario considerar la función operacional de los equipos, la criticidad de sus componentes, la disponibilidad de repuestos, los tiempos de entrega y la capacidad del mercado proveedor para responder ante requerimientos de mantenimiento.

4.3.5 Procesos mineros en donde participa un puente grúa

La criticidad de un puente grúa o de una grúa portal depende de su función dentro del proceso, y no únicamente del área donde se encuentra instalado. En la ruta de óxidos, los puentes grúa de las naves de electroobtención participan directamente en la cosecha y reposición de cátodos, así como en su traslado hacia las etapas de lavado y despegue. La literatura de diseño de plantas de electroobtención considera explícitamente la productividad del puente grúa para determinar la capacidad de cosecha, el número de equipos requeridos y la configuración de la nave electrolítica (Forner et al., 2018).

De manera equivalente, en la electrefinación los puentes grúa intervienen en el manejo y posicionamiento de ánodos y cátodos. La precisión de esta maniobra influye en el espaciamiento entre electrodos, la distribución de corriente y, por tanto, la calidad del cobre catódico producido (Aslin et al., 2005). En estos casos, la indisponibilidad del equipo puede afectar directamente la continuidad o la capacidad del proceso.



Figura 13: Foto de proceso de electroobtención del cobre

Fuente: Codelco (s.f.)

En fundición, la condición de equipo productivo directo aplica cuando el puente grúa participa en el movimiento de cucharas con mata, escoria o cobre blister, o en maniobras asociadas a hornos de ánodos y moldeo. Sin embargo, un puente grúa ubicado en una fundición también puede cumplir solo una función de mantenimiento; por ello, la criticidad debe determinarse según la maniobra que realiza y la existencia de redundancia (de Vries et al., 2016).

En contraste, en chancado, molienda, flotación, lixiviación, SX, talleres y bodegas, estos equipos suelen apoyar el desmontaje y recuperación de activos de proceso. Su falla no necesariamente detiene de inmediato la producción, pero puede aumentar el tiempo de reparación de un activo crítico. Esta distinción permite evitar clasificar de manera uniforme a todos los puentes grúa y grúas portales de la categoría.

4.3.6 Análisis de modos, efectos y criticidad de falla (FMECA)

El análisis de modos, efectos y criticidad de falla (*Failure Modes, Effects and Criticality Analysis*, FMECA) es una técnica estructurada que examina cómo puede fallar un componente, qué efecto produce cada modo de falla y qué tan grave y frecuente es dicho efecto. Constituye una extensión del análisis de modos y efectos de falla (FMEA) al que incorpora, además, una valoración explícita de la criticidad. La norma IEC 60812:2018 entrega lineamientos para planificar, ejecutar, documentar y mantener estos análisis, y admite distintos esquemas de priorización, incluidos el número de prioridad de riesgo y las matrices de criticidad (International Electrotechnical Commission, 2018).

Una forma difundida de ordenar los modos de falla en un FMEA es el número de prioridad de riesgo (NPR), definido como el producto de tres factores:

$$NPR = S \times O \times D, \quad (1)$$

donde S representa la severidad del efecto, O la ocurrencia o frecuencia del modo de falla y D la dificultad de detección. Sin embargo, la Ecuación 1 no constituye una regla universal: el resultado depende de la definición de las escalas, de los criterios incorporados y de la calidad del juicio técnico. Por esta razón, toda aplicación debe declarar la fórmula efectivamente utilizada, los umbrales de clasificación, la fuente de cada valoración y quién realizó o validó la evaluación.

En esta memoria, el FMECA se operacionaliza a nivel de componente considerando severidad (S), frecuencia de falla (F), dificultad de detección (D), costo de mantenimiento (CM) e impacto sobre seguridad, higiene y ambiente (SHA). El puntaje de consecuencias y la criticidad total de un componente c se calculan como:

$$C_c = (S_c \times D_c) + CM_c + SHA_c, \quad (2)$$

$$CT_c = F_c \times C_c, \quad (3)$$

donde C_c es el puntaje de consecuencias y CT_c el puntaje total de criticidad. La definición de las escalas de cada factor y los umbrales que separan las categorías *muy crítico*, *crítico* y *no crítico* se detallan en el Capítulo de Metodología, de modo de mantener la trazabilidad entre el concepto y su aplicación.

Desde la perspectiva del abastecimiento, el FMECA cumple dos funciones. Primero, permite distinguir componentes cuya falla compromete la seguridad o la continuidad (típicamente los asociados a frenado, izaje, alimentación eléctrica y dispositivos de seguridad) de aquellos de menor consecuencia, que admiten mayor apertura competitiva. Segundo, entrega evidencia a nivel de componente que no debe extrapolarse automáticamente a todos

		Likelihood of Occurrence			
		Unlikely to Occur (Unlikely)	Could Occur (Possible)	Likely to occur (Occasional)	Likely to occur several times (Frequent)
Security	Fatalities (Critical)				
	Multi injuries or severe health effects (Major)				
	Injury or health effects (Moderate)				
	Minor injury or health effects (Minor)				

Figura 14: Matriz de Probabilidad y Seguridad

Fuente: Manar Rekabi (2024). Fuente: Codelco (2025b)

los SKU de una familia: la presencia de un componente muy crítico no implica que toda la familia lo sea, y la ausencia de componentes evaluados no equivale a baja criticidad, sino a ausencia de evaluación. Esta distinción es la que justifica incorporar el FMECA como una capa técnica complementaria a la segmentación económica, y no como una simple validación de esta.

4.3.7 Implicancias para abastecimiento

La relación entre criticidad de activos y abastecimiento implica que las estrategias de compra y contratación deben considerar el impacto operacional de los materiales. En categorías de mantenimiento, puede existir una diferencia relevante entre el valor económico de un repuesto y su importancia operacional. Un material de bajo costo puede generar consecuencias significativas si su falta de disponibilidad impide ejecutar una mantención o recuperar un equipo.

Para la categoría de puentes grúa, esta implicancia se traduce en la necesidad de segmentar componentes según criticidad, riesgo de suministro, recurrencia de consumo, cobertura contractual y disponibilidad de alternativas. Esta segmentación permite definir tratamientos diferenciados, tales como contratos de cobertura, validación de proveedores alternativos, homologación técnica, inventarios críticos o acuerdos de nivel de servicio.

De esta manera, el abastecimiento estratégico contribuye a la continuidad operacional al asegurar que los componentes relevantes estén disponibles bajo condiciones técnicas y comerciales adecuadas.

4.4 Herramientas para la gestión de categorías

La gestión de categorías se apoya en herramientas analíticas que permiten comprender el comportamiento de la categoría, identificar oportunidades y fundamentar decisiones estratégicas. Estas herramientas permiten analizar gasto, calidad de datos, concentración de proveedores, criticidad, riesgo de suministro, costo total de propiedad y la comparación estructurada de alternativas.

En esta memoria, las herramientas se utilizan para estructurar la categoría de suministros de componentes para puentes grúa, identificar brechas y proponer lineamientos estratégicos de abastecimiento. A continuación se presentan el análisis de gasto, la clasificación ABC, el índice de concentración HHI, la matriz de Kraljic, el costo total de propiedad, la segmentación de proveedores, la evaluación multicriterio y el análisis de sensibilidad.

4.4.1 Análisis de gasto (Spend Analysis)

El análisis de gasto, o *Spend Analysis*, consiste en revisar, depurar, clasificar y analizar el gasto histórico de una organización o categoría. Su objetivo es identificar qué se compra, cuánto se compra, quién compra, a quién se compra, bajo qué modalidad y con qué nivel de concentración.

Esta herramienta permite detectar patrones de consumo, familias de mayor impacto económico, proveedores relevantes, compras recurrentes y oportunidades de consolidación. En la gestión de categorías, el análisis de gasto constituye uno de los primeros insumos para comprender la situación actual.

En la categoría de puentes grúa, el análisis de gasto permite identificar divisiones con mayor consumo, proveedores principales, familias de componentes relevantes, compras spot recurrentes y posibles brechas de cobertura contractual. Sin embargo, sus resultados deben complementarse con análisis técnico y criticidad, ya que el gasto no siempre refleja la importancia operacional de un material.

4.4.2 Análisis ABC y Pareto

El análisis ABC y el principio de Pareto permiten clasificar materiales, proveedores o familias según su importancia relativa dentro del gasto o consumo. En términos generales, el análisis ABC divide los elementos en grupos de alta, media y baja relevancia, mientras que el principio de Pareto sugiere que una proporción reducida de elementos suele explicar una parte significativa del impacto total.

En abastecimiento, estas herramientas permiten priorizar esfuerzos de análisis y gestión. Por ejemplo, los proveedores o familias que concentran la mayor parte del gasto pueden

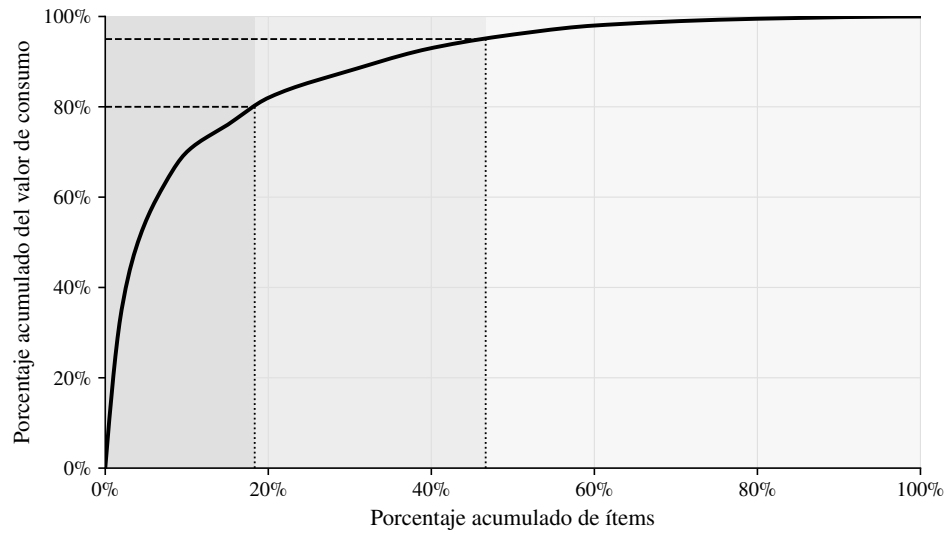


Figura 15: Clasificación ABC y principio de Pareto aplicados al gasto

Fuente: elaboración propia.

ser analizados con mayor detalle, mientras que los elementos de menor impacto pueden gestionarse mediante estrategias más simples o estandarizadas.

En el caso de puentes grúa, el análisis ABC puede aplicarse a familias de materiales, proveedores, divisiones o POS. Esto permite identificar los focos prioritarios de la categoría y orientar la definición estratégica hacia aquellos elementos que concentran mayor impacto económico o recurrencia.

4.4.3 Concentración de proveedores: índice Herfindahl–Hirschman (HHI)

El índice de Herfindahl–Hirschman (HHI) es una medida de concentración construida a partir de la suma de los cuadrados de las participaciones de cada actor dentro de un total. Para una familia técnica f atendida por n_f proveedores, se define como:

$$HHI_f = \sum_{i=1}^{n_f} s_{if}^2, \quad (4)$$

donde s_{if} es la participación porcentual del proveedor i en el gasto de la familia f , expresada entre 0 y 100. Con esta escala, el índice varía entre un valor cercano a cero (representativo de un mercado atomizado con múltiples proveedores) y 10.000, que corresponde a una única fuente que concentra el 100 % del gasto. El índice aumenta cuando disminuye el número de proveedores o cuando el gasto se reparte de manera más desigual, por lo que resume en un solo número tanto el número de actores como la asimetría de su participación.

El HHI proviene del análisis de competencia, donde las autoridades de mercado emplean bandas de referencia para evaluar el grado de concentración de una industria (U.S. Department of Justice & Federal Trade Commission, 2010). No obstante, dichos umbrales fueron diseñados para el análisis de poder de mercado y no deben trasladarse mecánicamente a una cartera de compras. En una memoria de abastecimiento, el HHI calculado sobre el gasto histórico describe la concentración observada de las compras, y no necesariamente la estructura de todo el mercado disponible: una familia atendida históricamente por un solo proveedor registrará un HHI elevado aunque existan alternativas técnicamente viables no utilizadas. Por esta razón, en este estudio los umbrales que separan alta y baja concentración se definen de manera relativa a la propia categoría, utilizando las medianas observadas entre las familias, y su cálculo se detalla en el Capítulo de Metodología.

La principal precaución teórica es que el HHI no representa por sí solo el riesgo total de suministro. El índice no incorpora la dependencia de fabricantes originales, la criticidad técnica del componente, la cobertura contractual, los plazos de entrega, la obsolescencia ni la existencia de equivalencias homologables. En consecuencia, en esta memoria el HHI se emplea únicamente como una aproximación a la concentración del suministro (el eje horizontal de la matriz de Kraljic) y se complementa con las demás dimensiones para interpretar cada posición. Junto con el índice, se examinan indicadores auxiliares como la participación del proveedor dominante, la proporción de gasto asociada a fuente única y la existencia de SKU con evidencia de múltiples proveedores.

4.4.4 Matriz de Kraljic

La matriz de Kraljic es una herramienta de segmentación estratégica que clasifica categorías o familias de compra según dos dimensiones: impacto en el negocio y riesgo de suministro (Kraljic, 1983). A partir de estas dimensiones, las situaciones de compra pueden clasificarse como rutinarias, apalancables, cuello de botella o estratégicas.

Las categorías rutinarias presentan bajo impacto y bajo riesgo, por lo que suelen gestionarse con foco en eficiencia administrativa. Las categorías apalancables tienen alto impacto económico y bajo riesgo de suministro, permitiendo estrategias de competencia y negociación. Las categorías cuello de botella tienen bajo impacto económico pero alto riesgo de suministro, por lo que requieren asegurar disponibilidad. Finalmente, las categorías estratégicas presentan alto impacto y alto riesgo, requiriendo relaciones más robustas con proveedores y gestión activa del suministro.

Para la categoría de puentes grúa, la matriz de Kraljic permite segmentar familias de componentes según su relevancia económica, criticidad operacional y complejidad del mercado proveedor. Esta herramienta es especialmente útil porque permite diferenciar el tratamiento de repuestos críticos, componentes de alta rotación, materiales rutinarios y elementos con dependencia de marcas u OEM.

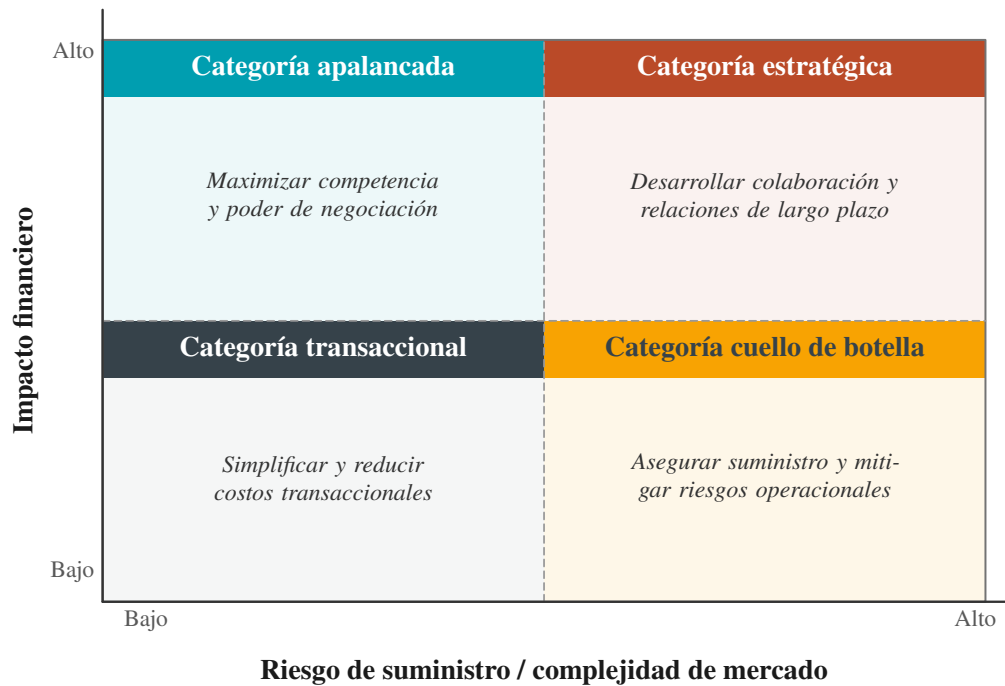


Figura 16: Matriz de Kraljic y orientaciones estratégicas generales

Fuente: elaboración propia a partir de Kraljic (1983).

No obstante su amplia difusión, la formulación original de la matriz no prescribe una única métrica para construir sus ejes, y la literatura posterior ha advertido que la medición de cada dimensión, la definición de los límites entre cuadrantes y la interpretación de los movimientos estratégicos requieren un criterio explícito y adaptado al contexto (Gelderman & Van Weele, 2003). En esta memoria, dicha operacionalización se resuelve del siguiente modo: el eje de impacto se mide mediante la participación de cada familia en el gasto acumulado de la categoría, y el eje horizontal mediante el HHI descrito en la Ecuación 4. Por esta razón, ese eje se denomina con precisión *concentración observada de proveedores*, y no un índice integral de riesgo de suministro.

Una limitación conceptual relevante es que la matriz de Kraljic no incorpora la criticidad técnica del componente como una dimensión independiente. Dos familias pueden ocupar el mismo cuadrante económico y, sin embargo, requerir tratamientos distintos si una admite sustitución y la otra está vinculada a seguridad o a diseño propietario. Por ello, en este estudio la criticidad FMECA, la cobertura contractual y la dependencia OEM no modifican las coordenadas de la matriz, sino que se utilizan para interpretar cada posición y para formular los lineamientos correspondientes. Bajo esta lógica, los eventuales movimientos de una familia entre cuadrantes deben entenderse como metas de gestión condicionadas a la incorporación efectiva de fuentes alternativas y a su validación técnica, y no como reclasificaciones ya materializadas.

4.4.5 Costo total de propiedad (TCO)

El costo total de propiedad, o *Total Cost of Ownership* (TCO), corresponde a una herramienta que permite evaluar el costo completo asociado a la adquisición, uso, operación, mantenimiento, almacenamiento, falla, reposición y disposición de un bien o servicio. Su propósito es superar una visión centrada únicamente en el precio de compra, haciendo visibles costos que pertenecen a distintas funciones y que, por ello, no aparecen en una sola transacción (Ellram, 1995).

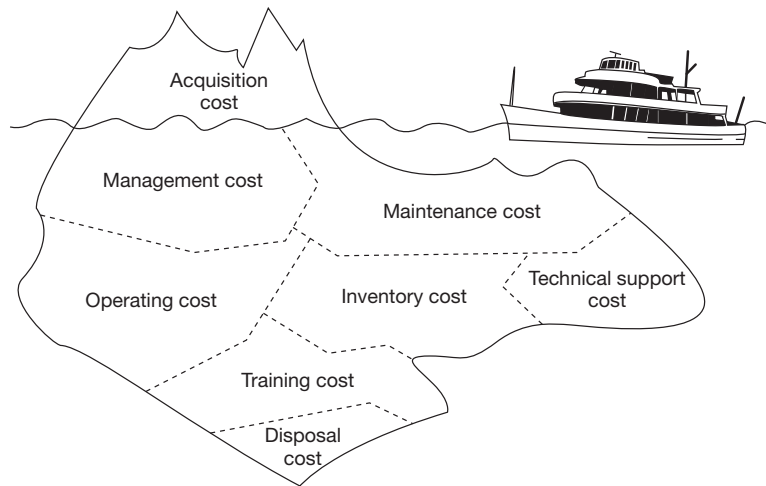


Figura 17: Analogía del concepto de costo total de propiedad

Fuente: extraído de Christopher (2011), Figura 2.1.

Una representación general del costo total de propiedad de una alternativa a puede expresarse como la suma de sus componentes:

$$TCO_a = C_{adq,a} + C_{log,a} + C_{inv,a} + C_{cal,a} + C_{mant,a} + C_{indisp,a} + C_{disp,a}, \quad (5)$$

donde los términos corresponden, respectivamente, a los costos de adquisición, logística, inventario, calidad, mantenimiento, indisponibilidad y disposición. La estructura concreta debe adaptarse al objeto de compra y a la información disponible. En repuestos para puentes grúa y grúas portales, el costo de indisponibilidad puede dominar al precio de adquisición, dado el impacto operacional de una detención; en otros casos, la mayor diferencia entre alternativas puede provenir del plazo de entrega, la vida útil o la necesidad de soporte técnico especializado.

En el contexto de la minería continua, el término de indisponibilidad ($C_{indisp,a}$) adquiere un peso dominante sobre la estructura de TCO. Dado que los puentes grúa y grúas portales intervienen en maniobras críticas de mantenimiento (como el reemplazo de componentes en molinos, chancadores o celdas de flotación), la falta imprevista de un repuesto no representa solo el valor de adquisición de la pieza, sino el costo de oportunidad por la

detención de la línea productiva, el cual puede superar en varios órdenes de magnitud el precio de compra.

En abastecimiento estratégico, el TCO permite comparar alternativas considerando costos directos e indirectos. Un proveedor con menor precio unitario puede no ser la mejor alternativa si presenta mayores tiempos de entrega, menor confiabilidad, mayor riesgo técnico o costos adicionales de mantenimiento. Cabe precisar que el TCO solo puede presentarse como un cálculo cuantitativo cuando existen datos y reglas para estimar cada uno de sus componentes; cuando esas condiciones no se cumplen, corresponde emplearlo como criterio ordinal de evaluación (como ocurre en la comparación de escenarios de esta memoria) o declararlo explícitamente como línea de desarrollo posterior, sin confundirlo con una estructura de costos efectivamente calculada.

4.4.6 Segmentación de proveedores

La segmentación de proveedores consiste en clasificar a los proveedores según criterios como gasto, criticidad, desempeño, capacidad técnica, dependencia, riesgo, cobertura geográfica o rol dentro del mercado. Esta herramienta permite definir estrategias diferenciadas de relación, desarrollo, evaluación y control.

En categorías de mantenimiento, la segmentación permite distinguir entre fabricantes originales, representantes, distribuidores, proveedores alternativos y servicios técnicos especializados. Cada tipo de proveedor presenta ventajas y riesgos distintos. Por ejemplo, un proveedor OEM puede ofrecer mayor respaldo técnico, mientras que un proveedor alternativo puede aportar competitividad o tiempos de respuesta más convenientes, siempre sujeto a validación técnica.

Para la categoría de puentes grúa, la segmentación de proveedores permite evaluar concentración, dependencia, alternativas de suministro y oportunidades de ampliación de competencia. Esta información es clave para definir lineamientos de contratación y posibles estrategias de homologación.

4.4.7 Evaluación multicriterio de escenarios

Cuando las alternativas de abastecimiento difieren simultáneamente en costo, continuidad, seguridad, competencia y factibilidad, no existe una única unidad natural de comparación. El análisis multicriterio de decisiones (*Multi-Criteria Decision Analysis*, MCDA) estructura este problema mediante un conjunto de alternativas, un conjunto de criterios, un vector de ponderaciones y una regla de agregación. Su propósito no es eliminar el juicio experto, sino hacerlo explícito, trazable y discutible (Belton & Stewart, 2002).

En un modelo aditivo ponderado, el puntaje de un escenario e se obtiene como la suma

de sus calificaciones ponderadas por la importancia de cada criterio:

$$S_e = \sum_{k=1}^K w_k q_{ek}, \quad \sum_{k=1}^K w_k = 1, \quad w_k \geq 0, \quad (6)$$

donde q_{ek} es la calificación del escenario e en el criterio k y w_k es la ponderación normalizada de dicho criterio. El modelo permite comparar escenarios siempre que las escalas de calificación sean consistentes y que se acepte la compensación entre criterios, es decir, que un buen desempeño en un atributo pueda compensar una menor calificación en otro.

La principal condición de validez de este enfoque es la trazabilidad de las calificaciones. Una buena práctica consiste en definir previamente qué evidencia corresponde a cada nivel de la escala; de lo contrario, la aritmética puede ser correcta pero la nota no ser reproducible por un tercero. Por ello, para que la evaluación sea auditable deben registrarse la definición de cada criterio, su ponderación, las anclas de la escala, la evidencia utilizada y la justificación de cada calificación. El puntaje final no demuestra que un escenario sea universalmente óptimo: indica cuál es preferido bajo el modelo, la evidencia y los supuestos declarados. En esta memoria, los criterios, sus pesos y las reglas de calificación empleadas se detallan en el Capítulo de Metodología.

4.4.8 Análisis de sensibilidad y robustez

El análisis de sensibilidad examina en qué medida cambian los resultados de un modelo cuando se modifican sus parámetros o supuestos. Aplicado a una evaluación multicriterio, permite verificar si la recomendación depende excesivamente de una ponderación particular o si, por el contrario, se mantiene estable ante variaciones razonables. Para una variante r del vector de pesos, el puntaje del escenario e se recalcula como:

$$S_e^{(r)} = \sum_{k=1}^K w_k^{(r)} q_{ek}, \quad r = 1, \dots, R, \quad (7)$$

manteniendo constantes las calificaciones q_{ek} . Una recomendación se considera robusta dentro del rango analizado cuando el escenario preferido conserva el primer lugar en las variantes evaluadas. El reporte de este análisis debe indicar los parámetros modificados, la regla de normalización empleada y el efecto sobre el orden de los escenarios (Pannell, 1997).

Es importante reconocer los límites de este procedimiento. Un análisis de sensibilidad univariado, que modifica un peso a la vez y redistribuye el ajuste entre los criterios restantes, no explora las interacciones entre varias ponderaciones simultáneas ni valida las calificaciones originales, que incorporan juicio analítico. Por ello, la robustez que verifica

es acotada: confirma que la conclusión no depende de una combinación exacta de pesos dentro del rango examinado, pero no sustituye la validación de las notas ni la deliberación de los responsables. Si el orden de preferencia cambiara ante variaciones pequeñas, la recomendación debería declararse sensible y requerir evidencia adicional.

4.5 Análisis de mercado proveedor

El análisis de mercado proveedor busca comprender la estructura, capacidades, restricciones y dinámica competitiva del mercado que abastece una determinada categoría. En gestión de categorías, este análisis permite evaluar proveedores actuales y potenciales, identificar barreras de entrada, analizar riesgos de suministro y determinar oportunidades de competitividad.

En el caso de puentes grúa, el mercado proveedor puede incluir fabricantes originales, representantes, distribuidores de repuestos, empresas de servicios técnicos, integradores y proveedores alternativos. La existencia de distintas marcas, configuraciones y componentes exige un análisis que combine variables técnicas y comerciales.

4.5.1 Estructura de mercado

La estructura de mercado se refiere a la forma en que se organiza la oferta de proveedores para una determinada categoría. Puede estar compuesta por muchos proveedores competitivos, pocos proveedores especializados, fabricantes originales con representantes exclusivos o mercados con barreras técnicas relevantes.

Comprender la estructura de mercado permite definir estrategias de abastecimiento más adecuadas. En mercados competitivos, puede ser conveniente promover licitaciones abiertas o consolidar demanda para capturar mejores condiciones. En mercados con pocos proveedores o alta dependencia técnica, puede ser necesario asegurar suministro, desarrollar alternativas o establecer relaciones de largo plazo.

Para la categoría de puentes grúa, la estructura de mercado debe analizarse considerando marcas instaladas, fabricantes originales, distribuidores autorizados, disponibilidad de repuestos equivalentes, cobertura geográfica y capacidad de respuesta ante requerimientos de mantenimiento.

4.5.2 Cinco fuerzas de Porter

El modelo de las cinco fuerzas de Porter permite analizar la intensidad competitiva de un mercado considerando cinco dimensiones: rivalidad entre competidores, amenaza de

nuevos entrantes, poder de negociación de proveedores, poder de negociación de clientes y amenaza de productos o soluciones sustitutas (Porter, 2008).

