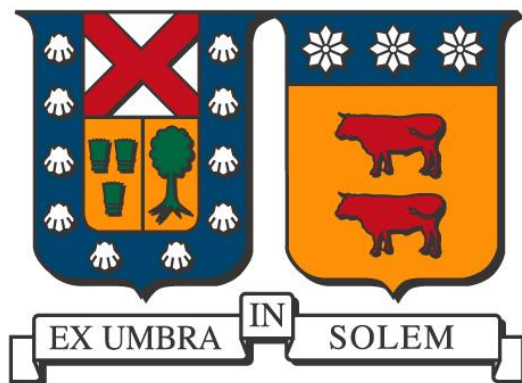


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y DE MATERIALES

SANTIAGO – CHILE



PROPUESTA METODOLÓGICA PARA ADAPTAR EL
MANEJO DE RESIDUOS DE NEUMÁTICOS MINEROS
A LA LEY REP

LEY N°20.920 PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS, RESPONSABILIDAD
EXTENDIDA AL PRODUCTOR Y FOMENTO AL RECICLAJE

Presentado por:

KEVIN JAVIER GONZÁLEZ CORTÉS

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL DE MINAS

Profesor Patrocinante:
RODRIGO ESTAY HUIDOBRO

Profesor Referente:
VICTOR ENCINA MONTENEGRO

Profesora Referente:
MARTA ORTIGOSA AMIGO

DICIEMBRE 2022



Dedicatoria

A mis abuelos Recaredo Araya y Ángel Cortés.

A mi amigo Rodrigo Marchant.



Agradecimientos

Agradezco a mi madre, a mi padre, a mi abuela Olid, a mi abuela Rebeca, a mis hermanos y a mi pareja junto con su familia por el apoyo incondicional durante todo el proceso de este trabajo de título.

También agradezco a la comisión evaluadora que forma parte de esta tesis, por sus sabios comentarios y directrices que dieron forma a este trabajo. Destaco al profesor Rodrigo por patrocinar este proyecto y guiarme hacia la obtención del título.

Finalmente, agradezco a mis compañeros de universidad, a los profesores, a mis amigos personales, a la rama y el club de rugby por nutrirme de enseñanzas, experiencias, habilidades y conocimientos durante mi estadía en Santiago y mi carrera universitaria.



Resumen

La ley REP el año 2023 actualizará el marco legal respecto al consumo de neumáticos, obligando a valorizar el 100% de estos activos a partir del año 2030. Este trabajo de título entrega una propuesta metodológica que apoya a las operaciones mineras de superficie a adaptar la actual gestión de neumáticos a un ciclo de actividades que cumpla con las imposiciones de la ley REP en Chile.

Las actividades realizadas comienzan estimando el consumo de neumáticos por cada camión minero, para clasificar las principales operaciones de superficie del país según