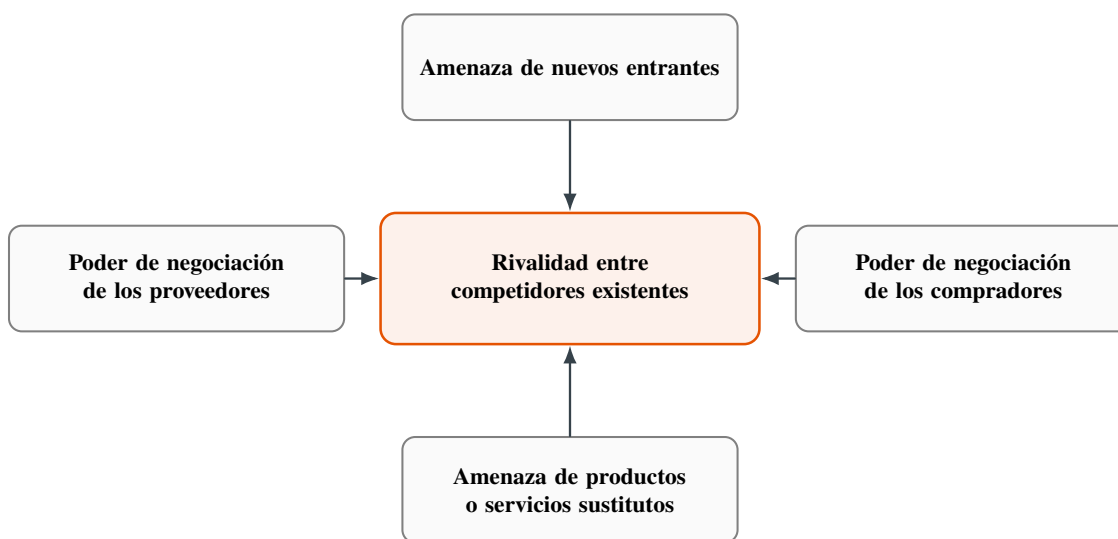


Figura 18: Modelo de las cinco fuerzas competitivas

Fuente: elaboración propia a partir de Porter (2008).

En abastecimiento, esta herramienta permite comprender qué tan atractivo o riesgoso es un mercado proveedor. Por ejemplo, un mercado con pocos proveedores, altas barreras técnicas y fuerte dependencia de marcas puede otorgar mayor poder negociador al proveedor. En cambio, un mercado con múltiples alternativas y baja diferenciación permite estrategias más competitivas.

Aplicado a la categoría de puentes grúa, el análisis de Porter ofrece un marco cualitativo para interpretar la estructura de mercado descrita: ayuda a evaluar la existencia de proveedores alternativos, la dependencia de OEM, la posibilidad de homologar componentes, las barreras de entrada para nuevos proveedores y el grado de rivalidad en el mercado de repuestos y servicios asociados. En esta memoria se utiliza como lente interpretativo del mapa de fabricantes y del análisis de concentración, y no como un modelo de puntuación formal.

4.5.3 Riesgo de suministro

El riesgo de suministro corresponde a la posibilidad de que un bien o servicio no esté disponible en las condiciones requeridas de plazo, calidad, cantidad, especificación técnica, precio o continuidad. Este riesgo puede originarse en factores internos, como baja calidad de datos o falta de planificación, y en factores externos, como dependencia de proveedores, escasez de repuestos, obsolescencia, restricciones logísticas o baja competencia (Zsidisin, 2003).

Conviene subrayar que el riesgo de suministro es un constructo multidimensional que

la concentración de proveedores describe solo parcialmente. Una medida como el HHI capta cuán repartido está el gasto entre las fuentes utilizadas, pero no informa sobre la salud financiera del proveedor, su capacidad productiva, los plazos de importación, la existencia de equivalencias técnicas ni la consecuencia operacional de la falta del repuesto. Por ello, una evaluación completa del riesgo debe integrar la concentración observada con las condiciones del mercado, las condiciones contractuales y la consecuencia técnica de la falla.

En categorías asociadas a mantenimiento, el riesgo de suministro puede tener consecuencias relevantes sobre la continuidad operacional; por ello, debe evaluarse junto con la criticidad de los activos y el impacto de la indisponibilidad de los componentes. En la categoría de puentes grúa, los riesgos de suministro pueden estar asociados a dependencia de marcas específicas, falta de alternativas homologadas, compras spot recurrentes, plazos de importación, baja cobertura contractual o concentración en pocos proveedores. La identificación de estos riesgos permite definir medidas de mitigación dentro de la estrategia de abastecimiento.

4.5.4 OEM y proveedores alternativos

Los proveedores OEM corresponden a fabricantes originales de equipos o componentes, o a sus representantes autorizados. Su principal ventaja es el respaldo técnico, compatibilidad con el equipo y disponibilidad de información original. Sin embargo, en algunos casos pueden existir mayores costos, plazos de entrega o dependencia comercial.

Los proveedores alternativos, por su parte, corresponden a empresas distintas al fabricante original que pueden suministrar componentes compatibles, servicios técnicos o soluciones equivalentes. Su incorporación puede aumentar competitividad y diversificar fuentes de suministro, pero requiere validación técnica para asegurar compatibilidad, seguridad y desempeño. La homologación, en este sentido, no consiste en aceptar una similitud comercial, sino en comparar función, materiales, dimensiones, capacidad, interfaces, condiciones de servicio, certificaciones y consecuencias de falla.

En la categoría de puentes grúa, la decisión entre abastecimiento OEM y alternativo debe evaluarse según criticidad del componente, impacto operacional, riesgo técnico, disponibilidad de información, historial de desempeño y requerimientos de mantenimiento. No todos los repuestos son candidatos a homologación, por lo que la estrategia debe diferenciar entre componentes críticos y no críticos, manteniendo una orientación conservadora en aquellos vinculados a seguridad o diseño propietario y una más abierta en elementos estandarizables de bajo riesgo técnico.

4.6 Estrategias de abastecimiento

Las estrategias de abastecimiento corresponden a lineamientos definidos para gestionar una categoría, familia de materiales o grupo de proveedores. Estas estrategias buscan asegurar disponibilidad, mejorar competitividad, reducir riesgos, optimizar costos y fortalecer la relación con el mercado proveedor.

En gestión de categorías, las estrategias se definen a partir del diagnóstico de la situación actual, el análisis técnico, el análisis de mercado y la segmentación estratégica. En esta memoria, las estrategias se orientan a apoyar futuras decisiones de contratación para la categoría de componentes de puentes grúa.

4.6.1 Consolidación de demanda

La consolidación de demanda busca agrupar requerimientos similares para mejorar condiciones comerciales, reducir compras fragmentadas y aumentar el poder de negociación. Puede aplicarse a nivel divisional, corporativo, por familia de productos o por proveedor.

En la categoría de puentes grúa, esta estrategia puede ser útil para componentes de consumo recurrente o familias con demanda distribuida en varias divisiones. No obstante, su aplicación debe considerar compatibilidad técnica, marcas, especificaciones y criticidad de los componentes.

4.6.2 Estandarización y homologación

La estandarización consiste en reducir la variabilidad de especificaciones, materiales o criterios técnicos, mientras que la homologación busca validar equivalencias entre repuestos, componentes o proveedores. Ambas estrategias pueden contribuir a reducir dispersión de materiales, mejorar gestión de inventarios, ampliar competencia y facilitar procesos de contratación.

En categorías de mantenimiento, estas estrategias requieren participación técnica de áreas usuarias, mantenimiento, ingeniería y especialistas, ya que una equivalencia comercial no necesariamente implica equivalencia técnica. Para puentes grúa, la homologación debe evaluarse con especial cuidado en componentes que inciden en seguridad, capacidad de carga, frenado, izaje o control.

4.6.3 Estrategias de contratación

Las estrategias de contratación definen la forma en que una organización saldrá al mercado para abastecer una categoría. Pueden incluir contratos marco, contratos

por familia de productos, acuerdos de suministro, compras competitivas, contratos con proveedores OEM, estrategias mixtas o modalidades diferenciadas según criticidad y riesgo de suministro.

El Procedimiento Corporativo de Contratación de Codelco establece modalidades de salida al mercado, fuentes de información, aprobaciones y entregables asociados a procesos de compra y contratación. En particular, para procesos de licitación, considera antecedentes como repositorio documental de Gestión de Categorías, requerimiento, registro de proveedores, bases técnicas, método de evaluación e itinerario de licitación (Codelco, 2025e).

En esta memoria, la estrategia de contratación se aborda como lineamiento y no como ejecución formal de una licitación. Su objetivo es proponer alternativas que puedan orientar etapas posteriores del PCC, considerando cobertura contractual, criticidad, mercado proveedor y oportunidades de competitividad.

4.6.4 Gestión de proveedores

La gestión de proveedores comprende actividades de identificación, evaluación, segmentación, desarrollo, seguimiento y control de proveedores. Su propósito es asegurar que los proveedores cumplan con los requisitos técnicos, comerciales, normativos y de desempeño esperados por la organización.

En Codelco, la relación con proveedores se vincula con transparencia, trazabilidad, registro, cumplimiento y optimización de la cartera proveedora. Para categorías estratégicas o críticas, la gestión de proveedores puede incluir desarrollo de alternativas, precalificación, evaluación técnica, seguimiento de desempeño y gestión de riesgos.

En la categoría de puentes grúa, la gestión de proveedores debe considerar tanto proveedores actuales como potenciales, diferenciando entre OEM, distribuidores, servicios técnicos y proveedores alternativos. Esta mirada permite evaluar dependencia, capacidad de respuesta, cobertura geográfica, experiencia técnica y oportunidades para aumentar competitividad sin comprometer seguridad ni continuidad operacional.

4.7 Síntesis e integración del marco teórico

Los conceptos y herramientas presentados no operan de forma aislada, sino que se articulan a lo largo de las tres fases de la gestión de categorías desarrolladas en esta memoria. La Tabla 1 resume esta correspondencia, de modo de dejar explícito que cada herramienta teórica tiene un uso definido y un límite de interpretación.

La lógica integradora es secuencial: primero se construye evidencia económica, técnica

Tabla 1: Correspondencia entre las bases teóricas y su aplicación en el estudio

Herramienta o concepto	Fase de uso	Aporte y límite de interpretación
Análisis de gasto y ABC	Fase 1	Dimensiona impacto económico; no refleja criticidad operacional.
Índice HHI	Fases 1 y 3	Mide concentración observada del gasto; no representa el riesgo total.
Criticidad y FMECA	Fase 2	Aporta la consecuencia técnica de la falla; es evidencia a nivel de componente, no extrapolable a toda la familia.
Análisis de mercado proveedor	Fase 2	Caracteriza oferta, OEM y alternativas; la presencia de un actor no equivale a homologación.
Matriz de Kraljic	Fase 3	Segmenta la cartera con impacto y concentración; no incorpora criticidad como eje.
Costo total de propiedad	Fase 3	Amplía la mirada más allá del precio; usado como criterio ordinal ante ausencia de datos de costo.
Evaluación multicriterio	Fase 3	Integra evidencia y juicio de forma trazable; no demuestra optimalidad universal.
Análisis de sensibilidad	Fase 3	Verifica estabilidad de la recomendación; su alcance es acotado por ser univariado.

Fuente: elaboración propia.

y de mercado; luego se segmenta la categoría mediante la matriz de Kraljic; a continuación se comparan escenarios mediante evaluación multicriterio; y finalmente se examina la robustez de la recomendación mediante análisis de sensibilidad. Esta cadena respeta un principio transversal: el gasto no equivale a criticidad, la concentración no equivale a riesgo total, el precio no equivale a costo total, y un puntaje ponderado no equivale a una verdad objetiva, sino a una preferencia condicionada por supuestos declarados. Es precisamente esta distinción la que justifica un tratamiento diferenciado dentro de una misma categoría, y la que orienta la formulación de la estrategia en los capítulos siguientes.

5 | Metodología

Esta memoria aplicó las tres primeras fases de la metodología corporativa de Gestión de Categorías de Codelco sobre una base de datos construida especialmente para el estudio. La Figura 19 resume la secuencia del trabajo e indica el capítulo o la sección en que se desarrolla cada etapa.

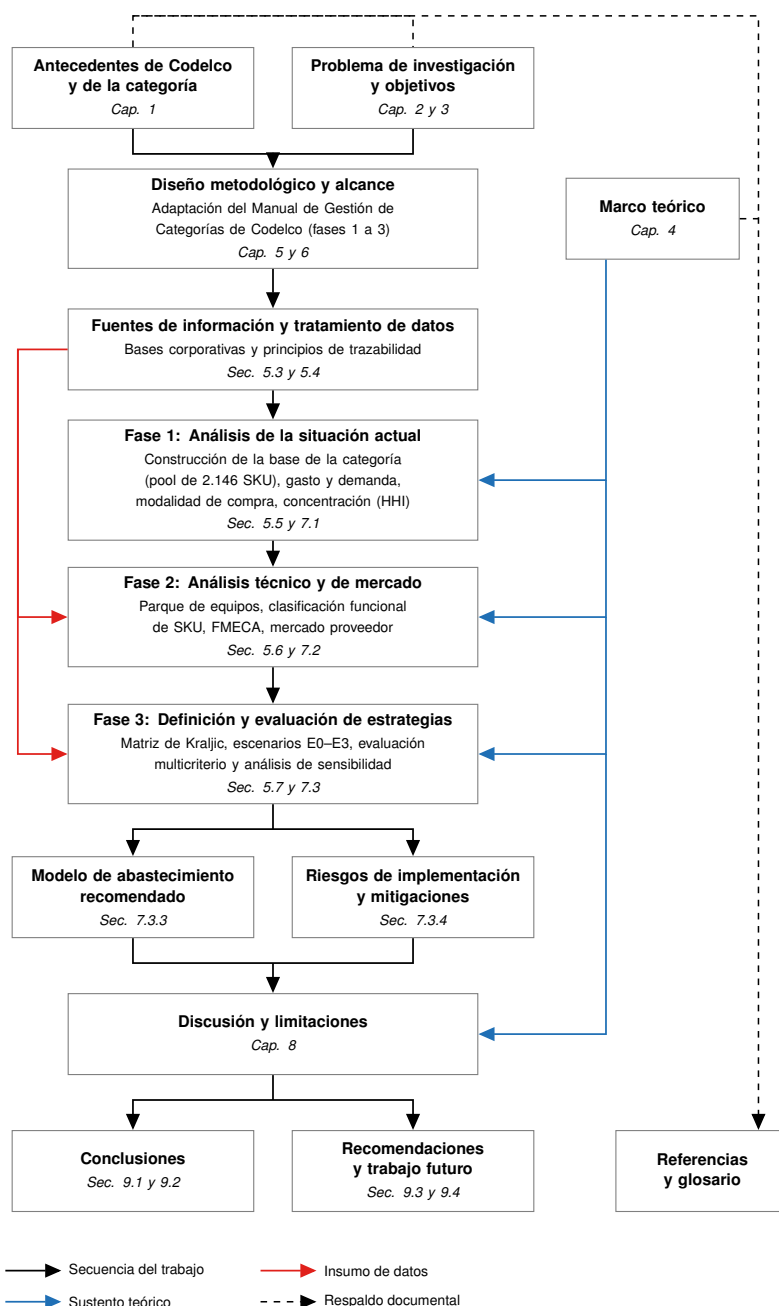


Figura 19: Flujo metodológico aplicado en la memoria

Fuente: elaboración propia.

El capítulo sigue ese mismo orden. Primero se presentan el diseño del estudio y el marco metodológico (Secciones 5.1 y 5.2); luego, las fuentes de información y las reglas

con que se trataron los datos (Secciones 5.3 y 5.4); a continuación, el procedimiento de cada fase (Secciones 5.5 a 5.7); y, finalmente, las condiciones de validez y las limitaciones (Sección 5.8). La delimitación del estudio se presenta en el Capítulo 6.

5.1 Diseño metodológico

La memoria corresponde a una investigación aplicada, de alcance descriptivo y propositivo, desarrollada como estudio de caso en la Corporación Nacional del Cobre de Chile (Codelco). El diseño fue no experimental: no se manipularon variables ni se intervino en procesos de compra o contratación, sino que se analizaron registros históricos del periodo 2021–2025 y los antecedentes técnicos y corporativos disponibles al momento del estudio.

El enfoque fue predominantemente cuantitativo, con apoyo cualitativo. El componente cuantitativo comprendió la depuración y vinculación de las bases de datos, el cálculo de indicadores de gasto, cobertura y concentración, y la evaluación multicriterio de escenarios. El componente cualitativo comprendió la clasificación funcional de los materiales, la revisión del mercado proveedor y la interpretación de las restricciones de criticidad, compatibilidad y dependencia de fabricantes originales.

La unidad de análisis fue la categoría de abastecimiento. Cada etapa utilizó, además, una unidad de observación distinta, definida en la Tabla 2. Distinguir las evita comparar directamente magnitudes que pertenecen a universos diferentes, como el número de SKU y el número de posiciones de compra.

Tabla 2: Unidades de observación utilizadas en el estudio

Unidad	Definición operacional
Posición de compra	Línea de una orden de compra; un SKU puede tener varias.
SKU	Código único de material: una parte, pieza o componente.
Material–centro	Combinación de un SKU y un centro; un SKU puede estar en varios centros.
Familia funcional	Grupo de SKU con una función semejante dentro del puente grúa.
Proveedor–familia	Par usado para medir participación de gasto y concentración por familia.
Equipo	Puente grúa del libro de equipos esenciales y las ubicaciones técnicas.
Componente	Elemento funcional evaluado en la matriz FMECA.
Escenario	Alternativa integral de abastecimiento evaluada con la matriz multicriterio.

Fuente: elaboración propia.

5.2 Metodología de Gestión de Categorías

El marco de referencia fue el Manual de Gestión de Categorías de Codelco, desarrollado con apoyo de Porsche Consulting (Codelco, 2017). El manual organiza el proceso en seis fases, que se muestran en la Figura 20: análisis de la situación actual; análisis técnico y de mercado; definición de estrategias; elaboración de RFQ; evaluación de propuestas; y negociación y cierre contractual. La memoria aplicó las tres primeras, porque su propósito es formular una propuesta de estrategia y no ejecutar una salida al mercado.

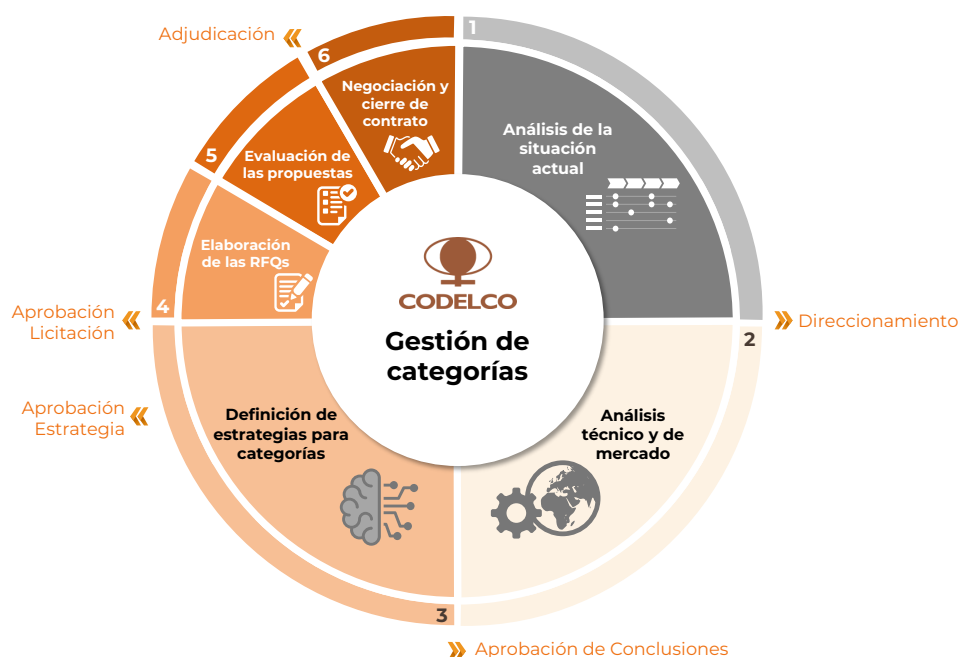


Figura 20: Fases de Gestión de Categorías

Fuente: adaptado del Manual de Gestión de Categorías (Codelco, 2017).

El manual se adaptó a la naturaleza de una categoría de repuestos de mantenimiento (MRO) y a la información disponible. Para ello se incorporaron procedimientos específicos de depuración del maestro de materiales, clasificación funcional de SKU, caracterización del parque de equipos, análisis FMECA, segmentación mediante la matriz de Kraljic y comparación multicriterio de escenarios.

La Gestión de Categorías opera como marco analítico previo al Procedimiento Corporativo de Contratación (PCC), que regula las responsabilidades, aprobaciones, modalidades de salida al mercado y entregables de un proceso formal de contratación (Codelco, 2025e). Los resultados de la memoria no reemplazan ese procedimiento: constituyen insumos para sus etapas posteriores.

El trabajo se desarrolló entre enero y julio de 2026, según el cronograma de la Figura 21.

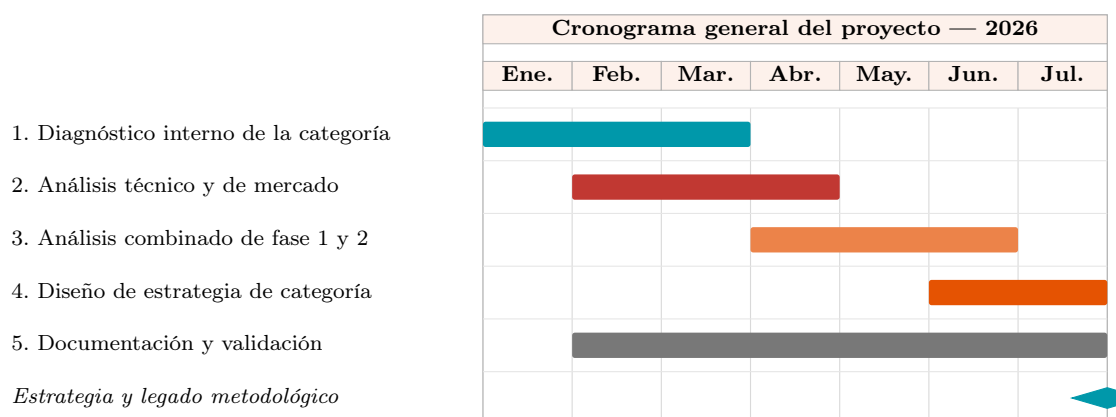


Figura 21: Cronograma de desarrollo del trabajo, enero a julio de 2026

Fuente: elaboración propia.

5.3 Fuentes de información

El estudio integró fuentes transaccionales, maestras, técnicas y documentales. La Tabla 3 indica la unidad de observación y el uso de cada una. No se realizó muestreo: se utilizaron todos los registros disponibles que cumplieron los criterios de inclusión de cada análisis.

Tabla 3: Fuentes de información utilizadas

Fuente	Unidad	Uso en el estudio
<i>Materiales y compras</i>		
Compras SAP/BW, 2021–2025	Posición de compra	Gasto, modalidad y proveedores
PFEP (<i>Plan For Every Part</i>)	Material–centro	Universo de partida de materiales
Árbol corporativo de categorías	Grupo de artículos	Pertenencia a la categoría
Base de contratos y convenios	Contrato	Pertenencia y contratos asociados
Diccionario de SKU	SKU	Pool maestro y familia funcional
<i>Equipos y criticidad</i>		
Libro de equipos esenciales SOMA	Equipo	Parque esencial y su criticidad
Ubicaciones técnicas N3–N5	Proceso y equipo	Puentes grúa y su proceso
Matriz FMECA	Componente	Criticidad técnica de 27 componentes
<i>Proveedores y mercado</i>		
Segmentación de proveedores	Proveedor	Habilitación de proveedores
Documentos corporativos y de mercado	Documento	Mapa de fabricantes y marcas

Fuente: elaboración propia.

La Figura 42 presenta el esquema relacional con que se organizaron estas fuentes. No corresponde a un sistema corporativo, sino a un modelo de trabajo elaborado en esta

memoria para ordenar la información y explicitar cómo se vincula. El esquema distingue las tablas según su origen: las entregadas por Codelco, las elaboradas en el estudio y las obtenidas de Codelco y procesadas en el estudio. En cada tabla se indican la clave primaria (CP) y las claves foráneas (CF).

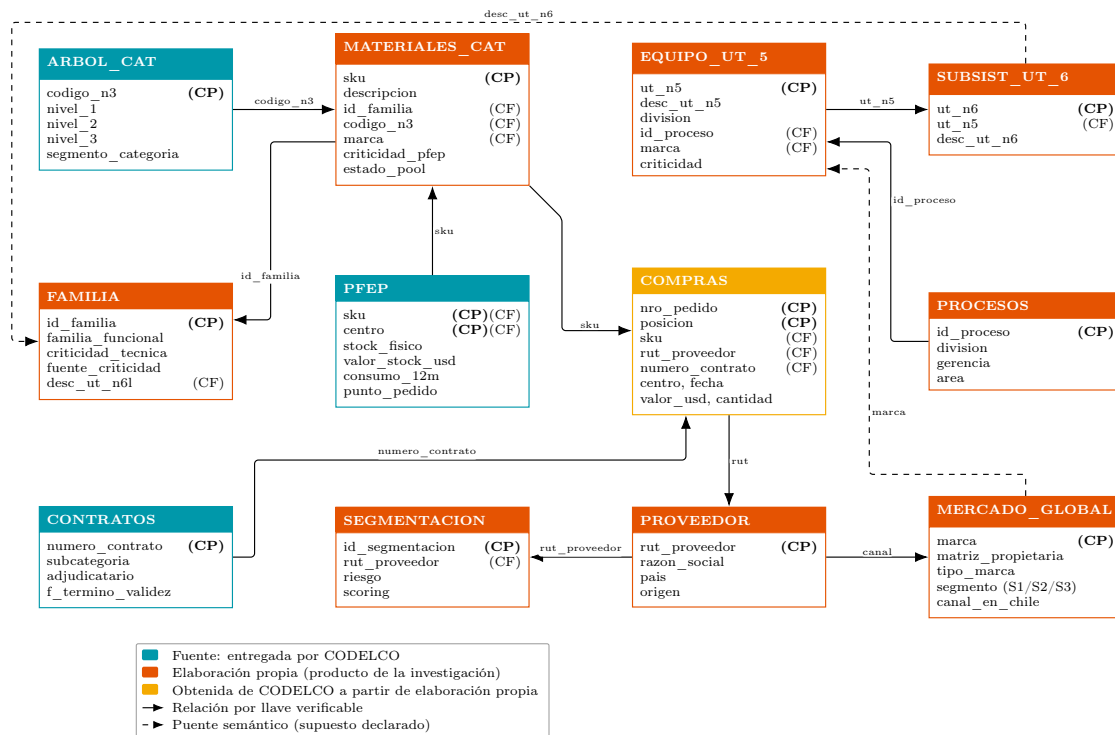


Figura 22: Esquema de las bases de datos utilizadas y sus relaciones

Fuente: elaboración propia.

La tabla central es el pool de materiales de la categoría (**MATERIALES_CAT**), identificado por el SKU. A través de ese código se conecta con el maestro de materiales y con las compras; estas, a su vez, se vinculan con los contratos y los proveedores. Los equipos se relacionan con sus procesos y subsistemas mediante el código de ubicación técnica.

Las flechas continuas representan relaciones por llave verificable. Las flechas segmentadas representan puentes semánticos, es decir, vínculos que no descansan en un código común, sino en la correspondencia entre descripciones o marcas. Es el caso de la relación entre las familias de materiales y los subsistemas de los equipos. En consecuencia, los materiales no se asocian a equipos individuales, sino a subsistemas, a través de su familia funcional; esta relación se declara como supuesto del estudio.

Los montos se expresan en dólares estadounidenses, según la valorización de la fuente corporativa. El análisis económico cubre las compras de 2021 a 2025; las bases maestras y técnicas corresponden al último corte disponible, por lo que sus atributos no se interpretaron como una serie temporal. El Anexo A detalla el número de registros y de variables de cada base.

5.4 Principios de tratamiento de los datos

Todas las bases se trataron bajo cinco reglas comunes, que se aplican a las tres fases y sostienen la trazabilidad de los resultados:

1. **Conservación de la fuente.** Los campos originales no se modificaron. Toda transformación, como la normalización de códigos, descripciones, marcas y nombres de proveedores, se registró en columnas auxiliares.
2. **Exclusión mediante filtros.** Los registros descartados no se eliminaron de las bases: se excluyeron con filtros y etiquetas que indican el motivo, de modo que cada decisión puede revisarse y revertirse.
3. **Deduplicación solo a nivel de SKU.** Se eliminaron duplicidades únicamente en las tablas cuya unidad es el SKU. Los registros de compra no se deduplicaron, porque cada posición representa una compra distinta.
4. **Sin imputación de datos faltantes.** Los valores ausentes no se completaron mediante supuestos. Cuando la información no permitió una asignación defendible, el registro se conservó como “pendiente de clasificación” y su magnitud se reportó de forma explícita.
5. **Conciliación.** Se conciliaron los totales entre la base integrada y las fuentes y se revisaron las llaves de cruce. Los códigos sin correspondencia se marcaron para su revisión, en lugar de descartarse.

5.5 Fase 1: análisis de la situación actual

La primera fase estableció la línea base económica, material y contractual de la categoría (Figura 23). Se desarrolló en dos etapas. La primera fue la construcción de la base de datos de la categoría, que no existía como un conjunto delimitado en los sistemas corporativos. La segunda comprendió los análisis realizados sobre esa base: utilización del pool, gasto y modalidad de compra, y concentración de proveedores.

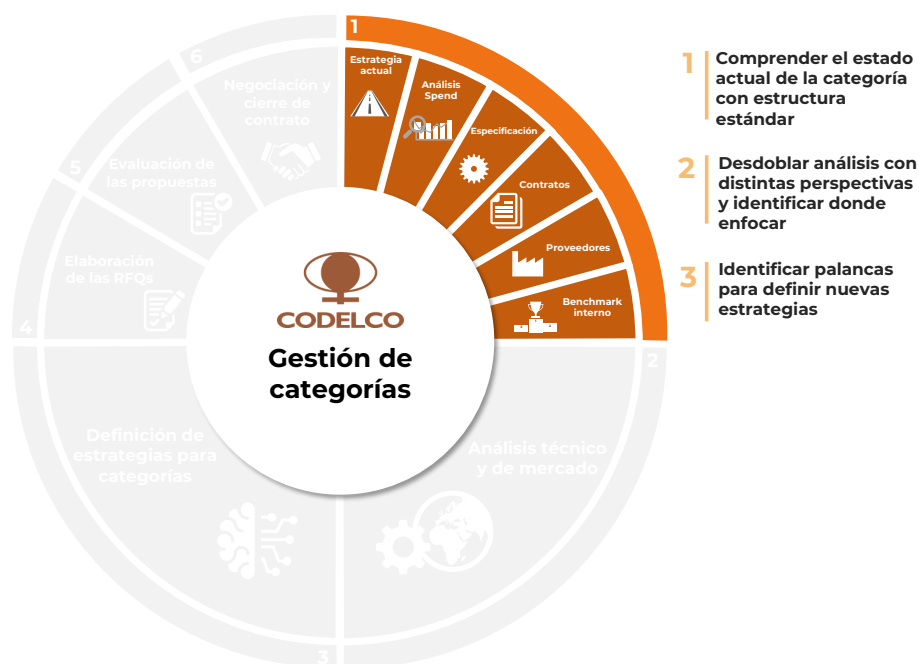


Figura 23: Actividades de la Fase 1 de Gestión de Categorías

Fuente: adaptado del Manual de Gestión de Categorías (Codelco, 2017).

5.5.1 Construcción de la base de la categoría

Los materiales de puentes grúa no estaban identificados como una categoría en el maestro de materiales: se distribuían en distintos grupos de artículos, con descripciones heterogéneas y sin un atributo que indicara su pertenencia. Antes de cualquier análisis fue necesario, por tanto, delimitar ese universo.

El procedimiento siguió la lógica de extracción, transformación y carga de datos (ETL, por su sigla en inglés) (Kimball & Caserta, 2004) y se implementó en planillas de cálculo, mediante tablas estructuradas, funciones de búsqueda y tablas dinámicas. La Figura 24 resume la secuencia. El Anexo B documenta los criterios y diccionarios, y el Anexo C, las fórmulas empleadas.

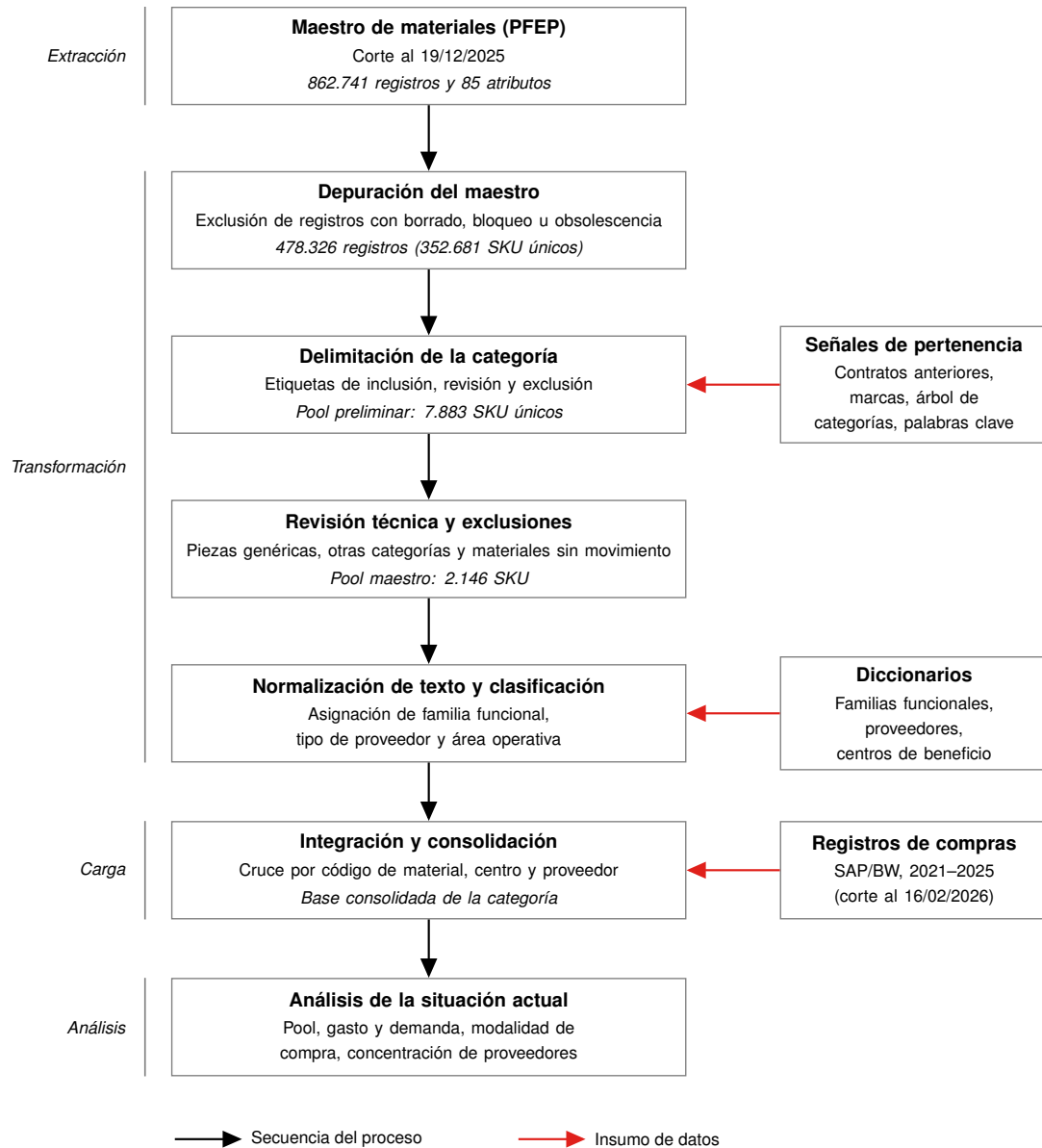


Figura 24: Proceso de construcción de la base de datos de la categoría

Fuente: elaboración propia.

Extracción. La fuente principal fue el maestro de materiales corporativo (PFEP), con corte al 19 de diciembre de 2025, compuesto por 862.741 registros y 85 atributos. Se complementó con catorce contratos anteriores de suministro para grúas y puentes grúa, la base de contratos de la categoría de motores, el árbol corporativo de categorías, los formularios de creación de materiales y los registros de compras, con corte al 16 de febrero de 2026.

Depuración del maestro. El maestro se redujo mediante tres criterios de exclusión sucesivos, definidos en conjunto con la tutora de la empresa: registros con petición de borrado, registros con marca de borrado en el centro y registros en estado bloqueado, obsoleto o en eliminación. La Tabla 4 muestra el efecto de cada criterio.

Tabla 4: Reducción del universo de materiales hasta el pool maestro

Etapa	Registros	SKU únicos
Maestro de materiales original	862.741	–
Exclusión por petición de borrado	567.165	–
Exclusión por marca de borrado en centro	546.621	–
Exclusión por bloqueo u obsolescencia	478.326	352.681
Delimitación de la categoría (pool preliminar)	8.556	7.883
Revisión técnica y exclusiones (pool maestro)	–	2.146

Fuente: elaboración propia.

Delimitación de la categoría. El árbol corporativo de categorías organiza los bienes y servicios en cuatro niveles, desde la naturaleza de la compra hasta la categoría de negocio. En él, la categoría estudiada corresponde al código M07.15.13, Puentes Grúa y Grúas Portales, y comparte nivel con categorías afines, como Motores Eléctricos y Rodamientos y Accesorios (Figura 25).

Esa ubicación es un punto de partida, pero no basta para delimitar el universo, porque los materiales de puentes grúa se distribuyen en distintos grupos de artículos. Por ello, la pertenencia de un material a la categoría se estableció por la concurrencia de cuatro señales: su presencia en contratos anteriores de la categoría; la marca del fabricante; su ubicación en el árbol de categorías; y la aparición de términos propios del equipo en su descripción, como puente grúa, polipasto o monorriel. Además, la base se cruzó con los contratos de la categoría de motores, para evitar la superposición con esa categoría hermana.

Con estas señales, cada material recibió una etiqueta de inclusión, de revisión o de exclusión, y los casos ambiguos se resolvieron con el ingeniero de materiales del área. El resultado fue un pool preliminar de 7.883 SKU.

La revisión técnica posterior excluyó tres grupos: materiales propios de otras categorías, como equipos de elevación de personas y grúas horquilla; piezas genéricas de uso transversal,

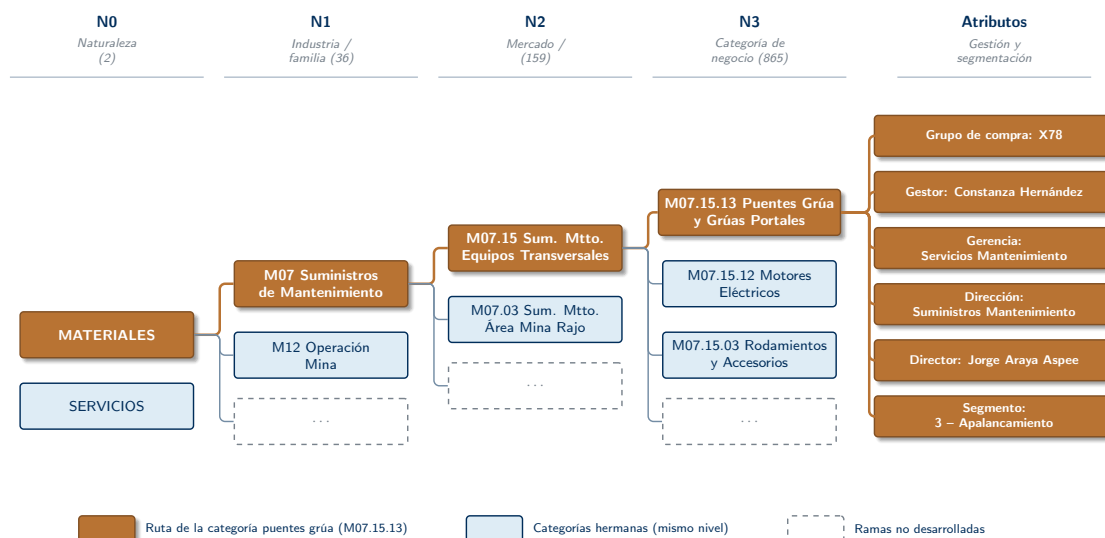


Figura 25: Ubicación de la categoría en el árbol corporativo de categorías

Fuente: elaboración propia.

como rodamientos, sellos y tornillería, salvo aquellas cuya aplicación directa al equipo fue confirmada en la revisión; y 1.322 materiales creados entre 1997 y 2019 que nunca registraron consumo ni recepción. Este último criterio es más estricto que la ausencia de compra en 2021–2025, que no se utilizó para excluir materiales. También se incorporaron códigos presentes en formularios de creación y en órdenes de compra que los filtros anteriores no habían capturado. El resultado fue el pool maestro de 2.146 SKU.

Clasificación mediante diccionarios. Las descripciones de los materiales no siguen una nomenclatura uniforme. Para clasificarlas se normalizó el texto (mayúsculas, sin tildes, signos ni espacios redundantes) y sobre él se aplicaron diccionarios, es decir, tablas que asocian una palabra clave con una clase. Se construyeron tres:

- **Diccionario de familias funcionales.** Asigna cada SKU a una de las nueve familias descritas en la Sección 5.6.2. Contiene 182 palabras clave, en español e inglés, ordenadas en cuatro niveles de especificidad. Cuando una descripción coincide con varias palabras, prevalece la más específica; cuando no coincide con ninguna, el SKU queda pendiente de clasificación. Cada asignación conserva la palabra clave que la originó y un nivel de confianza, lo que permite auditarla.
- **Diccionario de proveedores.** Registra el rol comercial de cada proveedor (fabricante, distribuidor o representante, intermediario o integrador) y su país de origen.
- **Diccionario de centros de beneficio.** Asocia la unidad que origina cada compra con un área operativa y un proceso productivo.

Integración. El pool maestro se vinculó con los registros de compras mediante el código de material, el centro y el proveedor. La base consolidada reúne, para cada SKU, su etiqueta de pertenencia, familia funcional, marca, antecedentes contractuales y compras del periodo 2021–2025.

Límites del procedimiento. El procedimiento tiene dos límites. Primero, la clasificación por palabras clave depende de la calidad de las descripciones: un término de contexto, como el conjunto al que pertenece la pieza, puede determinar la familia en lugar del nombre del componente. Segundo, al ejecutarse en planillas de cálculo, su repetición con un nuevo corte del maestro exige volver a aplicar los pasos documentados en el Anexo B.

5.5.2 Pool de materiales y cobertura de compra

El pool se caracterizó por su tamaño y por su utilización histórica. Esta última se midió mediante la cobertura de compra, es decir, la proporción de SKU con al menos una compra en el periodo 2021–2025:

$$C_{\text{compra}} = \frac{N_{\text{SKU con compra}}}{N_{\text{SKU del pool}}} \times 100. \quad (8)$$

La ausencia de compra no se interpretó como obsolescencia, porque puede responder a repuestos de contingencia, materiales de baja rotación, códigos de creación reciente, inventario disponible o cambios en los equipos.

5.5.3 Gasto y modalidad de compra

El gasto se calculó como la suma de los montos valorizados en USD de las posiciones de compra asociadas al pool, y se desagregó por año, división, familia y proveedor. La participación de una agrupación j se obtuvo mediante:

$$P_j = \frac{G_j}{\sum_{j=1}^m G_j} \times 100, \quad (9)$$

donde G_j es el gasto de la agrupación j y m , el número de agrupaciones.

La modalidad de compra se clasificó en convenio y compra *spot* a partir del campo contractual de la fuente. La cobertura de convenio se calculó como la proporción del gasto ejecutado bajo convenio respecto del gasto total; su complemento corresponde a compras *spot*. Este indicador mide cobertura sobre el gasto observado, no la proporción de SKU incorporados en contratos.

5.5.4 Concentración de proveedores

La participación de cada proveedor se calculó sobre el gasto total de la categoría y, luego, dentro de cada familia funcional. Como medida de concentración se empleó el índice de Herfindahl–Hirschman (HHI):

$$HHI_j = \sum_{i=1}^{n_j} s_{ij}^2, \quad (10)$$

donde s_{ij} es la participación porcentual del proveedor i en el gasto de la familia j , expresada entre 0 y 100, y n_j es el número de proveedores de dicha familia. Con esta escala, el índice varía entre valores cercanos a cero y 10.000.

El HHI se complementó con tres indicadores: la participación del proveedor dominante; la proporción de gasto de fuente única, que corresponde al gasto de los SKU comprados a un solo proveedor durante el periodo; y el número de SKU multiproveedor, es decir, con compras a más de un proveedor.

El HHI describe la concentración observada de las compras, no la estructura completa del mercado ni el riesgo total de suministro. Por ello, la dependencia de fabricantes originales, la criticidad técnica y la cobertura contractual se analizaron por separado.

5.6 Fase 2: análisis técnico y de mercado

La segunda fase complementó la línea base con información sobre el parque instalado, la función de los componentes y la estructura de la oferta (Figura 26). Su propósito fue distinguir las familias en que el mercado permite ampliar la competencia de aquellas en que la seguridad o la compatibilidad técnica restringen la sustitución.

5.6.1 Caracterización del parque de equipos

Codelco organiza sus activos en un árbol de ubicaciones técnicas que desciende desde la división hasta el componente (Figura 27). Este estudio utiliza tres de sus niveles: el proceso o planta (N3), el equipo (N5) y el sistema (N6).

El parque se identificó en el nivel N5, a partir del libro de equipos esenciales SOMA 2025 (Codelco, 2025a) y de las descripciones de las ubicaciones técnicas. Sobre estas se aplicó un diccionario de términos y marcas asociados a puentes grúa, grúas portales, tecles, polipastos y carros de traslación, y los resultados se revisaron para excluir usos del término “grúa” ajenos al alcance.



Figura 26: Actividades de la Fase 2 de Gestión de Categorías

Fuente: adaptado del Manual de Gestión de Categorías (Codelco, 2017).

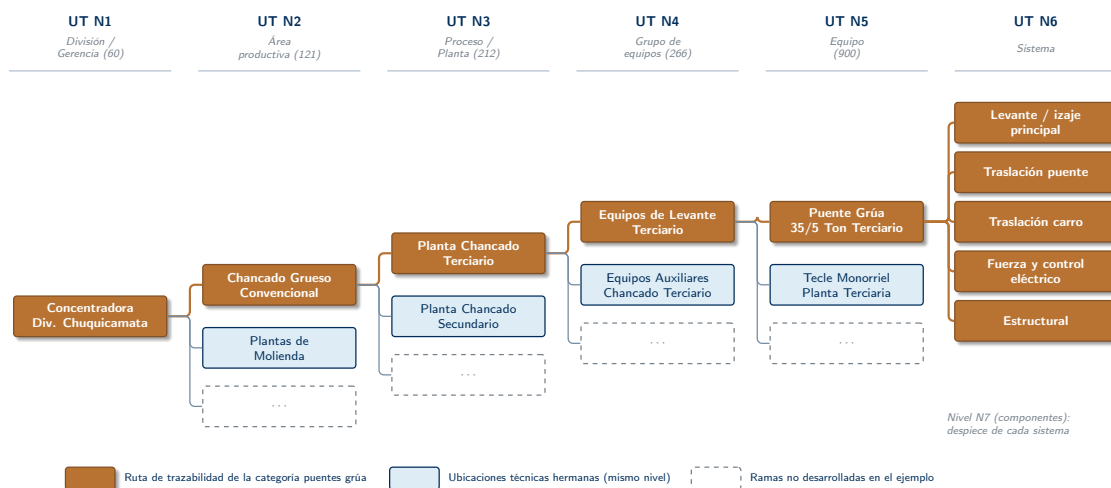


Figura 27: Árbol de ubicaciones técnicas: ejemplo de un puente grúa

Fuente: elaboración propia.

La relevancia operacional de cada equipo se interpretó cruzando dos niveles del árbol. La importancia del proceso al que pertenece (N3) se ordenó en una escala de 1 a 5, desde infraestructura menor hasta proceso productivo directo crítico. El rol del equipo (N5) se representó con un factor de 1,0 para operación directa, 0,8 para mantenimiento crítico y 0,5 para apoyo. El cruce se efectuó solo en los equipos que contaban con ambos atributos; los restantes se conservaron en el universo general, sin imputarles valores. Esta lectura complementa, y no reemplaza, la clasificación de equipos esenciales definida por SOMA.

El nivel N6 se utiliza más adelante: los sistemas del equipo corresponden a los subsistemas con que la matriz FMECA agrupa los componentes (Sección 5.6.3).

La capacidad de carga y la marca se extrajeron únicamente cuando figuraban en la descripción o en los campos técnicos. Por la heterogeneidad de esos registros, la caracterización es indicativa y no constituye una ficha técnica del parque.

5.6.2 Clasificación funcional de los SKU

Los SKU del pool se agruparon en nueve familias funcionales, que corresponden a los subsistemas del puente grúa: Sistema de Izaje; Sistema de Frenos; Transmisión Mecánica; Accionamiento y Potencia Eléctrica; Control, Maniobra y Seguridad; Traslación y Rodadura; Estructura y Envolventes; Ferretería, Sellado y Auxiliares; y Sistema Hidráulico.

La asignación se realizó con el diccionario descrito en la Sección 5.5.1. Los casos ambiguos se revisaron individualmente a partir de su descripción, grupo de artículos, marca y antecedentes de compra, y los SKU sin evidencia suficiente se mantuvieron como pendientes de clasificación.

La unidad de clasificación fue el SKU y no la posición de compra. Así, todas las transacciones de un mismo código heredan la misma familia, lo que permite agregar de forma consistente el gasto y la participación de proveedores.

5.6.3 Evaluación FMECA de componentes

La criticidad técnica se examinó a partir de una matriz FMECA (*Failure Modes, Effects and Criticality Analysis*) de Codelco, que evalúa 27 componentes recurrentes de puentes grúa. Para cada componente, la matriz registra cinco factores: severidad (*S*), frecuencia de falla (*F*) y dificultad de detección (*D*), en escalas de 1 a 10; costo de mantenimiento (*CM*), en una escala de 1 a 5; e impacto sobre seguridad, higiene y ambiente (*SHA*), en una escala de 0 a 5. Las consecuencias y la criticidad total se calculan como:

$$C_c = (S_c \times D_c) + CM_c + SHA_c, \quad (11)$$

$$CT_c = F_c \times C_c, \quad (12)$$

donde C_c es el puntaje de consecuencias y CT_c , la criticidad total del componente c . Según este puntaje, la matriz clasifica los componentes en tres niveles: muy críticos, con $CT \geq 310$; críticos, con CT entre 102 y 288; y no críticos, con $CT \leq 97$. La matriz completa se presenta en el Anexo D.

La clasificación se utilizó para identificar los componentes en que una eventual homologación exige validación técnica previa. El FMECA constituye evidencia a nivel de componente y no se extrapoló a todos los SKU de una familia. Las familias sin componentes evaluados se trataron como familias sin cobertura FMECA, y no como familias de baja criticidad.

5.6.4 Análisis del mercado proveedor

Los proveedores actuales se identificaron a partir de las compras 2021–2025 y de la información contractual, y se complementaron con un mapa de fabricantes y marcas presentes en el mercado. La oferta se organizó en tres segmentos, según su posición en la cadena de valor (Figura 28): OEM de equipos completos, OEM de componentes críticos, e integradores o proveedores de soporte local.

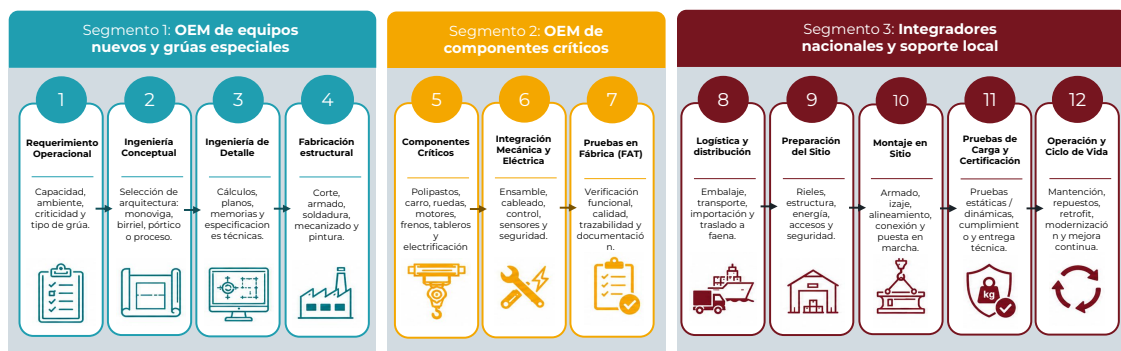


Figura 28: Cadena de valor del mercado proveedor

Fuente: elaboración propia.

Esta segmentación permitió evaluar dónde es factible ampliar la competencia, sin suponer que todas las piezas son homologables. Se consideró que existía potencial de sustitución cuando había oferta multimarca o el componente era estandarizable, y se mantuvo una orientación conservadora cuando la pieza estaba vinculada a seguridad, garantía, diseño propietario o compatibilidad no demostrada. La identificación de proveedores potenciales fue exploratoria: su inclusión en el mapa no equivale a una homologación ni a una habilitación para contratar.

Por último, se revisó la habilitación de 19 proveedores relevantes para la categoría. Como referencia se utilizó la Guía de Registro y Gestión de Proveedores de Codelco (Codelco, 2025f), cuyo modelo se muestra en la Figura 29. La revisión se apoyó en RedNegocios, la plataforma de registro de proveedores (Figura 30), y consideró la vigencia de la segmentación y del certificado de accidentabilidad de cada proveedor. No se aplicó el modelo de puntuación de la guía, porque sus ponderaciones son confidenciales y la memoria no comprende procesos de licitación ni adjudicación.



Figura 29: Modelo de registro y gestión de proveedores

Fuente: Codelco (2025f).



Figura 30: Interfaz de RedNegocios

Fuente: Codelco (2025f).

5.7 Fase 3: definición y evaluación de estrategias

La tercera fase integró los resultados económicos, técnicos y comerciales para segmentar la categoría, construir alternativas de abastecimiento y seleccionar un escenario recomendado (Figura 31).

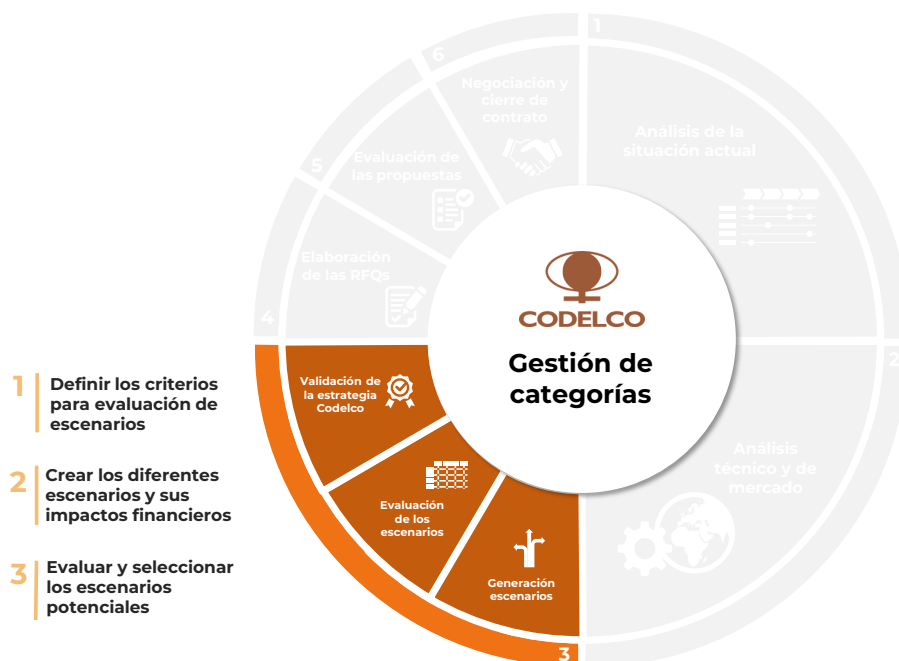


Figura 31: Actividades de la Fase 3 de Gestión de Categorías

Fuente: adaptado del Manual de Gestión de Categorías (Codelco, 2017).

5.7.1 Segmentación mediante la matriz de Kraljic

La unidad de segmentación fue la familia funcional. Cada familia se ubicó en la matriz según dos variables: su impacto económico, medido como su participación en el gasto acumulado de la categoría (Ecuación 9), y la concentración de su suministro, medida con el HHI de la familia (Ecuación 10).

Los umbrales que separan los niveles alto y bajo de cada eje corresponden a las medianas observadas entre las nueve familias; se consideró alto todo valor igual o superior a la mediana. La mediana evita que una familia de tamaño excepcional determine por sí sola los límites y produce una segmentación relativa a la estructura de la categoría. La combinación de ambos ejes define cuatro cuadrantes (Kraljic, 1983):

- **Estratégico:** alto impacto económico y alta concentración de proveedores.
- **Apalancado:** alto impacto económico y baja concentración de proveedores.

- **Cuello de botella:** bajo impacto económico y alta concentración de proveedores.
- **Rutinario:** bajo impacto económico y baja concentración de proveedores.

Tres precisiones acotan la lectura de la matriz. Primero, el eje horizontal representa la concentración observada de proveedores, no un índice integral de riesgo de suministro. Segundo, la criticidad FMECA, la cobertura contractual y la dependencia OEM no modifican la posición de una familia, pero se utilizan para interpretarla y definir su tratamiento. Tercero, los SKU pendientes de clasificación no se asignan a ningún cuadrante: se mantienen como grupo separado, con su gasto visible.

5.7.2 Construcción de escenarios

Los escenarios de abastecimiento no se definieron de antemano. Se formularon una vez conocida la segmentación, por lo que su contenido se presenta junto con los resultados. Aquí se describe solo la regla con que se construyeron.

Se partió de un escenario de referencia, que mantiene el estado actual de la categoría, y se agregaron alternativas que aumentan progresivamente el grado de diferenciación del tratamiento: primero, escenarios que aplican una regla única a toda la categoría; luego, un escenario que asigna un tratamiento distinto a cada cuadrante de la matriz.

Cada escenario se definió de manera integral, de modo que representara una decisión de gestión para toda la categoría y no una acción aislada, y todos se evaluaron con los mismos criterios, lo que los hace comparables entre sí.

5.7.3 Estimación del potencial de ahorro en precio

Los escenarios difieren, entre otros aspectos, en el ahorro que permitirían capturar. Para estimarlo se utilizó la dispersión histórica de precios: si un mismo SKU se compró varias veces a precios distintos, la diferencia entre lo pagado y un precio de referencia del propio SKU constituye un ahorro potencial. El procedimiento usa únicamente precios efectivamente pagados por la Corporación y no supone descuentos externos. Su resultado sustenta el criterio de ahorro de la evaluación multicriterio (Sección 5.7.4), y el Anexo F presenta un ejemplo completo del cálculo.

Universo. Se consideraron las posiciones de compra del periodo 2021–2025 con cantidad pedida mayor que cero. Para cada posición k se calculó el precio unitario $p_k = G_k/q_k$, donde G_k es el monto en USD y q_k , la cantidad. Solo son comparables los SKU con dos o más compras. Se excluyeron, además, los SKU cuyo precio máximo superó en más de tres veces al mínimo, porque una dispersión de esa magnitud sugiere diferencias de especificación o de unidad de medida; estos casos se listaron para revisión.

Corrección por variación de precios en el tiempo. Las compras de distintos años no son directamente comparables. Para aislar el efecto del tiempo se estimó un índice interno de precios con las observaciones de un mismo SKU adquirido a un mismo proveedor en dos o más años:

$$\ln p_k = \alpha_{s,v} + \delta_t + \varepsilon_k, \quad (13)$$

donde $\alpha_{s,v}$ es un efecto fijo del par SKU–proveedor y δ_t , el efecto del año t . El índice se definió como $I_t = \exp(\delta_t - \delta_{2021})$, de modo que $I_{2021} = 1$, y el precio de cada posición se expresó a valores de 2021 mediante $\tilde{p}_k = p_k / I_t$.

Precios de referencia. Para cada SKU s se definieron dos referencias, que delimitan un rango de ahorro. En adelante se denominan escenario mínimo y escenario máximo de ahorro, y no deben confundirse con los escenarios de abastecimiento E0 a E3:

- **Escenario mínimo.** La mediana de los precios $\tilde{p}_k$ del SKU, ponderada por la cantidad comprada. Representa llevar las compras más caras al precio típico ya observado.
- **Escenario máximo.** El menor precio medio, ponderado por cantidad, entre las fuentes del SKU, entendiendo por fuente la combinación de proveedor y modalidad de compra. Representa comprar siempre a la fuente más barata observada.

Ahorro potencial. El ahorro de cada posición corresponde a lo pagado por sobre la referencia, expresado en USD del año de la compra:

$$A_k = \max \left(0, \tilde{p}_k - p_s^{\text{ref}} \right) q_k I_t. \quad (14)$$

Asignación a palancas. Para evitar el doble conteo, cada ahorro se asignó a una sola palanca, en el siguiente orden: *convenio*, si la compra fue *spot* y el mismo SKU registra un precio de convenio menor; *competencia*, si otro proveedor vendió el mismo SKU a menor precio; y *lista de precios*, si el mismo proveedor cobró precios distintos por el mismo SKU.

Alcance por escenario. No todos los escenarios activan las mismas palancas. Cada uno considera solo las que son coherentes con su definición: cuando un escenario mantiene el suministro del fabricante en una familia, se excluye en ella la palanca de competencia, y los SKU pendientes de clasificación se excluyen de los escenarios que dependen de la segmentación. El detalle por escenario se presenta junto con los resultados. El resultado se reporta como promedio anual del periodo.

Límites de la estimación. La estimación no corresponde a un ahorro realizado ni comprometido. No controla el tamaño de lote, la urgencia ni el plazo de entrega de cada compra, que pueden explicar parte de las diferencias de precio, y no permite inferir el comportamiento de los SKU con una sola compra en el periodo.

5.7.4 Evaluación multicriterio y análisis de sensibilidad

Los cuatro escenarios se compararon mediante una matriz ponderada de seis criterios (Tabla 5). Los pesos se definieron en función de los objetivos de la estrategia y suman 100 %.

Tabla 5: Criterios utilizados para evaluar los escenarios

Criterio	Peso	Sentido de evaluación
TCO y potencial de ahorro	25 %	Mayor captura de valor es más favorable.
Seguridad de suministro	25 %	Mayor continuidad y menor exposición es más favorable.
Competencia habilitada	15 %	Mayor competencia efectiva es más favorable.
Factibilidad y tiempo de implementación	15 %	Mayor factibilidad y menor plazo son más favorables.
Riesgo de transición	10 %	Menor riesgo de transición es más favorable.
Carga administrativa	10 %	Menor carga de gestión es más favorable.

Fuente: elaboración propia.

Cada escenario se calificó en cada criterio con una escala ordinal de 1 (muy desfavorable) a 5 (muy favorable). Todos los criterios se codificaron en sentido positivo, de modo que una mayor nota representa un mejor desempeño. Las notas se sustentaron en la evidencia de las Fases 1 y 2 (cobertura, concentración, alternativas de mercado, criticidad, dependencia OEM y requisitos de implementación) y, en el criterio de ahorro, en la estimación de la Sección 5.7.3. El Anexo E registra la justificación de cada nota.

El puntaje ponderado de cada escenario se calculó mediante:

$$S_e = \sum_{k=1}^6 w_k q_{ek}, \quad (15)$$

donde S_e es el puntaje del escenario e , w_k es el peso del criterio k expresado como proporción y q_{ek} es la nota del escenario e en dicho criterio. El escenario con mayor

puntaje se seleccionó como recomendación. La matriz es una herramienta de apoyo a la decisión: no predice ahorros ni equivale a una adjudicación.

Para examinar cuánto depende el resultado de las ponderaciones se realizó un análisis de sensibilidad univariado. El peso de cada criterio se modificó, por separado, en ± 5 puntos porcentuales, y la diferencia se redistribuyó proporcionalmente entre los cinco criterios restantes para mantener la suma en 100 %. Con las notas constantes, se recalcularon los puntajes en las doce configuraciones resultantes. La selección se consideró robusta si el escenario mejor evaluado conservaba el primer lugar en todas ellas.

5.7.5 Formulación de lineamientos y riesgos

El escenario seleccionado se tradujo en lineamientos diferenciados por cuadrante. En las familias estratégicas y de cuello de botella se priorizaron la continuidad, la validación técnica, la cobertura y la gestión de la dependencia. En las familias apalancadas se priorizaron la competencia y la consolidación de demanda, y en las rutinarias, la eficiencia administrativa, la catalogación y los mecanismos simplificados de compra.

Finalmente, se identificaron las condiciones habilitantes y los riesgos de implementación. Los riesgos se agruparon en técnicos, comerciales, operacionales y de transición, y cada uno se vinculó con una medida de mitigación. Esta etapa separa la conveniencia analítica de una alternativa de su factibilidad de implementación.

5.8 Validez y limitaciones metodológicas

La validez del estudio se resguardó de dos maneras. Por una parte, las reglas de la Sección 5.4 permiten rastrear cada indicador hasta su fuente, su unidad de observación y su regla de cálculo. Por otra, los resultados se triangularon entre fuentes: los patrones de gasto y de proveedores se contrastaron con la clasificación funcional, el parque de equipos, la criticidad FMECA y el mapa de mercado.

Los resultados deben interpretarse, no obstante, considerando las siguientes limitaciones de los datos y del método:

- La calidad y completitud del maestro de materiales y de las ubicaciones técnicas es heterogénea; la capacidad y la marca del parque solo se conocen en los registros que las informan.
- La clasificación funcional depende de las descripciones de los materiales, y una parte del pool permanece pendiente de clasificación.
- La ausencia de compra en el periodo no permite concluir obsolescencia.

- El FMECA cubre 27 componentes, no la totalidad de los SKU ni de las familias.
- El HHI mide la concentración observada en el gasto histórico y no representa, por sí solo, el riesgo de suministro.
- La presencia de un proveedor en el mercado no equivale a homologación técnica ni a habilitación contractual.
- Las ponderaciones y las notas de los escenarios incorporan juicio analítico, y el análisis de sensibilidad solo examina variaciones de un peso a la vez.
- El potencial de ahorro se estima a partir de precios históricos y no controla el tamaño de lote, la urgencia ni el plazo de entrega.

En consecuencia, la estrategia formulada es una propuesta analítica para orientar las fases posteriores. Las actividades que quedan fuera del estudio se detallan en el Capítulo 6.

6 | Alcance

Este capítulo delimita el estudio: qué categoría aborda, en qué organización y periodo se desarrolla, y qué actividades quedan fuera. La Tabla 6 resume esta delimitación y las secciones siguientes la precisan.

Tabla 6: Delimitación del estudio

Dimensión	Dentro del alcance	Fuera del alcance
Categoría	Partes, piezas y repuestos de puentes grúa, grúas portales y equipos afines (polipastos, monorrieles y pórticos).	Materiales de otras categorías (equipos de elevación de personas, grúas horquilla y grúas pedestal) y piezas genéricas de uso transversal (rodamientos, sellos y tornillería).
Proceso	Fases 1 a 3 de la Gestión de Categorías: situación actual, análisis técnico y de mercado, y definición de estrategias.	Fases 4 a 6: elaboración de bases y RFQ, evaluación de ofertas, negociación, adjudicación e implementación de contratos.
Análisis técnico	Caracterización del parque de equipos y criticidad de componentes mediante FMECA.	Validación técnica de cada repuesto o alternativa; ingeniería de diseño, seguridad operacional y confiabilidad por equipo.
Organización	Codelco, con mirada corporativa: consumo de todas las divisiones con compras de la categoría.	Decisiones técnicas de las áreas usuarias y del mantenimiento divisional.
Periodo	Compras de 2021 a 2025; bases maestras y técnicas al último corte disponible.	—
Beneficios	Estimación del potencial de ahorro en precio.	Medición de ahorros capturados.

Fuente: elaboración propia.

6.1 Delimitación del estudio

El estudio aborda la categoría de suministros de componentes para puentes grúa y grúas portales de Codelco. Entre sus materiales se cuentan cables, ganchos, botoneras, polipastos, motorreductores, rieles y componentes eléctricos. Los criterios con que se determinó la pertenencia de cada material a la categoría se describen en la Sección 5.5.1.

El trabajo se desarrolló durante 2026 en Codelco Casa Matriz, en la Vicepresidencia de Abastecimiento, dentro de la Gerencia de Servicios para el Mantenimiento y Adquisición de HME. La mirada corporativa responde al propósito de identificar oportunidades transversales de consolidación de demanda, estandarización y cobertura contractual. Las

conclusiones y recomendaciones consideran la información disponible hasta la fecha de elaboración del estudio.

6.2 Aspectos excluidos del estudio

Las exclusiones de la Tabla 6 responden a tres razones. Primero, el proceso formal de contratación corresponde a etapas posteriores, reguladas por el Procedimiento Corporativo de Contratación; la memoria entrega insumos para ese proceso, pero no lo ejecuta. Segundo, la validación técnica de cada repuesto o fuente de suministro requiere la participación de especialistas, mantenedores, áreas usuarias y fabricantes, por lo que el estudio no reemplaza sus responsabilidades. Tercero, los beneficios se presentan como potenciales y no como ahorros realizados: su materialización depende de la implementación de los lineamientos, de la validación interna de Codelco, de las condiciones del mercado proveedor y de los resultados de futuros procesos de contratación.

7 | Resultados de la gestión de categorías

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos mediante la aplicación de las tres primeras fases de la metodología de Gestión de Categorías a las partes, piezas y componentes para grúas y puentes grúa. La exposición mantiene la secuencia metodológica del estudio. En primer lugar, se establece la línea base económica, material y contractual de la categoría. Luego, se incorporan la caracterización técnica del parque, la criticidad de componentes y la estructura del mercado proveedor. Finalmente, ambos cuerpos de evidencia se integran para segmentar las familias, comparar escenarios y formular un modelo diferenciado de abastecimiento.

Los resultados corresponden a una base analítica para orientar las fases posteriores del proceso de contratación, cuya implementación requiere validación técnica, salida formal al mercado y las aprobaciones establecidas por el Procedimiento Corporativo de Contratación.

7.1 Fase 1: análisis de la situación actual

La primera fase permitió construir una línea base común para una categoría que se encontraba distribuida entre distintas fuentes, divisiones, proveedores y modalidades de compra. El resultado principal fue la consolidación de un pool maestro trazable, vinculado con las compras efectuadas durante 2021–2025. La Tabla 7 resume las magnitudes que se utilizaron en las fases posteriores.

Tabla 7: Indicadores de la línea base de la categoría, 2021–2025

Indicador	Resultado
Gasto acumulado	USD 22,38 millones
Gasto promedio anual	USD 4,48 millones
SKU del pool maestro	2.146
SKU con al menos una compra en el periodo	1.182
Cobertura de compra del pool	55,1 %
SKU sin compra observada en el periodo	964
Participación del gasto mediante compra <i>spot</i>	69,29 %
Participación del gasto mediante convenio	30,71 %
Participación del principal proveedor	31,53 %
Participación del gasto asociada a fuente única	71 %
SKU con evidencia de múltiples proveedores	278

Fuente: elaboración propia a partir de registros SAP/BW, PFEP, ARBOL_CAT y diccionario de SKU.

7.1.1 Consolidación del pool y cobertura de compra

La integración de las fuentes produjo un pool maestro de 2.146 SKU únicos. De ellos, 1.182 registraron al menos una compra durante 2021–2025, equivalentes al 55,1 % del universo. Los 964 SKU restantes no presentaron compras en el periodo. Esta diferencia muestra que el maestro contiene una proporción importante de repuestos de baja o nula recurrencia, pero no permite concluir que sean obsoletos. Su ausencia de compra también puede responder a inventario disponible, repuestos de contingencia, baja frecuencia de falla, creación reciente o cambios en la configuración de los equipos.

La principal consecuencia para la gestión fue distinguir entre el tamaño del catálogo y su utilización histórica. Esta separación evita dimensionar una futura contratación únicamente por el número de códigos y permite priorizar la validación de materiales sin perder aquellos que, aun sin consumo frecuente, podrían ser necesarios para equipos esenciales.

7.1.2 Gasto, demanda divisional y modalidad de compra

El gasto acumulado reconciliado alcanzó USD 22,38 millones, equivalente a un promedio de USD 4,48 millones anuales. Su distribución fue asimétrica: la principal división concentró 44,47 % del gasto y las cuatro de mayor participación reunieron 79,92 %. La categoría, por lo tanto, es corporativa por su presencia transversal, pero su demanda económica se concentra en un grupo acotado de operaciones. Este patrón habilita la consolidación de demanda, siempre que se mantengan las especificaciones y restricciones técnicas propias de cada división.

El 69,29 % del gasto se gestionó mediante compras *spot*, frente a 30,71 % bajo convenio. La magnitud de la compra transaccional constituye una de las principales brechas del diagnóstico: reduce la capacidad de planificar la demanda, obliga a repetir procesos de cotización y expone el suministro a condiciones comerciales y plazos variables. El resultado no implica que todos los SKU deban incorporarse en un único contrato; demuestra que la categoría requiere una cobertura diferenciada y coherente con su recurrencia y criticidad.

7.1.3 Estructura del suministro observado

Konecranes Chile fue el principal proveedor del periodo, con 31,53 % del gasto. Además, 71 % del gasto se asoció a una única fuente observada en los registros históricos, mientras 278 SKU presentaron compras a más de un proveedor. Ambos resultados son complementarios: la categoría posee alternativas reales en una parte del catálogo, pero la apertura competitiva no se distribuye de manera uniforme.

Por esta razón, la participación del proveedor dominante y la proporción de fuente única se interpretaron como señales iniciales de dependencia, no como una medición completa del riesgo. La concentración fue recalculada posteriormente dentro de cada familia mediante el HHI, y su interpretación se complementó con criticidad, dependencia OEM, cobertura y factibilidad de homologación.

En síntesis, la Fase 1 evidenció una categoría de magnitud económica relevante, con un pool amplio respecto de los SKU efectivamente comprados, demanda concentrada en pocas divisiones, alta participación de compras *spot* y dependencia significativa de fuentes únicas. Estos resultados definieron las preguntas técnicas y comerciales abordadas en la Fase 2.

7.2 Fase 2: análisis técnico y de mercado

La segunda fase incorporó la función de los materiales, el parque de equipos y las restricciones del mercado proveedor. Su finalidad fue distinguir dónde la competencia puede ampliarse de manera defendible y dónde la seguridad, la compatibilidad o la dependencia de fabricantes originales requieren un tratamiento conservador. Los resultados se presentan desde la demanda hacia la oferta: primero el catálogo de materiales, luego los equipos que lo originan y la criticidad de sus componentes, y finalmente el mercado que puede abastecerlos.

7.2.1 Clasificación funcional del pool de materiales

De los 2.146 SKU, 2.009 fueron asignados a nueve familias funcionales y 137 se mantuvieron pendientes de clasificación por falta de evidencia suficiente. La Tabla 8 muestra la distribución del pool, el gasto redondeado y la cobertura de compra de cada grupo.

Tabla 8: Distribución del pool por familia funcional

Familia	SKU	Pool	USD MM	Cobertura
Sistema de Izaje	438	20,4 %	6,6	69 %
Sistema de Frenos	268	12,5 %	2,2	61 %
Transmisión Mecánica	219	10,2 %	3,2	57 %
Accionamiento y Potencia Eléctrica	208	9,7 %	2,2	50 %
Control, Maniobra y Seguridad	341	15,9 %	1,8	44 %
Traslación y Rodadura	136	6,3 %	2,5	56 %
Estructura y Envoltentes	154	7,2 %	0,9	52 %
Ferretería, Sellado y Auxiliares	179	8,3 %	0,4	40 %
Sistema Hidráulico	66	3,1 %	0,8	47 %
Pendientes de clasificación	137	6,4 %	1,9	55 %
Total	2.146	100,0 %	22,38	55,1 %

Fuente: elaboración propia a partir del diccionario de SKU y las compras 2021–2025. *Nota:* los montos por familia están redondeados y no deben sumarse para reconstruir el total exacto; la cifra oficial es USD 22,38 millones. La cobertura corresponde al porcentaje de SKU de cada familia con al menos una compra en el periodo.

La tabla muestra que el tamaño del catálogo no equivale a impacto económico. Sistema de Izaje reunió 20,4 % de los códigos y 29,4 % del gasto. Transmisión Mecánica y Traslación y Rodadura sumaron 16,5 % de los códigos, pero cerca de un cuarto del gasto (USD 5,7 millones). En sentido inverso, Control, Maniobra y Seguridad fue la segunda familia en número de códigos (15,9 %) y concentró solo 8,0 % del gasto.

La cobertura de compra agrega una segunda lectura. Varió entre 40 % en Ferretería,

Sellado y Auxiliares y 69 % en Sistema de Izaje, de modo que en todas las familias una parte importante de los códigos no registró compras en cinco años. En Control, Maniobra y Seguridad esa parte supera la mitad (cobertura de 44 %). Una futura contratación dimensionada por número de códigos sobrestimaría, por tanto, la demanda efectiva de esta familia.

Los 137 SKU pendientes equivalieron a 6,4 % del pool y a un gasto cercano a USD 1,9 millones. Por su magnitud, este grupo no puede tratarse como una brecha meramente administrativa: su saneamiento puede modificar la lectura de las familias y debe completarse antes de definir el alcance final de una licitación.

7.2.2 Parque de equipos y relevancia operacional

Los materiales de la categoría se demandan porque existe un parque de equipos que los consume. Esta sección dimensiona ese parque, lo ubica en las divisiones y procesos de la Corporación y caracteriza la función que cumple.

Dimensión del parque. El libro corporativo SOMA registra 22.908 equipos, de los cuales 4.774 están clasificados como esenciales (Figura 32). Dentro de ese grupo se identificaron 907 puentes grúa y equipos afines, equivalentes a 19,0 % de los equipos esenciales: cerca de uno de cada cinco. La categoría abastece, entonces, a una de las familias de activos más numerosas entre aquellas que la Corporación define como esenciales.

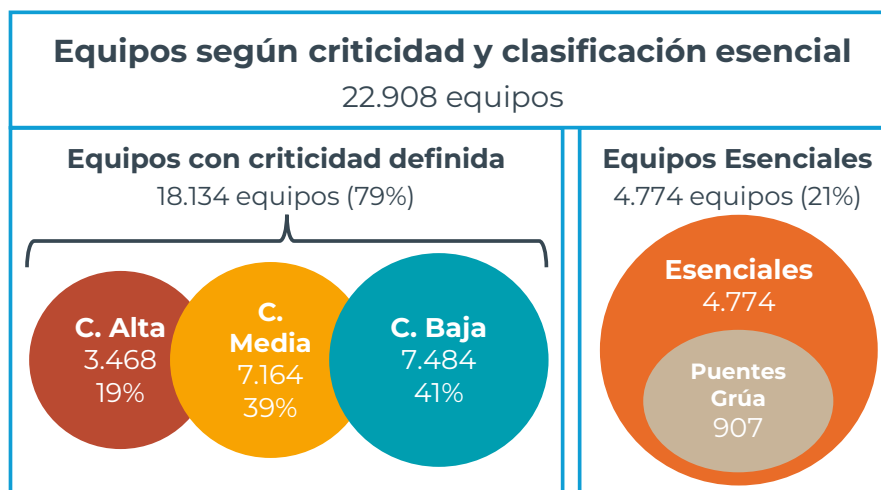


Figura 32: Equipos del libro SOMA 2025 según criticidad y clasificación esencial

Fuente: elaboración propia a partir de Codelco (2025a).

El universo de 907 equipos no está compuesto solo por puentes grúa. Según la clasificación preliminar de las descripciones de las ubicaciones técnicas, 395 equipos (43,6 %) corresponden a puentes grúa y 241 (26,6 %), a monorrieles; ambos tipos reúnen

70,1 % del parque. El resto se distribuye entre polipastos y tecles (70), grúas portales (8) y 193 equipos de izaje cuya tipología requiere revisión. Esta composición es coherente con el alcance del estudio, que incluye los equipos afines.

Ubicación del parque. El parque se concentra en pocas divisiones. Chuquicamata (DCH) reúne 367 equipos y El Teniente (DET), 275; en conjunto representan 70,8 % del total, y las cuatro primeras divisiones alcanzan 85,8 % (Figura 33).

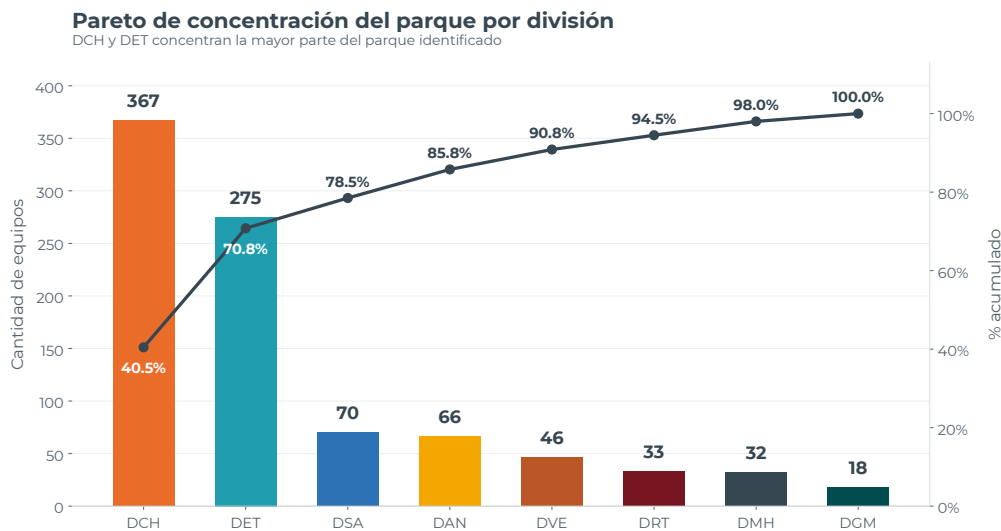


Figura 33: Concentración del parque de equipos por división

Fuente: elaboración propia a partir de Codelco (2025a).

La concentración del parque no coincide en todos los casos con la del gasto. Chuquicamata concentra 40,5 % de los equipos y cerca de 45 % del gasto de la categoría, una relación proporcional. El Teniente, en cambio, reúne 30,3 % de los equipos y cerca de 12 % del gasto. Los datos disponibles no permiten explicar esta diferencia, que puede responder a distintas modalidades de mantenimiento, a la antigüedad de los equipos o a compras registradas fuera de la categoría. Para la estrategia, el resultado indica que el gasto histórico no basta para dimensionar la demanda de una división y que el parque instalado debe considerarse como segunda referencia.

La Figura 34 desagrega cada división por área operacional. Dos celdas, el área Planta de El Teniente (153 equipos) y la de Chuquicamata (152), reúnen un tercio del parque. A nivel corporativo, Planta suma 425 equipos (46,9 %) y Fundición, Refinería y Tostación (FUREyT), 280 (30,9 %); ambas áreas concentran 77,7 % del total.

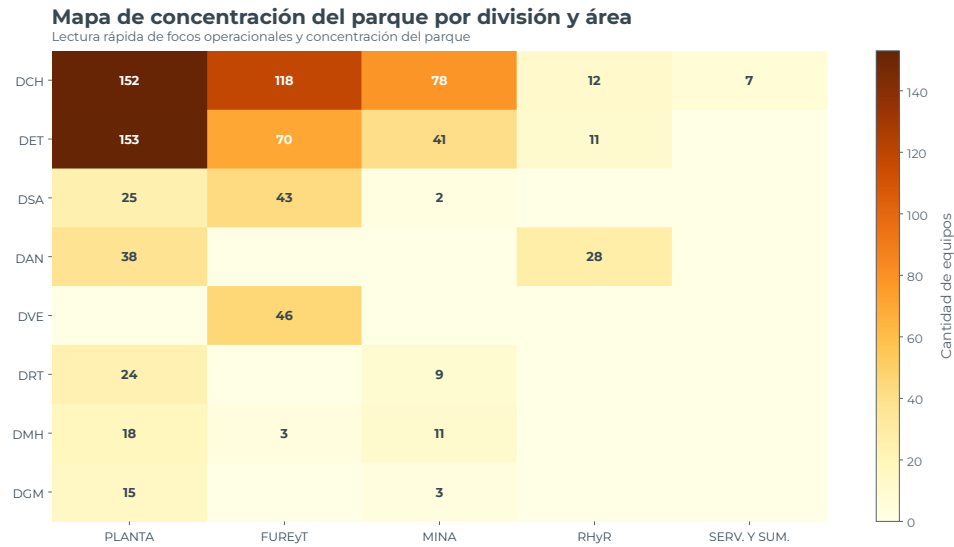


Figura 34: Distribución del parque por división y área operacional

Fuente: elaboración propia a partir de Codelco (2025a).

La Figura 35 muestra los procesos que componen cada área. En Planta predomina la concentradora, con 336 equipos (37,0 % del parque), y en FUREyT, la fundición (149) y la refinación (85). El área Mina aporta 144 equipos, mayoritariamente de mina subterránea (92). El parque se ubica, por tanto, en los procesos de beneficio y refinación del mineral, y solo en menor medida en la extracción.

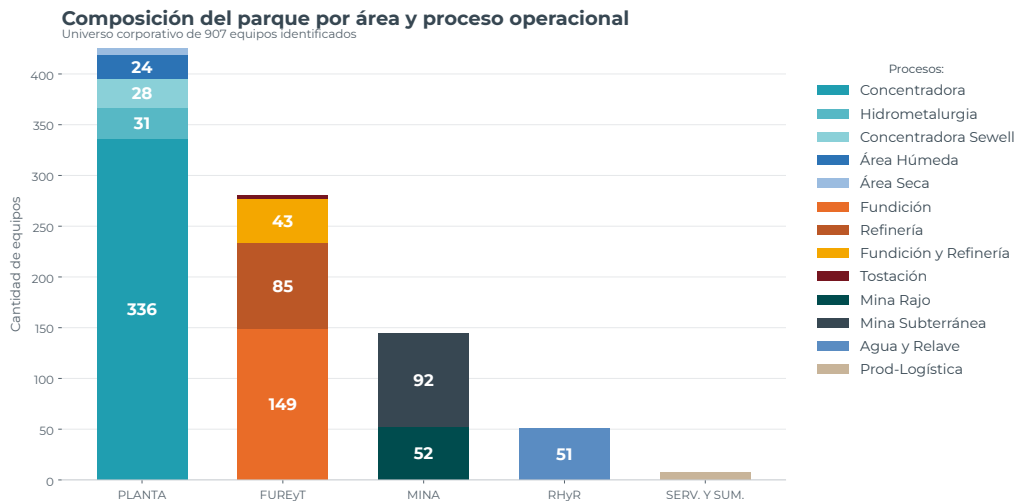


Figura 35: Composición del parque por área y proceso operacional

Fuente: elaboración propia a partir de Codelco (2025a).

Función del parque. De los 907 equipos identificados, 900 cuentan con ubicación técnica de nivel N5. La Figura 36 los distribuye según su rol y según la importancia del proceso al que pertenecen.

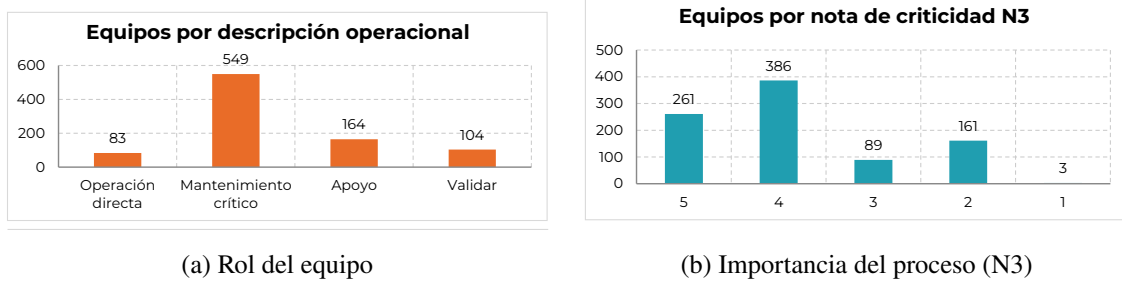


Figura 36: Distribución del parque según el rol del equipo y la importancia del proceso

Fuente: elaboración propia a partir de Codelco (2025a) y de las ubicaciones técnicas. Base: 900 equipos.

El rol predominante es el de mantenimiento crítico, con 549 equipos (61,0 %); solo 83 (9,2 %) participan directamente en la operación y 164 (18,2 %) cumplen funciones de apoyo. El puente grúa es, ante todo, un equipo habilitante: su indisponibilidad no detiene por sí misma el proceso, pero impide intervenir los equipos que sí lo detienen. En cuanto al proceso, 647 equipos (71,9 %) pertenecen a procesos de nivel 4 o 5, los dos niveles superiores de la escala.

En 104 equipos el rol no pudo asignarse con la información disponible y quedó por validar. El cruce entre ambos atributos se realizó para 783 equipos, equivalentes a 86,3 % del universo identificado; los 124 restantes, entre ellos los 104 con rol por validar, se conservaron en el universo general sin imputarles valores. La Figura 37 presenta la distribución del subconjunto analizable.

N5 \ N3	5	4	3	2	1	Total (N5)
1	69	5	-	-	-	74
0.8	137	316	28	66	2	549
0.5	4	5	58	92	1	160
Total (N3)	210	326	86	158	3	783

Figura 37: Cruce entre el rol del equipo (N5) y la importancia del proceso (N3)

Fuente: elaboración propia. Los factores 1,0; 0,8 y 0,5 corresponden a operación directa, mantenimiento crítico y apoyo. Base: 783 equipos.

En el subconjunto analizable, 623 equipos (79,6 %) cumplen una función de operación directa o de mantenimiento crítico, y 536 (68,5 %) se vinculan con procesos de nivel 4 o 5. La celda más poblada, con 316 equipos, corresponde a mantenimiento crítico en procesos de nivel 4, y 69 equipos (8,8 %) reúnen la condición más exigente: operación directa en procesos de nivel 5. En el extremo opuesto, 151 equipos (19,3 %) cumplen funciones de apoyo en procesos de nivel 3 o inferior.

Estas proporciones son conservadoras. De los 117 equipos con ubicación técnica que quedaron fuera del cruce, 111 pertenecen a procesos de nivel 4 o 5, por lo que su validación tendería a aumentar la participación de los niveles superiores. En consecuencia, la importancia de la categoría no depende únicamente del gasto: una interrupción en el suministro de repuestos puede limitar la operación o impedir intervenciones críticas sobre otros activos.

Complejidad de la caracterización técnica. La capacidad de carga pudo identificarse en 379 equipos (42,1 %) y la marca, en 19,4 %. Entre los equipos con capacidad informada, 80,7 % no supera las 20 toneladas (33,5 % bajo 5 toneladas y 47,2 % entre 5 y 20), 17,9 % se ubica entre 20 y 100 toneladas y 1,3 % alcanza 100 toneladas o más. La muestra no es aleatoria, pues solo incluye los equipos cuya descripción consigna la capacidad, pero sugiere un parque dominado por equipos de capacidad baja y media.

La información disponible fue suficiente para dimensionar el parque y su función general, pero no para establecer una estandarización corporativa por marca o capacidad. Estas variables requieren validación en terreno o actualización de las ubicaciones técnicas antes de utilizarse como especificación contractual.

7.2.3 Criticidad de componentes mediante FMECA

La matriz FMECA evalúa 27 componentes recurrentes y clasifica 7 como muy críticos, 11 como críticos y 9 como no críticos. En conjunto, 18 componentes (66,7 %) se ubican en los dos niveles superiores. La categoría combina, por tanto, elementos de distinto riesgo y no admite una única regla de homologación. La Tabla 9 presenta los componentes muy críticos.

Tabla 9: Componentes clasificados como muy críticos mediante FMECA

Componente	Frecuencia	Consecuencias	Criticidad total
Bobina de freno	5	89	445
Disco de freno de izaje	5	88	440
Disco de freno de carro	5	80	400
Resistencia de freno	4	89	356
Contactor de izaje	4	85	340
Barra de alimentación eléctrica	3	107	321
Freno de izaje	5	62	310

Fuente: elaboración propia a partir de la matriz FMECA (Anexo 9.4). La criticidad total corresponde al producto entre frecuencia y consecuencias, conforme a la Ecuación 12.

Cinco de los siete componentes se relacionan con el frenado (bobina, discos, resistencia y freno de izaje) y los dos restantes, con el accionamiento y la alimentación eléctrica. La

descomposición del puntaje distingue dos perfiles. Lo que separa a los componentes de frenado del resto no es solo la magnitud de sus consecuencias, sino la frecuencia de falla: cuatro de ellos registran el valor más alto observado en la matriz (5), propio de elementos de desgaste con consumo recurrente. La barra de alimentación eléctrica presenta el perfil opuesto, con una frecuencia menor (3) y el mayor puntaje de consecuencias de los 27 componentes (107). A modo de contraste, el cable de izaje y el variador de frecuencia principal tienen consecuencias comparables (99 y 97), pero su baja frecuencia (2 y 1) los deja fuera del nivel superior.

Esta diferencia tiene una implicancia de abastecimiento. Los componentes de desgaste con alta frecuencia generan una demanda previsible, que favorece la cobertura mediante convenio y la disponibilidad en stock. Los de baja frecuencia y alta consecuencia exigen, más bien, asegurar la disponibilidad ante un evento poco frecuente.

Entre los once componentes críticos se encuentran, entre otros, el cableado de alimentación del carro, el contactor de freno, la guía y el cable de izaje, la resistencia del variador de frecuencia, los dispositivos de seguridad del gabinete, el receptor inalámbrico y las poleas de izaje. Entre los nueve no críticos figuran elementos mecánicos y estructurales de baja frecuencia de falla, como las ruedas de traslación, el tambor de izaje y la estructura. La matriz no evalúa componentes de Transmisión Mecánica ni del Sistema Hidráulico, familias que quedan sin cobertura FMECA.

El resultado respaldó tres decisiones: conservar continuidad y validación técnica en componentes de frenado y seguridad; exigir equivalencia certificada antes de sustituir componentes eléctricos o de control; y evitar que la apertura competitiva de una familia se extrapole automáticamente a todos sus SKU.

El FMECA se interpretó a nivel de componente. La presencia de elementos muy críticos en una familia no implica que todos sus materiales compartan esa condición, del mismo modo que la ausencia de componentes evaluados no equivale a baja criticidad. Esta distinción se mantuvo al formular los lineamientos de la Fase 3.

7.2.4 Caracterización del mercado proveedor

El análisis del mercado buscó establecer quiénes pueden abastecer la categoría, por qué vía accede Codelco a ellos y en qué componentes existe espacio real para ampliar la competencia.

Estructura de la oferta. La oferta se organizó en tres segmentos, según la posición que ocupan en la cadena de valor del equipo (Figura 8). La Tabla 10 resume sus capacidades y la implicancia de cada uno para el abastecimiento.

Tabla 10: Segmentos del mercado proveedor identificados

Segmento	Capacidades	Actores identificados	Implicancia para el abastecimiento
OEM de equipos completos	Diseño, ingeniería y fabricación de puentes grúa, pórticos, monorraíles y equipos especiales	Konecranes, ABUS, GH, JASO, TYHI, Weihua	Acceso mediante filial o representante. Mayor dependencia técnica en repuestos propietarios, garantías y soporte del equipo.
OEM de componentes	Polipastos, motores, variadores, radiocontrol, electrificación, frenos y controles	Columbus McKinnon (Yale, STAHL), VAHLE, HBC-radiomatic, Autec, SEW-Eurodrive	Mayor espacio de homologación, sujeto a compatibilidad, certificación y validación de mantenimiento.
Integradores y soporte local	Representación, fabricación estructural, montaje, mantenimiento, inspección y certificación	Representantes, distribuidores, maestranzas y empresas de mantenimiento	Capacidad de suministro multimarca y de respuesta local; permiten ampliar la competencia en componentes no propietarios.

Fuente: elaboración propia a partir de las compras 2021–2025, antecedentes de fabricantes y revisión del mercado proveedor.

Los segmentos no son excluyentes. Fabricantes como Konecranes, ABUS o GH participan en los dos primeros, porque producen el equipo completo y también sus componentes, y sus representantes locales actúan en el tercero. La distinción relevante para Codelco no es, entonces, el tipo de empresa, sino el tipo de material: un repuesto propietario mantiene la dependencia del fabricante del equipo, mientras que un componente estandarizado puede adquirirse a otros fabricantes o a integradores multimarca.

Fabricantes y canales de acceso en Chile. El mapa de mercado identificó 18 fabricantes: 10 de equipos completos y 8 dedicados a componentes. La oferta es mayoritariamente europea, con presencia de tres fabricantes chinos de equipos completos. La Tabla 11 presenta el canal por el que cada uno accede al mercado nacional.

Tabla 11: Fabricantes identificados y canal de acceso en Chile

Fabricante	País	Canal identificado en Chile
<i>Equipos completos</i>		
Konecranes	Finlandia	Filial (Konecranes Chile SpA)
ABUS Kransysteme	Alemania	Representante (JJCrane)
GH Cranes & Components	España	Representante (Luagher)
JASO Industrial Cranes	España	Representante (GAAV)
Künz	Austria	Representante (Ferrostaal Chile)
Street Crane	Reino Unido	Distribuidor (Movitécnica)
TYHI / TZCO	China	Representante (TZ Mining)
Weihua	China	Sin representante verificado
Eurocrane	China	No verificado
OMIS	Italia	No verificado
<i>Componentes</i>		
Columbus McKinnon (Yale, STAHL)	Estados Unidos	Distribuidores; alcance no verificado
Cheng Day	Taiwán	Distribuidor (Inamar Izaje)
VAHLE	Alemania	No verificado
Delachaux	Francia	No verificado
HBC-radiomatic	Alemania	No verificado
Autec	Italia	No verificado
SEW-Eurodrive	Alemania	No verificado
Danfoss	Dinamarca	No verificado

Fuente: elaboración propia a partir de antecedentes públicos de los fabricantes y de sus representantes. *Nota:* la revisión fue exploratoria; la inclusión de una empresa no equivale a una homologación ni a una habilitación para contratar.

La tabla permite dos lecturas. La primera es que el acceso de Codelco a los fabricantes está intermediado: solo Konecranes opera con filial propia, y el resto lo hace mediante representantes o distribuidores. La contraparte contractual es, en la práctica, una empresa local, y su habilitación condiciona la participación del fabricante. La segunda es que el canal resultó más difícil de verificar justamente en el segmento con mayor espacio de homologación: se identificó en siete de los diez fabricantes de equipos completos, pero solo en uno de los ocho fabricantes de componentes. La consulta temprana al mercado propuesta en la Fase 3 debería dirigirse, en primer lugar, a este segmento.

A estos fabricantes se suman 14 integradores y empresas de soporte local identificados en la revisión, entre ellos Luagher, JJCrane, Inamar Izaje, South Cranes, Movitécnica, Fieffe y Cranetech. Su relevancia radica en la capacidad de respuesta en faena y en que varios operan como integradores multimarca.

Consolidación corporativa y dependencia del parque instalado. El número de marcas sobrestima el número de fuentes independientes. Se identificaron 41 marcas, pero varias pertenecen a un mismo grupo: Demag, SWF, R&M y Morris forman parte de Konecranes, y STAHL y Yale, de Columbus McKinnon. La competencia entre marcas de un mismo

grupo es, en el mejor de los casos, limitada.

Esta consolidación explica parte de la concentración observada en las compras. La Tabla 12 contrasta las marcas más frecuentes en las descripciones de las ubicaciones técnicas con los principales proveedores según el gasto.

Tabla 12: Principales marcas del parque y principales proveedores por gasto

Posición	Marcas en ubicaciones técnicas	Proveedores por gasto 2021–2025
1	P&H	Konecranes Chile
2	R&M	Femont
3	Konecranes	Metalúrgica Industrial Weldtech
4	ABUS	South Cranes
5	Kito	Inamar Izaje

Fuente: elaboración propia. *Nota:* la marca solo pudo identificarse en 19,4 % de los equipos, por lo que el orden de la primera columna es indicativo.

Según el mapa de fabricantes, tres de las cinco marcas más frecuentes del parque (P&H, R&M y Konecranes) pertenecen hoy al grupo Konecranes. La participación de Konecranes Chile en el gasto, de 31,53 %, es coherente con esa base instalada: una parte de la concentración no proviene de la forma de comprar, sino de los equipos que la Corporación ya opera. La apertura competitiva tiene, por tanto, un límite estructural en los repuestos propietarios de esas marcas.

La segunda columna aporta un matiz. Después de Konecranes, los proveedores con mayor gasto son empresas nacionales, y no los fabricantes globales del mapa. El segmento local tiene, entonces, un peso económico mayor que el que sugiere el número de fabricantes internacionales, y su capacidad de fabricación y suministro debe evaluarse con el mismo detalle.

Competencia efectiva en las compras. La disponibilidad de actores no se ha traducido en competencia efectiva. De los 1.182 SKU con compras en el periodo, 278 registraron más de un proveedor (23,5 %), y 71 % del gasto se asoció a una única fuente observada. Existe, por tanto, una brecha entre la competencia posible y la utilizada. Cerrarla requiere especificaciones comparables, homologación, lotes adecuados y proveedores habilitados.

Potencial de homologación por tipo de componente. La Tabla 13 presenta una valoración cualitativa del espacio de homologación, elaborada a partir de la revisión del mercado. Constituye un juicio preliminar y debe validarse con las áreas de mantenimiento.

Tabla 13: Potencial preliminar de homologación por tipo de componente

Componente	Potencial	Barrera técnica	Orientación preliminar
Polipastos y tecles	Medio-alto	Capacidad, compatibilidad y certificación	Homologar por rango de carga y marca equivalente
Motores y reductores	Medio	Montaje, potencia y estándar eléctrico	Evaluar equivalencias técnicas
Radiocontrol y botoneras	Medio	Compatibilidad y seguridad funcional	Abrir competencia entre marcas certificadas
Variadores, control y PLC	Medio-bajo	Parametrización, <i>software</i> y seguridad	Validar con mantenimiento y automatización
Repuestos propietarios del fabricante	Bajo	Dependencia de diseño y garantía	Negociar con el fabricante o su representante

Fuente: elaboración propia. *Nota:* valoración cualitativa, no validada con las áreas usuarias.

El potencial es mayor en los componentes que se fabrican en serie y por rangos de capacidad, como polipastos, tecles, motores y reductores, y disminuye a medida que el componente depende de la configuración del equipo, como ocurre con los variadores y los controladores. La composición del parque refuerza esta lectura, pues predominan los equipos de capacidad baja y media, que corresponden al rango de producto más estandarizado. La valoración no cubre los componentes de frenado ni la barra de alimentación eléctrica, que el FMECA clasifica como muy críticos; para ellos se mantiene la orientación conservadora.

Habilitación de proveedores. La revisión de habilitación, realizada sobre 19 proveedores relevantes, mostró que 17 contaban con segmentación RedNegocios vigente al corte analizado. En cambio, 10 presentaban certificado de accidentabilidad vencido o no presentado, es decir, más de la mitad de la muestra. Estos resultados no se utilizaron para excluir proveedores, sino para identificar un habilitante previo a la salida al mercado: si las condiciones de participación no se regularizan bajo un criterio común, la competencia efectiva de una licitación sería menor que la que sugiere el número de oferentes potenciales.

7.2.5 Síntesis de la Fase 2

La Fase 2 entregó tres resultados para la definición de estrategias. Primero, la categoría sostiene un parque de 907 equipos esenciales, concentrado en dos divisiones y en las áreas de Planta y de Fundición y Refinería, cuya función principal es habilitar el mantenimiento de otros activos. Segundo, la criticidad no es homogénea: los componentes de frenado y de alimentación eléctrica concentran los mayores puntajes, mientras que nueve de los 27 componentes evaluados no son críticos. Tercero, el mercado ofrece más marcas que fuentes independientes, y la competencia utilizada es inferior a la disponible.

En conjunto, la competencia puede ampliarse de forma selectiva. El espacio más claro

se encuentra en los componentes fabricados en serie y en los suministros estandarizables: polipastos, tecles, motores, reductores y radiocontroles. En rodadura, el único componente evaluado por el FMECA, las ruedas de traslación, resultó no crítico, lo que es compatible con una apertura sujeta a validación. En frenos, alimentación eléctrica, variadores y elementos de seguridad, la apertura requiere protocolos de equivalencia, pruebas y aprobación de mantenimiento, y en los repuestos propietarios la vía es la negociación con el fabricante. Estas diferencias son las que la Fase 3 traduce en una segmentación por familia.

7.3 Fase 3: definición y evaluación de estrategias

La tercera fase integró el diagnóstico económico, la clasificación funcional, el FMECA y el análisis del mercado para responder una pregunta: si conviene gestionar la categoría con una regla única o con un tratamiento distinto para cada grupo de familias. Los resultados se presentan en el orden en que se obtuvieron. Primero se segmentan las familias; luego se definen los escenarios de abastecimiento y se estima el ahorro en precio que cada uno permitiría capturar; con esa evidencia se comparan los escenarios y, finalmente, el escenario seleccionado se traduce en lineamientos, riesgos y condiciones de implementación.

7.3.1 Segmentación mediante la matriz de Kraljic

La matriz se construyó sobre las nueve familias clasificadas. El impacto económico se midió mediante la participación de cada familia en el gasto, y la concentración del suministro, mediante su HHI. Los umbrales correspondieron a las medianas observadas: 9,7 % del gasto y 1.647 puntos de HHI. La Figura 38 presenta la posición resultante.

De los 2.146 SKU del pool, 2.009 quedaron asignados a un cuadrante a través de su familia y 137 se mantuvieron como pendientes, fuera de la matriz. La Tabla 14 resume la composición de cada grupo.

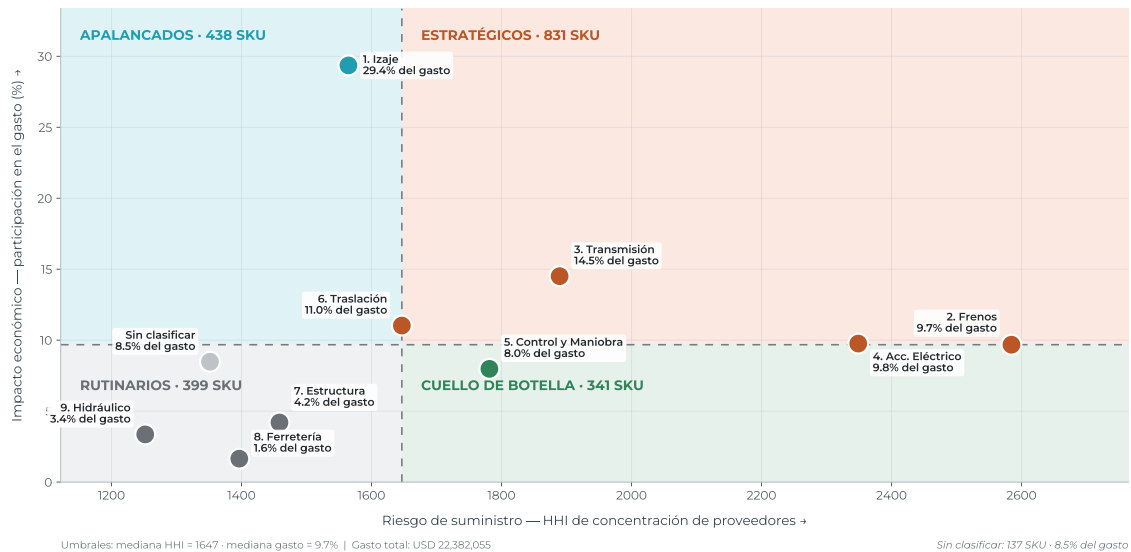


Figura 38: Segmentación de las familias mediante la matriz de Kraljic

Fuente: elaboración propia. El eje vertical corresponde a participación en el gasto y el horizontal a concentración de proveedores medida por HHI.

Tabla 14: Distribución de la categoría por cuadrante de Kraljic

Cuadrante	Familias	SKU	Gasto	USD MM
Estratégico	Frenos; Transmisión Mecánica; Accionamiento y Potencia Eléctrica; Traslación y Rodadura	831	45,0 %	10,07
Apalancado	Sistema de Izaje	438	29,4 %	6,57
Cuello de botella	Control, Maniobra y Seguridad	341	8,0 %	1,79
Rutinario	Estructura y Envolventes; Ferreteria, Sellado y Auxiliares; Sistema Hidráulico	399	9,2 %	2,06
Pendiente de clasificación	Sin familia asignada	137	8,5 %	1,90
Total		2.146	100,0 %	22,38

Fuente: elaboración propia. *Nota:* las participaciones y montos por cuadrante están redondeados; por ello, las cifras parciales pueden sumar 100,1 % y USD 22,39 millones. El total oficial no redondeado corresponde a USD 22,38 millones.

El cuadrante estratégico reunió cuatro familias y 45,0 % del gasto: Sistema de Frenos, Transmisión Mecánica, Accionamiento y Potencia Eléctrica, y Traslación y Rodadura. Sistema de Izaje, la familia de mayor gasto (29,4 %), se ubicó como apalancada, porque su concentración fue inferior al umbral. Control, Maniobra y Seguridad quedó como cuello de botella, al combinar un gasto bajo la mediana con una concentración sobre ella. Las tres familias rutinarias sumaron 9,2 % del gasto.

Dos precisiones acotan esta lectura. La primera es que los niveles alto y bajo son relativos a la estructura de la categoría y no equivalen a un umbral absoluto de concentración. Además, como las familias son nueve, la mediana de cada eje coincide con el valor de una de ellas: Sistema de Frenos en el gasto y Traslación y Rodadura en la concentración.

Ambas quedaron en el nivel alto por la regla de igualdad definida en la metodología, de modo que su posición es la más sensible a un cambio de criterio.

La segunda precisión es que la matriz representa solo el gasto y la concentración observada. La criticidad FMECA, la cobertura contractual y la dependencia OEM no modificaron las coordenadas; se utilizaron para interpretar cada posición. Por esa razón, familias de un mismo cuadrante pueden requerir tratamientos distintos, como ocurre en el cuadrante estratégico (Sección 7.3.5).

7.3.2 Escenarios de abastecimiento

La matriz mostró que las familias difieren en impacto económico y en concentración de proveedores. A partir de ella se formularon cuatro escenarios, que avanzan desde la situación vigente hasta un tratamiento diferenciado:

- **E0 – continuidad del estado actual:** mantiene la alta participación de compras *spot* y la estructura proveedora vigente. Es el escenario de referencia.
- **E1 – consolidación con el proveedor dominante:** aplica una regla única que concentra el abastecimiento en el principal proveedor del periodo, para simplificar la administración y asegurar continuidad.
- **E2 – apertura competitiva transversal:** aplica la regla opuesta, con competencia y homologación extendidas a toda la categoría.
- **E3 – modelo diferenciado:** asigna un tratamiento específico a cada cuadrante, combinando competencia, continuidad, cobertura y validación técnica.

Los tres primeros aplican una misma regla a toda la categoría; el cuarto la diferencia según la posición de cada familia en la matriz. Para compararlos se estimó primero el ahorro en precio asociado a cada uno y luego se evaluaron con los seis criterios definidos en la metodología.

7.3.3 Potencial de ahorro en precio por escenario

El índice interno de precios, estimado con 364 pares SKU–proveedor, registró un alza de 30,2 % entre 2021 y 2025: sus valores anuales fueron 1,000; 1,086; 1,206; 1,245 y 1,302. Este resultado matiza la lectura del gasto. Entre 2021 y 2025 el gasto anual aumentó 70,3 % en términos nominales; al descontar el índice, el aumento se reduce a cerca de 31 %.

La estimación del ahorro se efectuó sobre 543 SKU comparables, que concentran USD 13,09 millones, equivalentes a 58,5 % del gasto. Quedaron fuera 611 SKU con una

sola compra en el periodo (USD 8,23 millones) y 28 SKU con dispersión superior al umbral (USD 1,07 millones). La Tabla 15 presenta el potencial de cada escenario.

Tabla 15: Potencial anual de ahorro en precio por escenario

Escenario	Palancas consideradas	Miles de USD al año		
		Mínimo	Máximo	% del gasto
E0	Ninguna (escenario de referencia)	0	0	–
E1	Convenio y lista de precios; sin competencia	58	59	1,3
E2	Todas, en todas las familias	114	172	2,5–3,8
E3	Todas, sin competencia en frenos ni en accionamiento eléctrico	93	135	2,1–3,0

Fuente: elaboración propia. *Nota:* el mínimo lleva cada compra a la mediana de precios de su SKU y el máximo, a la fuente más barata observada. El porcentaje se calcula sobre el gasto anual promedio de la categoría (USD 4,48 millones).

E2 presenta el mayor potencial, porque activa todas las palancas en todas las familias. E3 captura cerca de 80 % de ese potencial sin abrir a competencia los componentes de frenado y de accionamiento eléctrico. E1 queda en el nivel más bajo, pues renuncia a la competencia entre proveedores.

La Figura 39 desagrega el potencial de E3 por año y por palanca. En el escenario mínimo, la competencia entre proveedores (USD 47 mil anuales) y la homogeneización de los precios de un mismo proveedor (USD 43 mil) explican casi la totalidad del resultado; la palanca de convenio aporta USD 3 mil.

El bajo aporte del convenio responde a un resultado específico: en los 43 SKU adquiridos bajo ambas modalidades, el precio *spot* no fue superior al de convenio (diferencia mediana de –1,2 %). Con la reserva de que se trata de un grupo reducido de materiales, los datos no respaldan la hipótesis de un sobreprecio de la compra *spot*. En consecuencia, el beneficio de ampliar la cobertura contractual no se espera en el precio unitario, sino en la carga transaccional y en la variabilidad de los plazos, efectos que este estudio no cuantificó.

El resultado es sensible al umbral de dispersión. Con un umbral de dos veces, el rango de E3 desciende a USD 79–105 mil anuales; con uno de cinco veces, asciende a USD 130–180 mil. En todos los casos la magnitud es acotada frente a un gasto promedio de USD 4,48 millones anuales. El valor de la estrategia no se explica, entonces, solo por el precio: depende también de la continuidad de los equipos esenciales, que este cálculo no incorpora y que la evaluación multicriterio recoge en el criterio de seguridad de suministro.

7.3.4 Evaluación multicriterio y análisis de sensibilidad

Los cuatro escenarios se calificaron en los seis criterios definidos en la metodología. La Figura 41 presenta las notas y los puntajes ponderados; el Anexo E registra la justificación

Descripción	2021	2022	2023	2024	2025	Total	Promedio
Gasto total de la categoría	3.734	2.607	5.562	4.119	6.360	22.382	4.476
Gasto en SKU comparables (2 o más compras)	1.857	1.982	2.698	2.871	3.680	13.089	2.618
Ahorro por competencia	53	14	65	58	43	234	47
Ahorro por lista de precios	34	44	21	48	70	216	43
Ahorro por convenio	5	0	4	3	4	15	3
Ahorro total, escenario mínimo	92	58	89	109	117	465	93
Ahorro total, escenario máximo	135	72	139	154	176	676	135

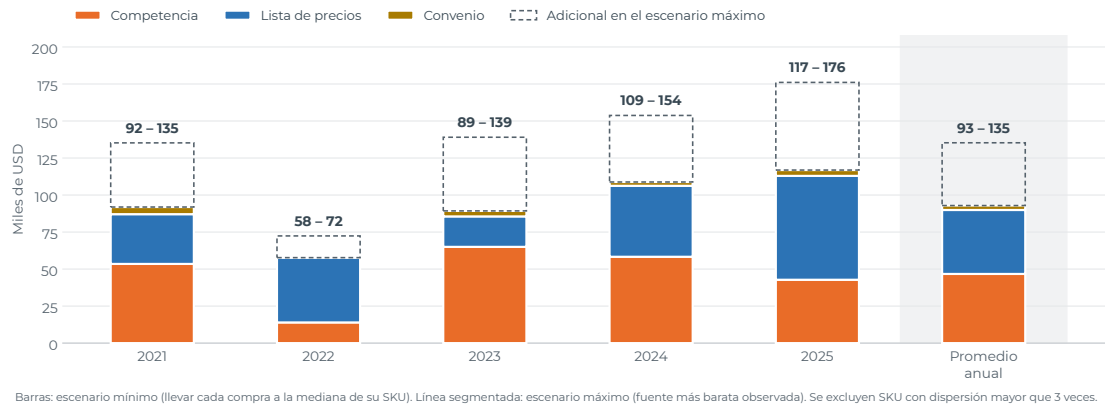


Figura 39: Potencial anual de ahorro en precio del escenario E3 frente al estado actual

Fuente: elaboración propia.

de cada nota. En el criterio de ahorro, las notas se asignaron a partir de la Tabla 15.

E0 obtuvo 2,40 puntos. Aunque evita una transición inmediata, mantiene la alta participación de compra *spot*, la carga transaccional y la dependencia observada. E1 alcanzó 3,15: mejora la simplicidad administrativa, pero profundiza la concentración y habilita poca competencia. E2 obtuvo 3,55 y fue la alternativa con mayor apertura competitiva, aunque su aplicación transversal eleva el riesgo de sustituir componentes críticos sin una diferenciación técnica suficiente.

E3 alcanzó 4,00 puntos y ocupó el primer lugar. Su ventaja provino principalmente de la seguridad de suministro, ya que combina competencia en las familias que cuentan con mercado y continuidad en aquellas sujetas a criticidad, dependencia OEM o validación pendiente. No fue el escenario de mayor factibilidad inmediata ni el de mayor ahorro en precio, pero ofreció el mejor equilibrio entre captura de valor, competencia y resguardo operacional.

El análisis de sensibilidad respaldó la selección. Al variar individualmente cada ponderación en ± 5 puntos porcentuales y redistribuir el ajuste entre los criterios restantes, E3 mantuvo el primer lugar en las doce configuraciones evaluadas. Su puntaje osciló entre 3,93 y 4,07, y la menor ventaja sobre el segundo escenario fue de 0,35 puntos. La recomendación no depende, por tanto, de una combinación exacta de ponderaciones dentro del rango analizado. El análisis mantiene constantes las notas, de modo que no examina la incertidumbre de las calificaciones.

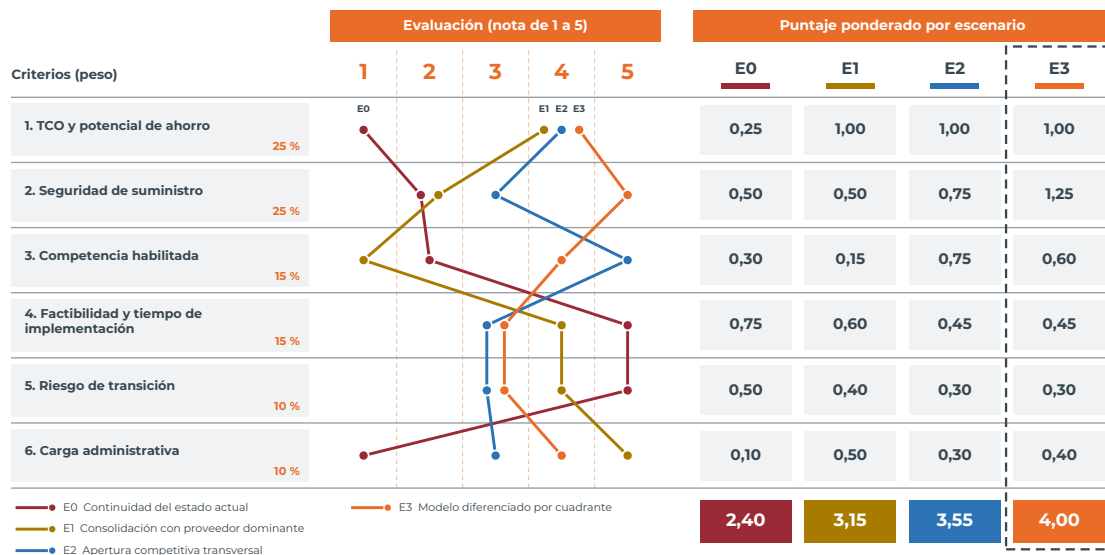


Figura 40: Evaluación multicriterio de los escenarios de abastecimiento

Fuente: elaboración propia.

7.3.5 Modelo de abastecimiento recomendado

El escenario E3 se tradujo en lineamientos diferenciados por cuadrante y, dentro del cuadrante estratégico, por familia. Esta segunda distinción fue necesaria para incorporar la criticidad de los componentes, que la matriz no representa. La Tabla 16 resume el tratamiento propuesto.

Tabla 16: Lineamientos del modelo de abastecimiento recomendado (E3)

Cuadrante y familias	Orientación	Lineamientos
Estratégico: Sistema de Frenos; Accionamiento y Potencia Eléctrica	Continuidad	Mantener la fuente OEM o un equivalente certificado; asegurar cobertura contractual; exigir validación técnica antes de cualquier sustitución; gestionar la dependencia mediante verificación periódica de precios y cláusulas de soporte y repuestos.
Estratégico: Transmisión Mecánica; Traslación y Rodadura	Homologación	Incorporar fuentes alternativas y multisuministro, sujeto a validación técnica, con el objetivo de reducir la concentración.
Apalancado: Sistema de Izaje	Competencia	Consolidar la demanda corporativa y promover competencia, separando los componentes críticos, que conservan validación técnica, de los estandarizables.
Cuello de botella: Control, Maniobra y Seguridad	Cobertura y apertura gradual	Asegurar continuidad y cobertura; abrir la competencia por lotes solo en componentes con equivalencia certificada.
Rutinario: Estructura y Envolventes; Ferretería, Sellado y Auxiliares; Sistema Hidráulico	Eficiencia	Catalogación y mecanismos simplificados de compra, para reducir la carga administrativa.
Pendientes de clasificación (137 SKU)	Saneamiento	Completar la clasificación antes de definir el alcance de una contratación.

Fuente: elaboración propia.

La orientación conservadora en Sistema de Frenos y en Accionamiento y Potencia Eléctrica responde a los resultados del FMECA: los siete componentes muy críticos corresponden a elementos de frenado, de accionamiento y de alimentación eléctrica. En Transmisión Mecánica y en Traslación y Rodadura, en cambio, la Fase 2 identificó oferta multimarca y espacio para ampliar la competencia.

El modelo define, además, movimientos objetivo dentro de la matriz, condicionados a la homologación. Transmisión Mecánica y Traslación y Rodadura podrían desplazarse desde el cuadrante estratégico hacia el apalancado si la incorporación de fuentes alternativas reduce su concentración. Control, Maniobra y Seguridad podría desplazarse desde cuello de botella hacia rutinario mediante lotes competitivos y componentes equivalentes validados. Estos movimientos, representados en la Figura 41, constituyen metas de gestión y no reclasificaciones ya materializadas.

La implementación del modelo requiere cinco condiciones habilitantes. Primero, completar la clasificación de los 137 SKU pendientes y mantener un responsable del maestro. Segundo, validar con Mantenimiento las equivalencias de los componentes críticos. Tercero, ejecutar una consulta temprana al mercado para confirmar capacidad, plazos y cobertura de los proveedores. Cuarto, regularizar los requisitos de habilitación bajo criterios

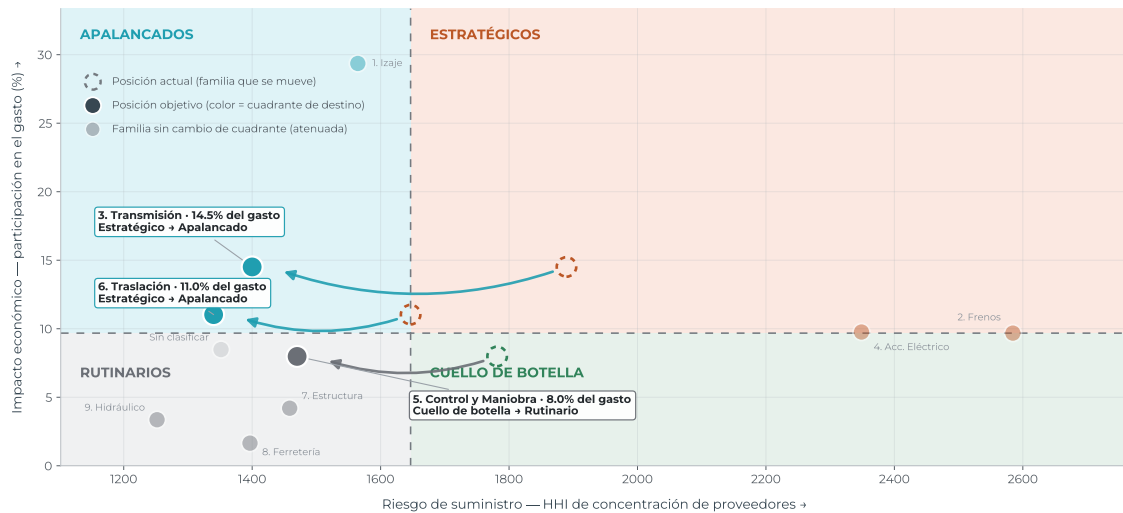


Figura 41: Movimientos objetivo de las familias en la matriz de Kraljic

Fuente: elaboración propia. Los movimientos están condicionados a la validación técnica y a la incorporación efectiva de fuentes alternativas.

comunes. Quinto, establecer una transición que preserve la continuidad de los convenios y del stock mientras se implementan los nuevos mecanismos.

La secuencia propuesta comprende: validación del alcance y de la continuidad contractual; preparación de bases y consulta al mercado; licitación por paquetes; evaluación y adjudicación; transición y saneamiento de catálogo; y operación con indicadores. Los KPI propuestos incluyen cobertura mediante convenio, participación de compra *spot*, HHI por familia, nivel de servicio, plazo de entrega, dispersión de precios, participación multiproveedor y completitud del maestro. Para los tres primeros, la línea base corresponde a los valores obtenidos en este estudio.

7.3.6 Riesgos de implementación y mitigaciones

Los riesgos identificados se relacionan directamente con las brechas observadas en las tres fases. La Tabla 17 presenta las medidas propuestas para evitar que la búsqueda de competencia comprometa la continuidad o que la estrategia se degrade por falta de actualización.

Tabla 17: Riesgos de implementación y medidas de mitigación

Riesgo	Medida de mitigación
Homologación fallida en componentes de seguridad	Pilotos acotados, protocolo FMECA y aprobación de Mantenimiento; conservar fuente OEM o equivalente certificado mientras no exista validación.
Baja participación de proveedores alternativos	Consulta temprana al mercado, regularización de habilitantes y lotes que reduzcan barreras de entrada sin comprometer volumen.
Dependencia del proveedor dominante	Verificación periódica de precios, separación entre continuidad y competencia, segunda fuente y cláusulas de soporte y repuestos.
Quiebre de stock durante la transición	Continuidad contractual controlada, stock de seguridad para componentes prioritarios y transición escalonada.
Degradación del maestro de materiales	Responsable definido, reglas de catalogación, control de duplicados y KPI de completitud desde el inicio.

Fuente: elaboración propia.

7.3.7 Factibilidad institucional de la estrategia propuesta

La implementación de la estrategia debe ajustarse al marco de facultades y autorizaciones vigente en Codelco. El Manual de Alcance de Facultades establece que la estrategia y salida al mercado corresponde al plan comercial destinado a satisfacer las necesidades de bienes y servicios de la Corporación, considerando tanto los requerimientos del negocio como las condiciones del mercado proveedor. Asimismo, permite consolidar bienes, servicios o suministros provenientes de requerimientos distintos cuando pertenecen a una misma categoría, sujeto a la autorización correspondiente al monto global del negocio (Codelco, 2026).

Este marco respalda la factibilidad de estructurar contratos diferenciados por familia de componentes, criticidad y condiciones de mercado, en lugar de tratar de forma uniforme todos los suministros asociados a puentes grúa y grúas portales. Además, la eventual incorporación de proveedores alternativos o de componentes homologables puede considerar pruebas industriales dentro de la estrategia de categoría, siempre que se definan criterios técnicos de validación y seguimiento operacional (Codelco, 2026).

7.4 Síntesis de los resultados

La aplicación de las tres fases produjo cinco resultados principales, que siguen la secuencia del método.

Primero, la categoría se abastece mayoritariamente fuera de convenio y con alta dependencia de pocas fuentes: 69,29 % del gasto se ejecutó mediante compra *spot*, 71 % se asoció a fuente única y el principal proveedor concentró 31,53 %. Segundo, su relevancia

operacional excede su peso económico: se identificaron 907 equipos esenciales de la categoría, y 18 de los 27 componentes evaluados resultaron críticos o muy críticos. Tercero, existe una base para ampliar la competencia (41 marcas, más de 15 proveedores locales activos y 278 SKU con evidencia multiproveedor), cuyo aprovechamiento depende de la homologación y de la habilitación de proveedores.

Cuarto, las familias no admiten una regla única. La segmentación ubicó 45,0 % del gasto en el cuadrante estratégico y 29,4 % en el apalancado, y el escenario diferenciado E3 obtuvo el mayor puntaje (4,00) y conservó el primer lugar en las doce configuraciones del análisis de sensibilidad. Quinto, el potencial de ahorro en precio de E3 se estimó entre USD 93 mil y USD 135 mil anuales, equivalentes a entre 2,1 % y 3,0 % del gasto anual promedio.

En conjunto, los resultados no conducen a recomendar un único proveedor o contrato para toda la categoría. Indican que la combinación de impacto económico, concentración, criticidad y condiciones de mercado exige tratamientos distintos, y que el beneficio esperable del modelo propuesto es acotado en precio y descansa, sobre todo, en la continuidad del suministro de los equipos esenciales, que este estudio no valorizó. Esta evidencia constituye la base para la discusión de los alcances, limitaciones e implicancias del modelo propuesto.

8 | Discusión y limitaciones

Los resultados presentados en el capítulo anterior admiten una lectura que excede la descripción de la categoría analizada. Este capítulo interpreta los hallazgos, los contrasta con la literatura de abastecimiento estratégico, examina el efecto de las decisiones metodológicas sobre las conclusiones obtenidas y delimita el alcance de validez del modelo propuesto.

8.1 Interpretación de los hallazgos principales

El primer hallazgo es la distancia entre el tamaño formal de la categoría y su utilización efectiva. De los 2.146 SKU del pool maestro, 1.182 registraron al menos una compra durante 2021–2025, equivalentes al 55,1 % del universo. Esta cifra podría leerse como evidencia de obsolescencia, pero tal conclusión no se sostiene con la información disponible: la ausencia de compra también puede responder a inventario en bodega, repuestos de contingencia, baja frecuencia de falla o creación reciente del código. La implicancia práctica es que una futura licitación no puede dimensionarse sobre el número de códigos del maestro, sino sobre la demanda efectivamente observada, conservando la trazabilidad de los materiales no comprados hasta que su condición se resuelva técnicamente.

El segundo hallazgo es la magnitud de la brecha contractual: el 69,29 % del gasto se ejecutó mediante compra *spot* y solo el 30,71 % bajo convenio. Los datos no permiten atribuir a esta brecha un sobreprecio, pues en los 43 SKU adquiridos bajo ambas modalidades el precio *spot* no fue superior al de convenio (diferencia mediana de $-1,2$ %). Este resultado precisa dónde se ubica su efecto: la compra transaccional dificulta planificar la demanda, obliga a repetir procesos de cotización y dispersa las condiciones comerciales entre divisiones. Leída junto con el 71 % de gasto asociado a fuente única, la brecha describe una exposición del suministro que excede la eficiencia administrativa, y cuya magnitud conviene dimensionar con registros de plazos de entrega y de quiebres de stock.

El tercer hallazgo, y probablemente el de mayor consecuencia analítica, es la divergencia entre relevancia económica y relevancia operacional. La categoría representa un gasto medio de USD 4,48 millones anuales, magnitud moderada frente a los USD 2.400 millones anuales que gestiona la Gerencia de Abastecimiento para el Mantenimiento. Sin embargo, se vincula con 907 puentes grúa y equipos afines clasificados como esenciales; en el subconjunto analizable de 783 equipos, el 79,6 % cumple funciones de operación directa o de mantenimiento crítico. Adicionalmente, 18 de los 27 componentes evaluados en la matriz FMECA resultaron críticos o muy críticos. Una priorización basada exclusivamente en el volumen de gasto tendería a relegar esta categoría, decisión que la evidencia operacional no respalda.

El cuarto hallazgo matiza el diagnóstico de dependencia. La coexistencia de 41 marcas,

18 fabricantes, 14 integradores y empresas de soporte local, y 278 SKU con compras a más de un proveedor (23,5 % de los SKU comprados) indica que la concentración observada no obedece exclusivamente a restricciones técnicas del mercado. El matiz opera, sin embargo, en ambos sentidos. Por una parte, existe una porción del catálogo donde la competencia es factible y no ha sido utilizada. Por otra, el número de marcas sobrestima el número de fuentes independientes, porque varias pertenecen a un mismo grupo, y una parte de la concentración proviene del parque instalado y no de la forma de comprar. Esta distinción entre dependencia técnica y dependencia originada en la práctica de compra es la que sustenta el modelo diferenciado: donde la restricción es técnica, la apertura competitiva puede comprometer la seguridad; donde proviene de la práctica de compra, la apertura es una decisión de gestión disponible.

El quinto hallazgo delimita el beneficio económico de la estrategia. El potencial de ahorro en precio del escenario recomendado se estimó entre USD 93 mil y USD 135 mil anuales, equivalentes a entre 2,1 % y 3,0 % del gasto anual promedio, sobre 543 SKU comparables que concentran el 58,5 % del gasto. El resultado es relevante por lo que permite descartar: el valor de la propuesta no proviene principalmente del precio, sino de la continuidad del suministro de los equipos esenciales, que la evaluación multicriterio recoge en el criterio de seguridad de suministro. Haber separado ambos efectos evita sobrestimar el beneficio económico y orienta dónde debe medirse el resultado de la estrategia una vez implementada.

8.2 Contraste con la literatura

Los resultados son consistentes con la caracterización que Huiskonen (2001) realiza de la logística de repuestos de mantenimiento, según la cual la criticidad, la especificidad, el patrón de demanda y el valor del material condicionan su gestión, de modo que una pieza de bajo valor puede requerir cobertura asegurada. La categoría analizada se ajusta a ese patrón: Control, Maniobra y Seguridad reúne solo el 8,0 % del gasto e incluye componentes que la matriz FMECA clasifica como críticos, como los dispositivos de seguridad del gabinete y el receptor de control inalámbrico.

Respecto de la matriz de Kraljic (Kraljic, 1983), el estudio confirma su utilidad como instrumento de ordenamiento y, a la vez, las dificultades de medición que advierten Gelderman y Van Weele (2003): la posición de una familia depende de la métrica elegida para cada eje y de la definición de los límites entre cuadrantes. En esta memoria ambas dificultades se manifestaron, como se examina en la sección siguiente. Se observó, además, que la matriz no incorpora la criticidad técnica del componente como dimensión independiente. Dentro del cuadrante estratégico, cuatro familias comparten posición, pero Transmisión Mecánica y Traslación y Rodadura admiten multisuministro, mientras Sistema de Frenos y Accionamiento y Potencia Eléctrica requieren un tratamiento conservador por

los resultados del FMECA. La matriz identificó el grupo de mayor importancia relativa, pero fue insuficiente para determinar su tratamiento. Este es el argumento que justifica incorporar el FMECA como capa adicional de análisis, y no como una simple validación de la segmentación económica.

Los resultados matizan, en cambio, la expectativa de que la consolidación de demanda y la cobertura contractual se traduzcan principalmente en mejores precios, planteada en el marco teórico. En esta categoría, el precio de convenio no fue inferior al *spot* en los materiales comparables y el ahorro estimado es acotado, por lo que el aporte de ambas palancas debe buscarse en la carga transaccional y en la continuidad antes que en el precio unitario.

Finalmente, la evolución del abastecimiento desde una función transaccional hacia una función estratégica, documentada desde Kraljic (1983) y sistematizada por Monczka et al. (2020), encuentra en el 69,29 % de compra *spot* una expresión concreta de su tensión: la categoría dispone de instrumentos corporativos de contratación, pero su ejecución permanece mayoritariamente transaccional.

8.3 Alcance y efecto de las decisiones metodológicas

Cinco decisiones metodológicas condicionan los resultados y requieren explicitarse, dado que una parametrización distinta habría modificado la segmentación o la magnitud de los beneficios estimados.

La primera corresponde a la definición de los umbrales de la matriz de Kraljic mediante las medianas observadas entre las nueve familias clasificadas: 9,7 % de participación en el gasto y 1.647 puntos de HHI. Esta elección produce una segmentación relativa a la estructura interna de la categoría y evita que una familia de tamaño excepcional determine por sí sola los límites. Su contrapartida es que, con nueve familias, la mediana de cada eje coincide con el valor de una de ellas, de modo que algunas posiciones quedan en la frontera: Sistema de Frenos coincide con la mediana del gasto (9,7 %), Accionamiento y Potencia Eléctrica la supera por 0,1 puntos porcentuales (9,8 %) y Traslación y Rodadura coincide con la mediana del HHI. Para examinar este efecto se consideró la regla alternativa, que exige superar estrictamente la mediana: bajo ella, Sistema de Frenos pasaría a cuello de botella y Traslación y Rodadura a apalancado, y el gasto del cuadrante estratégico descendería de 45,0 % a 24,3 %. La distribución por cuadrante debe leerse, en consecuencia, como un ordenamiento relativo a la estructura de la categoría.

Los lineamientos, en cambio, se mantienen bajo ambas reglas, porque no dependen solo de la posición en la matriz. El tratamiento conservador de Sistema de Frenos se sostiene en que concentra los tres componentes de mayor criticidad total del FMECA, con 445, 440 y 400 puntos, y la orientación hacia la homologación en Traslación y Rodadura es

compatible con ambos cuadrantes: de hecho, su movimiento objetivo es precisamente el paso de estratégico a apalancado. Cabe agregar que el árbol corporativo asigna a la categoría completa el segmento de apalancamiento; la segmentación por familia de este estudio no contradice esa clasificación, pero muestra que oculta diferencias internas relevantes.

La segunda decisión es la utilización del HHI como única medida del eje horizontal. El índice mide concentración sobre el gasto históricamente ejecutado y no capacidad potencial de suministro: una familia atendida históricamente por un proveedor único registrará un HHI elevado aunque existan alternativas técnicamente viables no utilizadas. A ello se suma un efecto de agregación. El índice se calculó por familia, mientras que la sustitución entre proveedores ocurre a nivel de SKU; una familia puede repartir su gasto entre varios proveedores y, aun así, comprar cada material a uno solo. Por ello el índice se acompañó de indicadores medidos a nivel de SKU, como la proporción de gasto de fuente única (71 %) y el número de SKU con más de un proveedor (278), que muestran una dependencia mayor que la que sugiere el HHI por familia. Por las mismas razones, la dependencia de fabricantes originales, la criticidad y la factibilidad de homologación se emplearon para interpretar cada posición y no se incorporaron como coordenadas de la matriz. Los movimientos objetivo representados en la Figura 41 deben leerse en ese marco: constituyen metas de gestión condicionadas a la incorporación efectiva de fuentes alternativas, y no reclasificaciones ya materializadas.

La tercera decisión es la adopción del SKU como unidad de clasificación funcional, en lugar de la posición de compra. Esta elección permite agregar de manera consistente el gasto y la participación de proveedores, dado que todas las transacciones de un mismo código heredan la misma familia. Su costo es que un SKU cuya descripción resulta ambigua se mantiene sin clasificar en su totalidad, lo que explica que los 137 SKU pendientes concentren USD 1,9 millones y el 8,5 % del gasto. La magnitud de este grupo impide tratarlo como una brecha administrativa menor: su saneamiento puede modificar la participación relativa de las familias y, con ello, la posición de aquellas situadas cerca de los umbrales.

La cuarta decisión se refiere a la estimación del potencial de ahorro. El cálculo solo cubre los SKU con dos o más compras y excluye aquellos cuya dispersión de precios supera tres veces, y su resultado es sensible a ese umbral: con un límite de dos veces, el rango del escenario E3 desciende a USD 79–105 mil anuales, y con uno de cinco veces asciende a USD 130–180 mil. En todos los casos el resultado conserva el mismo orden de magnitud, entre 1,8 % y 4,0 % del gasto anual promedio, lo que respalda la conclusión de que el ahorro en precio es acotado.

La quinta decisión corresponde a la evaluación multicriterio. Las calificaciones se asignaron a partir de la evidencia de las tres fases y su justificación se registra en el anexo correspondiente, de modo que cada nota puede auditarse y discutirse; su validación con las áreas usuarias corresponde a la etapa de aprobación de la estrategia. El análisis de sensibilidad mostró que, al variar individualmente cada ponderación en ± 5 puntos porcentuales, el escenario E3 conservó el primer lugar en las doce configuraciones evaluadas,

con puntajes entre 3,93 y 4,07 y una ventaja mínima de 0,35 puntos. El orden tampoco depende de una calificación exacta: la ventaja de E3 sobre E2 proviene principalmente del criterio de seguridad de suministro (5 frente a 3), y E3 conservaría el primer lugar aun si esa nota se redujera en un punto (3,75 frente a 3,55). Los escenarios E0, E1 y E2 aplican una regla única a toda la categoría, por lo que la comparación responde directamente a la pregunta que orientó la Fase 3: si conviene gestionar la categoría con una regla única o con un tratamiento diferenciado. La evaluación respalda lo segundo; la configuración de cada paquete de contratación se define en las fases posteriores.

8.4 Limitaciones del estudio

Las limitaciones metodológicas del trabajo fueron declaradas en la Sección 5.8. Corresponde aquí examinar sus consecuencias sobre el alcance de las conclusiones.

La primera limitación se refiere al alcance de la valorización económica. El estudio estimó el potencial de ahorro en precio, pero no valorizó la continuidad del suministro ni los costos de implementación, que dependen de antecedentes propios de las fases posteriores, como plazos de entrega, quiebres de stock y resultados de la homologación. La propuesta debe leerse, por tanto, como una dirección estratégica fundada en evidencia económica, técnica y de mercado, cuya evaluación económica completa se plantea como trabajo futuro.

Una segunda limitación es la completitud heterogénea de los registros técnicos. La capacidad de carga pudo identificarse en 42,1 % de los equipos y la marca en 19,4 %. Esta cobertura resultó suficiente para dimensionar el parque y caracterizar su función general, pero impide sostener una estandarización corporativa por marca o capacidad. En términos prácticos, los lineamientos propuestos operan a nivel de familia y de cuadrante, y no permiten aún especificar requisitos técnicos a nivel de equipo en unas bases de licitación. Del mismo modo, el cruce entre la importancia del proceso (N3) y el rol del equipo (N5) pudo realizarse para 783 de los 907 equipos identificados, equivalentes al 86,3 %; los 124 restantes se conservaron en el universo general sin imputación, decisión que preserva la trazabilidad a costa de una cobertura parcial.

Una tercera limitación afecta la delimitación y la clasificación del pool. Ambas descansan en diccionarios de palabras clave y en la revisión individual de los casos ambiguos, por lo que dependen de la calidad de las descripciones del maestro; como resguardo, cada asignación conserva la palabra clave que la originó y su nivel de confianza, lo que permite auditarla. La cobertura de convenio se midió a nivel de categoría y no por familia, y el gasto no se desagregó según tipo de proveedor, de modo que la dependencia de fabricantes originales se interpretó de forma cualitativa.

Una cuarta limitación afecta la generalización de los resultados del FMECA. La matriz cubre 27 componentes recurrentes, no la totalidad de los 2.146 SKU ni de las nueve

familias; Transmisión Mecánica y Sistema Hidráulico carecen de componentes evaluados. En consecuencia, la ausencia de evaluación en una familia no constituye evidencia de baja criticidad, y los lineamientos correspondientes se formularon con esa salvedad.

Una quinta limitación se refiere al análisis del mercado proveedor. La identificación de proveedores potenciales tuvo carácter exploratorio: la presencia de un actor en el mapa de mercado no equivale a homologación técnica ni a habilitación contractual, y el canal de acceso en Chile solo pudo verificarse en uno de los ocho fabricantes de componentes. La revisión de habilitación sobre 19 proveedores relevantes, que mostró 17 con segmentación RedNegocios vigente y 10 con certificado de accidentabilidad vencido o no presentado, se utilizó para identificar un habilitante previo a la salida al mercado y no para excluir actores.

Finalmente, el estudio corresponde a un caso único. Sus resultados numéricos son específicos de la categoría, del período y de la organización analizados, y no son extrapolables a otras categorías de mantenimiento ni a otras compañías mineras. Lo que sí admite transferencia es el procedimiento: la secuencia de consolidación de fuentes dispersas, clasificación funcional, evaluación de criticidad a nivel de componente y segmentación con interpretación multidimensional puede replicarse en categorías que presenten condiciones análogas de dispersión de la información y criticidad operacional.

8.5 Implicancias para la gestión

La principal implicancia del estudio es que la unidad de decisión adecuada para esta categoría no es la categoría completa. Los cuatro escenarios evaluados representan, en el fondo, dos lógicas: aplicar una regla única a todo el conjunto, como proponen E0, E1 y E2, o diferenciar el tratamiento según la posición y la criticidad de cada familia, como propone E3. La evidencia de las tres fases es consistente con la segunda lógica, cuyo costo es una mayor complejidad de administración contractual.

Una segunda implicancia se refiere a la secuencia de implementación. Las cinco condiciones habilitantes identificadas no son recomendaciones paralelas, sino requisitos previos con precedencia definida: sin la clasificación de los 137 SKU pendientes no puede establecerse el alcance de los paquetes de licitación, y sin la validación de equivalencias por parte de Mantenimiento no puede abrirse la competencia en componentes críticos. Un proceso de contratación que omitiera estos pasos trasladaría al mercado una definición de alcance que la organización aún no ha resuelto internamente.

Una tercera implicancia se desprende del carácter acotado del ahorro en precio. Dado que el beneficio esperado es la continuidad, la implementación del modelo debería acompañarse, desde el inicio, de los indicadores de continuidad propuestos, en particular el plazo de entrega y el nivel de servicio por familia. Con esa línea base, el resultado de la estrategia podrá verificarse más allá de la cobertura de convenio y la concentración de proveedores.

Una cuarta implicancia, de carácter permanente, concierne a la gobernanza del maestro de materiales. La existencia de 137 SKU sin clasificación y la heterogeneidad de las ubicaciones técnicas no constituyen un problema puntual a resolver antes de licitar, sino una condición que reaparecerá si no se establece un responsable del maestro, reglas de catalogación y control de duplicados. Los indicadores de completitud propuestos cumplen esa función preventiva: sostienen en el tiempo la base analítica que esta memoria construyó.

9 | Conclusiones y recomendaciones

Esta memoria estructuró y analizó la categoría de suministros de componentes para puentes grúa y grúas portales en Codelco mediante la aplicación de las tres primeras fases de la metodología corporativa de Gestión de Categorías. Este capítulo presenta el cierre de los objetivos planteados, la respuesta a las preguntas de investigación, las recomendaciones dirigidas a la Vicepresidencia de Abastecimiento y las líneas de trabajo futuro.

9.1 Cumplimiento de los objetivos

Primer objetivo específico. La categoría, que no existía como un conjunto delimitado en los sistemas corporativos, fue delimitada y estructurada mediante la depuración, integración y clasificación de la información de materiales, compras y contratos. A partir de un maestro de 862.741 registros se obtuvo un pool preliminar de 7.883 SKU y, tras la revisión técnica, un pool maestro de 2.146 SKU, organizado en nueve familias funcionales que corresponden a los subsistemas del puente grúa. La taxonomía clasificó 2.009 SKU; los 137 restantes se mantuvieron como pendientes de clasificación, decisión que preservó la trazabilidad en lugar de forzar una asignación sin respaldo. Cada asignación conserva la palabra clave que la originó y su nivel de confianza, por lo que el procedimiento puede auditarse y repetirse con un nuevo corte del maestro. El objetivo se cumplió.

Segundo objetivo específico. La situación actual de la categoría fue caracterizada para el período 2021–2025. El gasto acumulado alcanzó USD 22,38 millones, con un promedio anual de USD 4,48 millones, y se concentró en pocas divisiones: la principal reunió el 44,47 % y las cuatro mayores, el 79,92 %. La cobertura de compra del pool fue de 55,1 % (1.182 SKU con al menos una compra). En cuanto a la modalidad de compra, el 69,29 % del gasto se ejecutó mediante compra *spot* y el 30,71 % bajo convenio. La concentración de proveedores se midió con el HHI por familia y con indicadores a nivel de SKU: el principal proveedor concentró el 31,53 % del gasto, el 71 % se asoció a una única fuente observada y 278 SKU registraron compras a más de un proveedor. Las brechas principales son, por tanto, la baja cobertura de convenio y la dependencia de fuentes únicas. El objetivo se cumplió.

Tercer objetivo específico. La relevancia operacional de la categoría quedó establecida por su vínculo con 907 puentes grúa y equipos afines clasificados como esenciales en el libro corporativo SOMA, equivalentes al 19,0 % de los equipos esenciales de la Corporación; en el subconjunto analizable, el 79,6 % cumple funciones de operación directa o de mantenimiento crítico. La criticidad técnica se examinó a partir de la matriz FMECA corporativa, que clasifica 7 de los 27 componentes evaluados como muy críticos y 11 como críticos, concentrados en el frenado, el accionamiento y la alimentación eléctrica. El mercado proveedor se organizó en tres segmentos (OEM de equipos completos, OEM de

componentes, e integradores y soporte local) y se identificaron 41 marcas, 18 fabricantes y 14 integradores y empresas de soporte local, junto con sus canales de acceso al mercado nacional. El análisis distinguió las restricciones, asociadas a los repuestos propietarios y al parque instalado, de las oportunidades de homologación y competencia, ubicadas en los componentes fabricados en serie, como polipastos, tecles, motores, reductores y radiocontroles. El objetivo se cumplió, con el alcance propio de una matriz FMECA de 27 componentes y de una revisión exploratoria del mercado.

Cuarto objetivo específico. Las nueve familias fueron segmentadas mediante la matriz de Kraljic, utilizando la participación en el gasto como medida de impacto económico y el índice de Herfindahl–Hirschman como medida de la concentración observada del suministro, con umbrales definidos por las medianas de 9,7 % y 1.647 puntos. El cuadrante estratégico reunió cuatro familias y el 45,0 % del gasto; el apalancado, Sistema de Izaje, con el 29,4 %; el de cuello de botella, Control, Maniobra y Seguridad, con el 8,0 %; y el rutinario, tres familias con el 9,2 %. La criticidad técnica y la dependencia de fabricantes originales complementaron la interpretación de cada posición y permitieron distinguir, dentro del cuadrante estratégico, las familias que requieren continuidad de aquellas que admiten multisuministro. El objetivo se cumplió.

Quinto objetivo específico. Se construyeron cuatro escenarios de abastecimiento, desde la continuidad del estado actual hasta un modelo diferenciado por cuadrante, y se compararon mediante una evaluación multicriterio de seis criterios, apoyada en una estimación del potencial de ahorro en precio. El modelo diferenciado (E3) obtuvo el mayor puntaje, con 4,00 puntos frente a 3,55 de la segunda alternativa, y conservó el primer lugar en las doce configuraciones del análisis de sensibilidad. A partir de él se formularon lineamientos por familia y cuadrante, cinco condiciones habilitantes, una secuencia de implementación, un conjunto de indicadores de seguimiento y cinco riesgos con sus medidas de mitigación. El objetivo se cumplió.

Objetivo general. La propuesta de estrategia de abastecimiento y contratación fue formulada a partir del análisis de la situación actual, la criticidad técnica y el mercado proveedor, y corresponde al modelo diferenciado por cuadrante. Su potencial de ahorro en precio se estimó entre USD 93 mil y USD 135 mil anuales, equivalentes a entre 2,1 % y 3,0 % del gasto anual promedio, y su principal beneficio esperado es la continuidad del suministro de los equipos esenciales. La propuesta constituye una base analítica trazable para orientar futuras decisiones de licitación y abastecimiento, cuya implementación corresponde a las fases posteriores del proceso corporativo de contratación.

9.2 Respuesta a las preguntas de investigación

Sobre la estructura actual de la categoría. La categoría se compone de un conjunto amplio y disperso de materiales: 2.146 SKU en el pool maestro, de los cuales el 55,1 % registró compras en el período. Su gasto acumulado, de USD 22,38 millones, se concentra en pocas divisiones, y su gestión contractual es limitada, con 69,29 % del gasto ejecutado mediante compra *spot* frente a 30,71 % bajo convenio. En síntesis, se trata de una categoría corporativa por su presencia transversal, pero transaccional por su modo de ejecución.

Sobre el mercado proveedor. El mercado combina concentración histórica con capacidad competitiva no utilizada. Konecranes Chile concentró el 31,53 % del gasto y el 71 % se asoció a fuente única, mientras coexisten 41 marcas, 18 fabricantes, 14 integradores y empresas de soporte local, y 278 SKU con compras a más de un proveedor. La oferta se organiza en tres segmentos con implicancias distintas: los OEM de equipos completos generan mayor dependencia en repuestos propietarios; los OEM de componentes abren espacio de homologación, sujeto a compatibilidad y criticidad; y los integradores y proveedores de soporte local aportan capacidad multimarca y respuesta en terreno. Parte de la concentración proviene del parque instalado, y la disponibilidad de actores, por sí sola, no se traduce en competencia efectiva.

Sobre las brechas y oportunidades. Se identificaron cuatro brechas. En delimitación, 137 SKU permanecen sin clasificación funcional y concentran USD 1,9 millones. En caracterización técnica, la capacidad de carga del parque se identificó en 42,1 % de los equipos y la marca en 19,4 %. En cobertura contractual, la compra *spot* supera dos tercios del gasto. En habilitación de proveedores, 10 de los 19 actores revisados presentaban certificado de accidentabilidad vencido o no presentado. Las oportunidades correlativas son la consolidación de la demanda concentrada en pocas divisiones, la homologación selectiva en las familias con mercado multimarca y la conversión de compra *spot* recurrente en cobertura contractual diferenciada, cuyo beneficio se espera en la continuidad y en la carga transaccional antes que en el precio unitario.

Sobre los lineamientos estratégicos. Los lineamientos se organizan según la posición de cada familia en la matriz y su criticidad técnica. Sistema de Izaje, en el cuadrante apalancado, admite consolidación de la demanda corporativa y competencia, separando los componentes críticos de los estandarizables. Transmisión Mecánica y Traslación y Rodadura admiten la incorporación de fuentes alternativas y multisuministro, sujeta a validación técnica. Sistema de Frenos y Accionamiento y Potencia Eléctrica requieren continuidad mediante la fuente OEM o un equivalente certificado, con cobertura contractual y validación previa a cualquier sustitución. Control, Maniobra y Seguridad requiere asegurar continuidad y cobertura, con apertura por lotes solo en componentes de equivalencia certificada. Las familias rutinarias admiten catalogación y mecanismos simplificados de compra, y los SKU pendientes deben sanearse antes de definir el alcance de una contratación.

9.3 Recomendaciones

Las recomendaciones se ordenan según su precedencia y no según su importancia relativa, dado que las primeras condicionan la factibilidad de las siguientes.

Previas a la salida al mercado. Completar la clasificación funcional de los 137 SKU pendientes y designar un responsable formal del maestro de materiales de la categoría. Someter a validación de la Gerencia de Mantenimiento las equivalencias técnicas de los componentes clasificados como críticos y muy críticos en la matriz FMECA, en particular los asociados a frenado, alimentación eléctrica y dispositivos de seguridad. Ejecutar una consulta temprana al mercado que confirme capacidad, plazos y cobertura efectiva de los proveedores identificados, dirigida en primer lugar a los fabricantes de componentes. Regularizar los requisitos de habilitación bajo un criterio común aplicable a todos los oferentes, atendiendo a los certificados de accidentabilidad observados.

Durante el diseño de la licitación. Estructurar el proceso por paquetes diferenciados según cuadrante y criticidad, evitando tanto la adjudicación única para toda la categoría como la apertura competitiva transversal. Dimensionar los lotes de modo que reduzcan barreras de entrada para proveedores alternativos sin fragmentar el volumen que sustenta la consolidación de demanda. Establecer una transición escalonada que preserve la continuidad de los convenios vigentes y el stock de componentes prioritarios mientras se implementan los nuevos mecanismos.

Posteriores a la implementación. Instalar el seguimiento mediante los indicadores propuestos. Para la cobertura mediante convenio, la participación de compra *spot* y el HHI por familia, la línea base corresponde a los valores obtenidos en esta memoria; para el plazo de entrega y el nivel de servicio, conviene levantarla desde el inicio, dado que en ellos se espera el principal beneficio del modelo. Verificar periódicamente los precios de las familias que permanezcan bajo continuidad con el proveedor dominante, como resguardo frente a la dependencia que el propio modelo acepta mantener en componentes de seguridad.

9.4 Trabajo futuro

Cinco líneas de continuidad se desprenden del alcance de esta memoria.

La primera es la extensión del FMECA más allá de los 27 componentes evaluados, con el propósito de otorgar cobertura a las familias que actualmente carecen de evaluación de criticidad.

La segunda es la evaluación económica completa de la estrategia, mediante un análisis de costo total de propiedad a nivel de familia que incorpore precios unitarios comparables, costos logísticos, de inventario y de indisponibilidad, junto con los costos de implementación. Esta línea permitiría valorizar la continuidad del suministro y sustituir la calificación ordinal empleada en la evaluación de escenarios por una estimación cuantitativa.

La tercera es la desagregación por familia de la cobertura de convenio y del gasto según tipo de proveedor, que permitiría cuantificar la dependencia de fabricantes originales y precisar el alcance de cada paquete de contratación.

La cuarta es el saneamiento y enriquecimiento de las ubicaciones técnicas del parque, orientado a elevar la identificación de marca y de capacidad de carga por sobre los niveles actuales de 19,4 % y 42,1 %, respectivamente, de modo de habilitar una estandarización corporativa por tipo de equipo.

La quinta es la medición *ex post* de los resultados de la estrategia una vez implementada, contrastando la línea base establecida en esta memoria con el desempeño observado. Esta comparación permitiría verificar si la diferenciación por cuadrante produce efectivamente la combinación de captura de valor y seguridad de suministro que la evaluación multicriterio anticipó.

Referencias

- ABUS Crane Systems. (s.f.). *Indoor cranes “made in Germany”* [Fotografía de un puente grúa monorraíl]. Consultado el 21 de julio de 2026, desde <https://www.abuscranes.com>
- Aslin, N. J., Stone, D., & Webb, W. (2005). *Current distribution in modern copper refining*. Xstrata Technology. Consultado el 4 de octubre de 2026, desde <https://www.glencoretechnology.com/.rest/api/v1/documents/e16cbd82a07b952f0a4ca60dcfb7076f/Current%20Distribution%20in%20Modern%20Copper%20Refining.pdf>
- Belton, V., & Stewart, T. J. (2002). *Multiple criteria decision analysis: An integrated approach*. Kluwer Academic Publishers.
- Christopher, M. (2011). *Logistics & supply chain management: Creating value-adding networks* (4.^a ed.). Pearson Education Limited.
- Codelco. (s.f.). *Proceso de electroobtención del cobre*. Consultado el 4 de septiembre de 2026, desde <https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/edic/base/port/electroobtencion.html>
- Codelco. (2017). *Manual de gestión de categorías* (Manual corporativo) (Elaborado por Porsche Consulting. Documento interno corporativo). Vicepresidencia de Abastecimiento.
- Codelco. (2025a). *Libro corporativo de equipos críticos y esenciales* (Documento normativo N.º GCM-E-008) (Información de uso interno). Gerencia Corporativa de Mantenimiento.
- Codelco. (2025b). *Libro del Sistema Operativo de Mantenimiento (SOMA)* (Documento normativo N.º GCM-M-002 REV02) (Vigencia 1 de agosto de 2025. Información de uso interno). Gerencia Corporativa de Mantenimiento.
- Codelco. (2025c). *Memoria anual 2025* (Memoria anual integrada). Corporación Nacional del Cobre de Chile. Consultado el 21 de julio de 2026, desde https://www.codelco.com/prontus_codelco/site/docs/20260330/20260330133750/codelco_memoria2025.pdf
- Codelco. (2025d). *Presentación corporativa 2025: Dirección de Suministros para el Mantenimiento* (Presentación corporativa) (Documento interno). Vicepresidencia de Abastecimiento.

- Codelco. (2025e). *Procedimiento corporativo de contratación* (Procedimiento N.º VAB-P-001 REV01) (Documento interno). Vicepresidencia de Abastecimiento.
- Codelco. (2025f, 15 de marzo). *Guía de registro y gestión de proveedores* (Guía corporativa N.º VAB-G-008 REV02) (Información de uso interno). Dirección de Excelencia de Abastecimiento.
- Codelco. (2026, 11 de mayo). *Manual de alcance de facultades* (Manual corporativo N.º MAF REV00–ACT.0) (Información de uso interno). Gerencia Corporativa de Riesgos, Aseguramiento y Control Interno.
- Comisión Chilena del Cobre. (2025). *Chile aumentará a 27,3 % su participación en la producción mundial de cobre en 2034* [Difusión del informe Proyección de la producción esperada de cobre en Chile]. Consultado el 21 de julio de 2026, desde <https://www.cochilco.cl/web/chile-aumentara-a-273-su-participacion-en-la-produccion-mundial-de-cobre-en-2034/>
- Consejo Minero. (2025). *Cifras actualizadas de la minería* (Reporte estadístico) (Edición de marzo de 2025. Elaborado a partir de información del Servicio Geológico de Estados Unidos, Sernageomin y Cochilco). Consejo Minero de Chile. Consultado el 21 de julio de 2026, desde <https://consejominero.cl/wp-content/uploads/2025/04/20250331-CAM-marzo-OK.pdf>
- de Vries, D., Hunt, S., Hanschar, L., & Louie, D. (2016). Kansanshi copper smelter: Design, commissioning and operation. *Proceedings of Copper 2016*.
- Ellram, L. M. (1995). Total cost of ownership: An analysis approach for purchasing. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 25(8), 4-23.
- Flores Flores, M. E. (2024). *Propuesta de mejora a la gestión de mantenimiento a puentes grúa en faena minera* [Trabajo de titulación]. Universidad Técnica Federico Santa María.
- Forner, E. L., Scheepers, J., du Toit, A. J., & Miller, G. M. (2018). Copper electrowinning circuit design: Optimized costing as a function of cell arrangement, productivity, rectifier size, and throughput. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 118(11), 1141-1148. <https://doi.org/10.17159/2411-9717/2018/v118n11a3>
- Gelderman, C. J., & Van Weele, A. J. (2003). Handling measurement issues and strategic directions in Kraljic's purchasing portfolio model. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 9(5–6), 207-216.

- Godoy Espinosa, J. P. (2011). *Modelación de la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de puentes grúa en la División Ventanas de Chile* [Trabajo de titulación]. Universidad Técnica Federico Santa María.
- Huiskonen, J. (2001). Maintenance spare parts logistics: Special characteristics and strategic choices. *International Journal of Production Economics*, 71(1–3), 125-133.
- International Electrotechnical Commission. (2018). *Failure modes and effects analysis (FMEA and FMECA)* (International standard N.º IEC 60812:2018). International Electrotechnical Commission. Geneva, Switzerland.
- International Energy Agency. (2025). *Global critical minerals outlook 2025* (Report). International Energy Agency. Paris, France. Consultado el 21 de julio de 2026, desde <https://www.iea.org/reports/global-critical-minerals-outlook-2025>
- International Organization for Standardization. (1991). *Cranes – Classification – Part 5: Overhead travelling and portal bridge cranes* (International standard N.º ISO 4301-5:1991). International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland.
- International Organization for Standardization. (2005). *Cranes – Vocabulary – Part 5: Overhead travelling and portal bridge cranes* (International standard N.º ISO 4306-5:2005). International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland.
- Kimball, R., & Caserta, J. (2004). *The Data Warehouse ETL Toolkit: Practical Techniques for Extracting, Cleaning, Conforming, and Delivering Data*. Wiley.
- Kraljic, P. (1983). Purchasing must become supply management. *Harvard Business Review*, 61(5), 109-117.
- Manar Rekabi. (2024). *Understanding FMECA analysis: A comprehensive guide*. Consultado el 7 de septiembre de 2026, desde <https://www.ors-consulting.com/failure-mode-effects-and-criticality-analysis-fmea>
- Monczka, R. M., Handfield, R. B., Giunipero, L. C., & Patterson, J. L. (2020). *Purchasing and supply chain management* (7.^a ed.). Cengage Learning.
- Pannell, D. J. (1997). Sensitivity analysis of normative economic models. *Agricultural Economics*, 16(2), 139-152.
- Porter, M. E. (1985). *Competitive advantage: Creating and sustaining superior performance*. The Free Press.

Porter, M. E. (2008). The five competitive forces that shape strategy. *Harvard Business Review*, 86(1), 78-93.

U.S. Department of Justice & Federal Trade Commission. (2010). *Horizontal merger guidelines* (Government report). U.S. Department of Justice y Federal Trade Commission. Washington, DC.

Zsidisin, G. A. (2003). A grounded definition of supply risk. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 9(5-6), 217-224.



Glosario

Abastecimiento estratégico: Enfoque de gestión orientado a planificar, analizar y ejecutar decisiones de compra y contratación considerando costo, calidad, riesgo, continuidad operacional, mercado proveedor y generación de valor para la organización.

Administrador de Contrato (AdC): Persona responsable de gestionar la ejecución de un contrato una vez adjudicado y formalizado, velando por el cumplimiento de sus condiciones técnicas, comerciales y administrativas.

Análisis de gasto: Proceso de revisión, depuración, clasificación y análisis del gasto histórico de una categoría, con el fin de identificar patrones de consumo, concentración de proveedores, oportunidades de ahorro, cobertura contractual y brechas de gestión.

Área Usuaría: Unidad interna que define la necesidad técnica, operacional o presupuestaria que da origen a un proceso de abastecimiento, compra o contratación.

Base técnica: Documento que establece los requisitos técnicos, condiciones de servicio, especificaciones, estándares, criterios de aceptación y antecedentes necesarios para la contratación de un bien o servicio.

Benchmark: Comparación referencial utilizada para identificar prácticas, precios, condiciones, modelos de gestión o desempeño de mercado respecto de otras divisiones, empresas, contratos o proveedores.

Categoría de suministro: Conjunto de bienes o servicios relacionados entre sí, que comparten características técnicas, funcionales, comerciales o de mercado y que pueden gestionarse de manera integrada desde abastecimiento.

Category Manager: Rol responsable de analizar, planificar y gestionar una categoría de suministro, integrando información técnica, comercial, contractual, operacional y de mercado para definir estrategias de abastecimiento.

Comisión Técnica: Equipo encargado de evaluar técnicamente las ofertas recibidas en un proceso de contratación o licitación, verificando el cumplimiento de requisitos, especificaciones y criterios definidos en las bases.

Consolidación de demanda: Estrategia de abastecimiento que busca agrupar requerimientos similares de distintas áreas, divisiones o unidades, con el fin de aumentar volumen, mejorar condiciones comerciales, reducir fragmentación y fortalecer el poder de negociación.

Criticidad: Clasificación que permite jerarquizar activos, equipos, materiales o servicios según el impacto que su falla o indisponibilidad puede generar en seguridad, producción, medio ambiente, costos o continuidad operacional.

Economías de escala: Beneficios obtenidos al aumentar el volumen de compra o contratación, permitiendo acceder a mejores condiciones comerciales, menores costos unitarios o mayor poder de negociación.

Equipo crítico: Activo cuya falla puede generar impactos relevantes en producción, seguridad, medio ambiente, costos o continuidad operacional.

Equipo esencial: Activo relevante para la seguridad, continuidad operacional, confiabilidad o mantenimiento de los procesos, que requiere criterios específicos de gestión, priorización y abastecimiento.

Estandarización: Proceso orientado a reducir la variabilidad de especificaciones, materiales, repuestos o criterios técnicos, con el fin de facilitar la gestión de inventarios, contratación, homologación y mantenimiento.

Gestión de categorías: Metodología de abastecimiento estratégico que agrupa bienes o servicios en categorías para analizar gasto, demanda, especificaciones, mercado, proveedores, riesgos y oportunidades, con el fin de definir estrategias de contratación y captura de valor.

Homologación: Proceso mediante el cual se validan materiales, repuestos, especificaciones o proveedores equivalentes desde el punto de vista técnico, funcional, operacional o comercial.

MAF: Manual de Alcance de Facultades. Instrumento utilizado para definir niveles de aprobación, responsabilidades y facultades dentro de procesos corporativos.

Matriz de Kraljic: Herramienta de segmentación estratégica que clasifica categorías de compra según su impacto en el negocio y riesgo de suministro, permitiendo definir estrategias diferenciadas de abastecimiento.

MRO: Sigla de *Maintenance, Repair and Operations*. Corresponde a materiales, repuestos, insumos y servicios utilizados para mantener, reparar u operar activos productivos.

OEM: Sigla de *Original Equipment Manufacturer*. Corresponde al fabricante original del equipo, sistema o componente.

PCC: Procedimiento Corporativo de Contratación. Marco normativo que regula etapas, roles, aprobaciones, controles y modalidades de salida al mercado en procesos de compra y contratación en Codelco.

POS: Posición de material o registro asociado a un requerimiento, compra, contrato o maestro de materiales, utilizado para identificar y gestionar ítems dentro de los sistemas corporativos.

Proveedor alternativo: Proveedor distinto al fabricante original que puede suministrar repuestos, componentes o servicios compatibles con un equipo determinado, sujeto a validación técnica y comercial.

Proveedor OEM: Proveedor correspondiente al fabricante original del equipo o componente, o a su representante autorizado.

Puente grúa: Equipo de izaje utilizado para levantar, transportar y posicionar cargas dentro de instalaciones industriales, mediante una estructura puente, mecanismos de traslación y un sistema de elevación.

Polipasto: Mecanismo de elevación utilizado en puentes grúa para levantar y descender cargas mediante cables de acero o cadenas, accionados manual o eléctricamente.

Carro de traslación: Conjunto móvil que se desplaza sobre las vigas del puente grúa y soporta el sistema de elevación o polipasto.

Viga principal: Elemento estructural principal del puente grúa que soporta las cargas y permite el desplazamiento del carro de traslación.

Sistema de izaje: Conjunto de componentes responsables de levantar y descender la carga, incluyendo motor, reductor, tambor, cable, gancho, freno y elementos de control.

RFQ: Sigla de *Request for Quotation*. Solicitud formal de cotización utilizada en procesos de compra, licitación o consulta al mercado.

Riesgo de suministro: Posibilidad de que existan dificultades para obtener un bien o servicio en las condiciones requeridas de plazo, calidad, cantidad, precio, especificación técnica o continuidad.

SAP Ariba: Plataforma utilizada para gestionar procesos de abastecimiento, licitación, documentación, aprobaciones, trazabilidad contractual e interacción con proveedores.

SKU: Sigla de *Stock Keeping Unit*. Unidad de identificación utilizada para distinguir un material, repuesto o producto específico dentro de un sistema de inventario o maestro de materiales.

SLA: Sigla de *Service Level Agreement*. Acuerdo de nivel de servicio que define estándares esperados de desempeño, disponibilidad, tiempos de respuesta, cumplimiento u otros compromisos contractuales.

SOMA: Sistema Operativo de Mantenimiento utilizado en Codelco para estandarizar prácticas, procesos y criterios asociados a la gestión de mantenimiento, confiabilidad y criticidad de activos.

Compra spot: Compra puntual o no recurrente realizada fuera de un contrato marco o cobertura contractual permanente, generalmente para responder a una necesidad específica o inmediata.

TCO: Sigla de *Total Cost of Ownership*. Costo total de propiedad, que considera no solo el precio de compra, sino también costos asociados a operación, mantenimiento, inventario, falla, reposición, logística, administración y ciclo de vida.

Anexos

Los anexos documentan la información de respaldo de la memoria, en el orden en que el cuerpo del documento la utiliza. La Tabla 18 indica el contenido de cada uno y la sección que sustenta.

Tabla 18: Contenido de los anexos y secciones que respaldan

Anexo	Contenido	Respalda
A	Bases de datos utilizadas, con su número de registros y variables	Sección 5.3
B	Criterios y diccionarios empleados para construir la base de la categoría	Sección 5.5.1
C	Fórmulas de planilla de cálculo que implementan los cruces y la clasificación	Sección 5.5.1
D	Matriz FMECA completa de los 27 componentes evaluados	Sección 5.6.3
E	Justificación de las calificaciones de la evaluación multicriterio	Sección 5.7.4
F	Ejemplo de cálculo del potencial de ahorro en precio	Sección 5.7.3

Anexo A. Bases de datos utilizadas

La Figura 42 presenta el esquema de las bases de datos utilizadas y sus relaciones, y la Tabla 19 resume su tamaño y su uso en la memoria. El maestro de materiales (PFEP) corresponde al corte del 19 de diciembre de 2025 y los registros de compras, al corte del 16 de febrero de 2026.

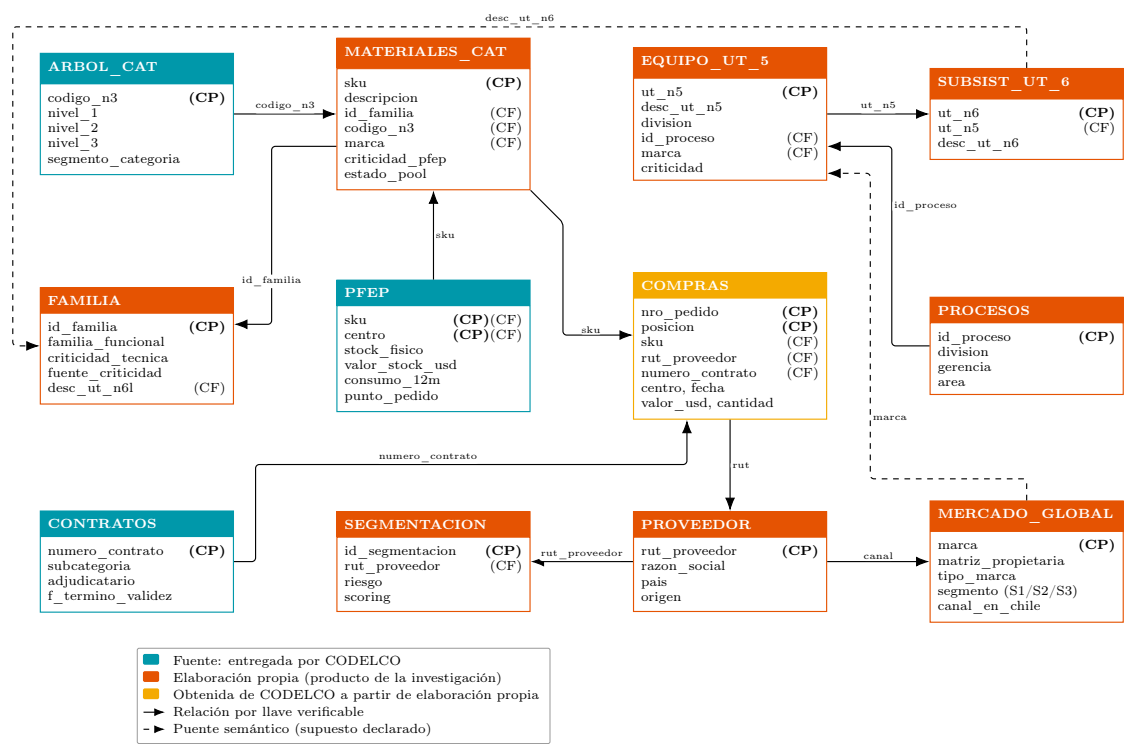


Figura 42: Esquema de las bases de datos utilizadas y sus relaciones

Fuente: elaboración propia.

Tabla 19: Síntesis de las bases de datos utilizadas en el análisis.

Base de datos	Registros	Variables	Uso en la memoria
PFEP (Plan for Every Part)	478.326	77	Maestro de materiales depurado
7883 SKU	7.883	41	Pool preliminar y etiquetas de pertenencia
2146 POOL SKU	2.146	24	Pool maestro de la categoría
Diccionario SKU	2.147	12	Familia funcional asignada a cada SKU
COMPRAS	4.520	43	Registros de compras 2021–2025
CONTRATOS 11.05.2026	9.236	73	Contratos y convenios vigentes y anteriores
ARBOL CAT	865	15	Árbol corporativo de categorías
900 UT N5	900	15	Ubicaciones técnicas del parque de equipos
CRITICIDAD UT N3 (PROCESO)	218	11	Importancia del proceso (nivel N3)
CRITICIDAD UT N5 (EQUIPO)	886	15	Rol del equipo (nivel N5)
FMECA	27	10	Criticidad de componentes
SEGMENTACION PROV	19	28	Habilitación de proveedores relevantes

Fuente: elaboración propia a partir de las bases corporativas de Codelco.

Anexo B. Construcción de la base de datos de la categoría

Este anexo documenta los criterios y diccionarios utilizados para construir la base de datos de la categoría, cuyo procedimiento se resume en la Sección 5.5.1. Su propósito es permitir que el proceso sea auditado y repetido con un nuevo corte del maestro de materiales. Las bases empleadas se describen en la Tabla 19 y la reducción del universo en cada etapa, en la Tabla 4.

Depuración del maestro de materiales

La depuración aplicó tres filtros sucesivos sobre los atributos de estado del maestro:

1. **Petición de borrado.** Se excluyeron los registros marcados en este campo. El universo pasó de 862.741 a 567.165 registros.
2. **Marca de borrado en centro.** Se excluyeron los registros marcados para borrado en su centro. Resultado: 546.621 registros.
3. **Estado del material.** Se excluyeron los registros con estado «Bloq. p. hoja-ruta/L», «Bloq. para aprov./al», «Bloqueado», «Elim.desp. de agotar» u «Obsoleto». Resultado: 478.326 registros, equivalentes a 352.681 SKU únicos.

En paralelo se redujo el número de atributos de trabajo: de las 77 columnas del maestro se conservaron visibles 24, incluidas las columnas auxiliares creadas para registrar los cruces y las etiquetas.

Señales de pertenencia a la categoría

Ningún atributo del maestro identifica directamente a la categoría. Por ello, la pertenencia de cada material se estableció combinando cuatro señales.

Contratos anteriores. Se marcó cada SKU presente en alguno de los catorce contratos anteriores de la categoría, distinguiendo si el contrato correspondía a grúas o a puentes grúa. El cruce arrojó 833 coincidencias: 418 de puentes grúa y 415 de grúas. El cruce con los contratos de la categoría de motores arrojó 2.808 coincidencias, con posibles SKU repetidos.

Marcas. Se identificó la marca en la descripción de cada material y se clasificó en uno de los cuatro tipos de la Tabla 20.

Tabla 20: Tipos de marca utilizados como señal de pertenencia y marcas identificadas en el maestro de materiales.

Tipo de marca	Marcas identificadas
Fabricantes de puentes grúa	Konecranes, STAHL, Demag, GH Cranes, Femont, Yale, SWF Krantechnik, P&H (Harnischfeger), R&M, Villares, Morris, Nante, ABUS, Morgan
Fabricantes de grúas	Manitowoc, Künz, Terex, Haulotte, HMB Lintec, Manitou, PAUS, Liebherr
Electrificación	VAHLE, Schneider
Control industrial y radiocontrol	Autec, Telecrane, Hetronic, HBC-radiomatic, Siemens

Nota: las marcas no equivalen a fabricantes independientes. Demag, SWF, R&M y Morris pertenecen al grupo Konecranes, y STAHL y Yale, a Columbus McKinnon.

Árbol de categorías. El árbol corporativo organiza los materiales en cuatro niveles: tipo (servicio o material), industria, mercado y negocio. Las categorías de nivel de negocio se revisaron según la presencia de sus SKU en contratos anteriores y su afinidad técnica con el equipo, y se descartaron aquellas sin relación con puentes grúa.

Palabras clave. Se buscaron en las descripciones los nombres de las marcas anteriores y términos propios del equipo, en español e inglés, para detectar materiales no capturados por los criterios previos.

Etiquetas de pertenencia y orden de aplicación

Cada material del pool preliminar recibió una de las etiquetas de la Tabla 21. La etiqueta registra el motivo de la decisión, de modo que esta puede revisarse posteriormente.

Tabla 21: Etiquetas de pertenencia aplicadas al pool preliminar de 7.883 SKU.

Grupo	Etiqueta	Criterio
Incluir	Dejar	Pertenece inequívocamente a puentes grúa, polipastos o monorrieles
	Dejar (en contrato)	Presente en contratos anteriores de puentes grúa
	Dejar (descripción)	La descripción menciona explícitamente el equipo
	Dejar (polipasto, monorriel, pórtico)	Componente de un equipo afín incluido en el alcance
Revisar	1. Directa	Componente claro del equipo, con verificación pendiente de marca o conjunto
	2. Relacionada	Periférico de electrificación o control, propio pero no exclusivo del equipo
	3. Revisar	Descripción ambigua: breve, sin marca o confundible con otros equipos
	4. OEM	Marca de fabricante de puentes grúa, con pieza posiblemente genérica
Excluir	Fuera (otra categoría)	Equipos de elevación de personas, grúas horquilla, grúas pedestal y afines
	Fuera (pieza)	Piezas genéricas: rodamientos, sellos, tornillería y cables de acero de medida específica
	Fuera (fecha)	Sin consumo ni recepción desde su creación (1997–2019)

Las etiquetas se aplicaron en el siguiente orden: exclusiones, inclusiones y casos de revisión. Cuando un material calificaba para más de una etiqueta de inclusión, se registró la de mayor respaldo: presencia en contrato, mención del equipo en la descripción y, finalmente, equipo afín. Cuando un material calificaba a la vez para inclusión y exclusión, prevaleció la exclusión solo si correspondía a otra categoría o a una pieza genérica; en los demás casos el material pasó a revisión. Un material en revisión se incluyó cuando se confirmó su aplicación directa al equipo y se excluyó cuando resultó genérico o propio de otra categoría.

Normalización de texto

Antes de aplicar los diccionarios, las descripciones corta y larga de cada material se transformaron mediante los siguientes pasos: conversión a mayúsculas; eliminación de tildes; eliminación de signos y caracteres que dificultan la búsqueda; y eliminación de espacios redundantes. El texto original se conservó en su columna y el texto normalizado

se almacenó en una columna auxiliar.

Diccionario de familias funcionales

El diccionario es una tabla con cuatro campos: orden, prioridad, familia funcional y palabra clave. Su aplicación sigue cuatro reglas:

1. Cada palabra clave se busca en la descripción normalizada, corta y larga.
2. Si coinciden varias palabras clave, prevalece la de menor número de prioridad.
3. Si coinciden varias de igual prioridad, prevalece la que aparece primero en el texto del material.
4. Si no hay coincidencia, el material queda como pendiente de clasificación y pasa a revisión individual.

La prioridad distingue cuatro niveles de especificidad, a los que se asocia un nivel de confianza de la asignación (Tabla 22). La Tabla 23 resume la composición del diccionario por familia.

Tabla 22: Niveles de prioridad del diccionario de familias (versión 3, 182 palabras clave). Los materiales sin coincidencia también reciben confianza baja.

Prioridad	Tipo de término	Ejemplos	Palabras	Confianza
0	Compuesto inequívoco	DISCO FRENO, BOBINA FRENO	8	Alta
1	Específico	GANCHO, REDUCTOR, CONTACTOR	112	Alta
2	Especificidad media	MOTOR, RESISTENCIA	37	Media
3	Genérico	PERNO, TUERCA, ARANDELA	25	Baja

Tabla 23: Composición del diccionario de familias funcionales (versión 3).

Familia funcional	Palabras	Prioridades	Ejemplos de palabras clave
Sistema de Izaje	32	1	CABLE ACERO, WIRE ROPE, GANCHO, POLIPASTO
Sistema de Frenos	15	0, 1	DISCO FRENO, TAMBOR FRENO, BOBINA FRENO
Transmisión Mecánica	23	1	REDUCTOR, GEARBOX, EJE, ENGRANAJE
Accionamiento y Potencia Eléctrica	23	1, 2	MOTOR ELECTRICO, VARIADOR, VFD, RESISTENCIA
Control, Maniobra y Seguridad	31	1, 2	CONTACTOR, RELE, LIMIT SWITCH, BOTONERA
Traslación y Rodadura	11	1	RUEDA, WHEEL, CARRO, RIEL
Estructura y Envoltentes	16	0, 2	VIGA, CABINA, CARCASA, TAPA
Ferretería, Sellado y Auxiliares	25	3	PERNO, TUERCA, ARANDELA, GRASA
Sistema Hidráulico	6	1	VALVULA, CILINDRO, BOMBA, MANGUERA
Total	182		

El orden de prioridades resuelve los conflictos entre familias. Por ejemplo, un término compuesto como DISCO FRENO prevalece sobre cualquier palabra de izaje presente en la misma descripción, y la palabra MOTOR, de prioridad media, cede ante términos de transmisión como ENGRANAJE o EJE. La Tabla 24 muestra casos de aplicación.

Tabla 24: Ejemplos de asignación de familia funcional mediante el diccionario.

Descripción del material	Palabra clave	Familia asignada	Confianza
DISCO FRENO KONECRANES UN8D50L	DISCO FRENO	Sistema de Frenos	Alta
RUEDA CARRIL MORGAN MK20	RUEDA	Traslación y Rodadura	Alta
VARIADOR FREC KONECRANES TDN004E1100WM0	VARIADOR	Accionamiento y Potencia Eléctrica	Alta
MOTOR IZAJE KONECRANES NR730493	MOTOR	Accionamiento y Potencia Eléctrica	Media
PERNO DIN 933 KONECRANES 52486371	PERNO	Ferretería, Sellado y Auxiliares	Baja
YUGO P&H 9316H91	—	Pendiente de clasificación	Baja

Diccionario de proveedores

Cada proveedor de convenio y de compra *spot* se registró con su nombre, tipo y país de origen. Los tipos utilizados fueron cuatro: fabricante, fabricante original o maestranza; distribuidor o representante; intermediario comercial; y empresa de ingeniería o integración. Esta clasificación sustenta la segmentación del mercado proveedor desarrollada en la Fase 2.

Diccionario de centros de beneficio

En los registros de compras, el centro de beneficio identifica a la unidad que origina la solicitud. Su descripción normalizada se asoció, mediante palabras clave, con un área operativa y un proceso productivo. La Tabla 25 presenta un extracto.

Tabla 25: Extracto del diccionario de centros de beneficio. El diccionario completo cubre las cinco áreas operativas: PLANTA, FUREyT, MINA, RHyR y SERV. Y SUM.

Palabra clave	Proceso	Área operativa
mantencion fundicion	Fundición	FUREyT
electrorefinacion	Refinería	FUREyT
acido sulfurico	Fundición y Refinería	FUREyT
plantas de oxigeno	Fundición y Refinería	FUREyT
mantencion m subte	Mina Subterránea	MINA
extraccion mina subt	Mina Subterránea	MINA
suptcia mina rajo	Mina Rajo	MINA
mant equipo mina raj	Mina Rajo	MINA

Las fórmulas de planilla de cálculo que implementan la normalización, los cruces y la aplicación de los diccionarios se documentan en el Anexo C.

Anexo C. Fórmulas de transformación y cruce de datos

Este anexo presenta las fórmulas de planilla de cálculo con que se implementaron los criterios del Anexo B. La Tabla 26 indica la función de cada transformación en la preparación de los datos.

Tabla 26: Síntesis de las transformaciones aplicadas durante la preparación de la base analítica.

N.	Transformación	Función en el flujo de datos
1	Estandarización de formatos de fecha	Habilita el uso de las fechas de compra, recepción y vigencia contractual
2	Normalización de tipos de dato	Asegura la compatibilidad de las claves de cruce entre bases
3	Verificación de existencia entre fuentes	Identifica registros sin correspondencia y delimita el universo depurado
4	Consolidación por identificador SAP	Asigna atributos de la base de análisis a los registros de compra
5	Consolidación por clave compuesta	Evita ambigüedades cuando un mismo material presenta varias ocurrencias
6	Clasificación mediante diccionario	Asigna la familia funcional a cada SKU de forma trazable

Estandarización de formatos de fecha. Diversos campos de fecha se encontraban almacenados como texto en formato DDMMAAAA. Se convirtieron al tipo fecha descomponiendo la cadena en día, mes y año.

```
=FECHA(DERECHA(A1,4),EXTRAE(A1,4,2),IZQUIERDA(A1,2))
```

Fórmula 1: Conversión de una cadena de texto al tipo fecha.

Normalización de tipos de dato. Los identificadores de material se presentaban como valor numérico o como texto según la fuente, lo que impedía el cruce directo entre tablas. Se normalizó el tipo de dato según el requerimiento de cada cruce.

```
=TEXT0(A2,"0")
```

Fórmula 2: Conversión de valor numérico a texto.

```
=VALOR(A2)
```

Fórmula 3: Conversión de texto a valor numérico.

En los cruces se aplicaron además las funciones ESPACIOS y LIMPIAR sobre la clave de búsqueda, para eliminar espacios sobrantes y caracteres no imprimibles heredados de las exportaciones del sistema transaccional. La concatenación con una cadena vacía (&"") fuerza la interpretación de ambos extremos del cruce como texto y evita falsos negativos por diferencia de tipo.

Verificación de existencia entre fuentes. Para delimitar el universo fue necesario determinar qué registros de una fuente tenían correspondencia en otra. La verificación devuelve el identificador original cuando no existe coincidencia, de modo que los registros sin correspondencia quedan visibles para su revisión.

```
=SI(ESERROR(BUSCARX(A2,$B:$B,$B:$B)),A2,"Sí")
```

Fórmula 4: Verificación de existencia de un registro en una base de referencia.

Consolidación mediante identificador SAP. La familia funcional se asignó a los registros de compra mediante una búsqueda sobre la base de análisis, con el código SAP del material como clave. El valor de reemplazo "NO EN BD" deja constancia de los registros sin correspondencia y permite cuantificar la cobertura del cruce.

```
=SI.ERROR(BUSCARX(ESPACIOS(LIMPIAR([@SAP]))&"",ANÁLISIS.xlsm!tblLista[SAP]&"",ANÁLISIS.xlsm!tblLista[Familia]),"NO EN BD")
```

Fórmula 5: Asignación de familia funcional mediante identificador SAP.

Consolidación mediante clave compuesta. Un mismo material puede registrarse en más de un centro o presentar varias ocurrencias en una base, caso en que el cruce por código SAP retorna solo la primera coincidencia. Para preservar la correspondencia unívoca se construyó una clave compuesta por el código de material y el número de ocurrencia.

```
=SI.ERROR(BUSCARX([@SAP] & "-" & [@OCURRENCIA],ANÁLISIS.xlsm!Origen[Número de Material] & "-" & ANÁLISIS.xlsm!Origen[OCURRENCIA],ANÁLISIS.xlsm!Origen[Centro]),"NO EN BD")
```

Fórmula 6: Cruce mediante clave compuesta de código de material y ocurrencia.

Clasificación mediante diccionario. La fórmula recorre el diccionario en su orden y retorna la familia de la primera palabra clave contenida en la descripción normalizada del material. Por esta razón el diccionario se mantuvo ordenado por prioridad: un término genérico ubicado antes que uno específico absorbería registros que corresponden a este último. Los materiales sin coincidencia se etiquetaron como "SIN CLASIFICAR" para su revisión individual, de modo que ninguna asignación por defecto afectara la agregación por familias.

```
=SI.ERROR(INDICE(Dic_Familia[Familia],COINCIDIR(VERDADERO,ESNUMERO(HALLAR(
  ↪Dic_Familia[Patrón],[@Normalizado]))),0)), "SIN CLASIFICAR")
```

Fórmula 7: Clasificación de materiales mediante diccionario de palabras clave.

Consideraciones sobre la reproducibilidad. Las fórmulas se presentan en la nomenclatura en español de la herramienta y utilizan la coma como separador de argumentos; en una configuración regional distinta debe sustituirse por punto y coma. Las referencias estructuradas del tipo tblLista[SAP] suponen que las bases de origen están definidas como tablas con los nombres indicados.

Anexo D. Matriz FMECA de componentes

La Tabla 43 presenta la valoración completa de los 27 componentes evaluados, ordenados por criticidad total, junto con el subsistema del equipo (nivel N6) al que pertenece cada uno. El procedimiento se describe en la Sección 5.6.3.

En donde tenemos que: *S*: severidad; *F*: frecuencia; *D*: detección; *CM*: costo de mantenimiento; *SHA*: seguridad, higiene y ambiente; *C*: consecuencias; *CT*: criticidad total.

SUB-Subsistema	Severidad	Frecuencia	Detección	Costo Mtto	S.H.A	Consecuencias	Total	Orden
Bobina freno	10	5	8	4	5	89	445	MUY CRITICO
Disco Freno Izaje	10	5	8	3	5	88	440	MUY CRITICO
Disco freno Carro	9	5	8	3	5	80	400	MUY CRITICO
Resistencia de Freno	10	4	8	4	5	89	356	MUY CRITICO
Contactór de Izaje	10	4	8	3	2	85	340	MUY CRITICO
Barra alimentación eléctrica	10	3	10	4	3	107	321	MUY CRITICO
Freno de Izaje	6	5	9	3	5	62	310	MUY CRITICO
Cableado de alimentación carro	10	3	9	3	3	96	288	CRITICO
Contactór de freno	10	4	6	3	5	68	272	CRITICO
Guía de cable	9	3	7	3	3	69	207	CRITICO
Cable de izaje	10	2	9	4	5	99	198	CRITICO
Resistencia Variador de Frecuencia	10	2	9	4	2	96	192	CRITICO
Safety Gabinete electrico	10	2	9	2	2	94	188	CRITICO
Cableado Gabinete principal	8	3	6	5	5	58	174	CRITICO
Contactores gabinete eléctrico	10	4	3	2	2	34	136	CRITICO
Receptor de control inalámbrico	10	2	6	5	0	65	130	CRITICO
Contactór PLC	10	2	6	1	2	63	126	CRITICO
Poleas de Izaje	8	2	6	3	0	51	102	CRITICO
Variador de frecuencia principal	10	1	9	4	3	97	97	NO CRITICO
Airgap freno	6	2	6	2	5	43	86	NO CRITICO
Ruedas de traslación	9	1	8	3	2	77	77	NO CRITICO
Estructura	8	1	6	5	5	58	58	NO CRITICO
Tambor de Izaje	7	1	6	4	2	48	48	NO CRITICO
Control Inalámbrico	3	4	2	4	0	10	40	NO CRITICO
Baliza y sirena	1	3	1	2	2	5	15	NO CRITICO
Garra antisísmica puente	1	1	4	2	3	9	9	NO CRITICO
Puertas Gabinete Eléctrico principal	1	1	1	2	2	5	5	NO CRITICO

Figura 43: Matriz FMECA de los 27 componentes evaluados

Fuente: elaboración propia a partir de la matriz FMECA de Codelco.

$C = S \times D + CM + SHA$ y $CT = F \times C$. En la matriz, los componentes muy críticos presentan $CT \geq 310$; los críticos, CT entre 102 y 288; y los no críticos, $CT \leq 97$. Subsistemas de nivel N6: Eléctrico, fuerza y control eléctrico; Izaje, levante o izaje principal; Carro, traslación del carro; Puente, traslación del puente.

La clasificación depende de la frecuencia de falla tanto como de las consecuencias. El variador de frecuencia principal registra consecuencias de 97 puntos, entre las más altas de la matriz, y queda como no crítico porque su frecuencia es mínima. Para el abastecimiento, los componentes de baja frecuencia y alta consecuencia requieren una revisión separada de su disponibilidad y plazo de entrega, aun cuando su criticidad total sea reducida.

Anexo E. Justificación de la evaluación multicriterio

La Tabla 27 registra la calificación asignada a cada escenario en cada criterio y la evidencia que la sustenta. Los criterios, sus pesos y la escala se describen en la Sección 5.7.4.

Tabla 27: Calificación de cada escenario por criterio y evidencia que la sustenta

Criterio	E0	E1	E2	E3
Captura de valor y potencial de ahorro en precio	1. Mantiene la dispersión de precios observada; no captura potencial.	3. USD 58–59 mil anuales: convenio y lista de precios, sin competencia.	4. USD 114–172 mil anuales: todas las palancas en todas las familias.	4. USD 93–135 mil anuales: excluye competencia en frenos y accionamiento eléctrico.
Seguridad de suministro	2. 69,29 % del gasto en compra <i>spot</i> y 71 % en fuente única.	2. Profundiza la dependencia del proveedor que ya concentra 31,53 %.	3. Reduce la dependencia, pero abre componentes muy críticos sin diferenciación técnica.	5. Competencia donde existe mercado y continuidad con validación en componentes críticos.
Competencia habilitada	2. Existen 278 SKU con evidencia multiproveedor, sin mecanismo que la aproveche.	1. Suprime la competencia entre proveedores.	5. Apertura competitiva en toda la categoría.	4. Apertura en las familias con mercado; continuidad en las restantes.
Factibilidad y tiempo de implementación	5. No requiere cambios.	4. Un proceso de contratación con un proveedor ya habilitado.	3. Exige homologación y habilitación generalizadas.	3. Exige protocolos de equivalencia y gestión por cuadrante.
Riesgo de transición	5. Sin transición.	4. Cambio contractual sin sustitución del proveedor principal.	3. Sustitución de proveedores en toda la categoría.	3. Sustitución acotada, pero con varios mecanismos simultáneos.
Carga administrativa	1. Cotización repetida en cada compra <i>spot</i> .	5. Un contrato marco.	3. Varios procesos competitivos y homologaciones.	4. Contratos por cuadrante y menor número de compras <i>spot</i> .

Fuente: elaboración propia a partir de los resultados de las Fases 1 a 3. Escala ordinal de 1 a 5; un mayor valor representa una condición más favorable.

Anexo F. Ejemplo de cálculo del potencial de ahorro en precio

Este anexo ilustra el procedimiento de la Sección 5.7.3 con un SKU real de la familia Sistema de Izaje, un cable de acero adquirido en cuatro oportunidades a dos proveedores, identificados aquí como A y B. La Tabla 28 muestra las compras y su precio a valores de 2021, que se obtiene al dividir el precio pagado por el índice interno de precios del año de compra.

Tabla 28: Compras del SKU de ejemplo y precio a valores de 2021.

Año	Proveedor	Cantidad	Precio pagado (USD)	Índice	Precio a valores de 2021 (USD)
2021	A	1	1.667,67	1,000	1.667,67
2024	A	2	2.680,00	1,245	2.152,61
2024	A	4	3.160,00	1,245	2.538,15
2025	B	6	1.573,11	1,302	1.208,53

Precios de referencia. Al ordenar los precios a valores de 2021 y acumular las cantidades, la mitad de las 13 unidades se alcanza en el precio de USD 1.667,67, que corresponde a la mediana ponderada y a la referencia del escenario mínimo. El precio medio del proveedor A fue de USD 2.304 y el del proveedor B, de USD 1.208,53; este último es la referencia del escenario máximo.

Ahorro por posición. La Ecuación 14 se aplica a cada compra. Para la tercera posición, en el escenario mínimo:

$$A = (2.538,15 - 1.667,67) \times 4 \times 1,245 = \text{USD } 4.335.$$

La Tabla 29 resume el resultado de las cuatro posiciones.

Tabla 29: Ahorro potencial del SKU de ejemplo en ambos escenarios (USD).

Año	Proveedor	Cantidad	Ahorro mínimo	Ahorro máximo
2021	A	1	0	459
2024	A	2	1.207	2.351
2024	A	4	4.335	6.621
2025	B	6	0	0
Total del SKU			5.542	9.431

Fuente: elaboración propia. Los ahorros se redondean al dólar; el total puede diferir en una unidad de la suma de las posiciones.

El gasto en este SKU fue de USD 29.106, por lo que su ahorro potencial equivale a entre 19 % y 32 % de lo pagado. Las tres posiciones con ahorro se asignaron a la palanca de competencia, dado que otro proveedor vendió el mismo material a menor precio. Como el SKU pertenece a una familia en la que el escenario E3 promueve la competencia, su ahorro se incluye en el potencial de dicho escenario. El potencial total resulta de repetir este cálculo en los 543 SKU comparables.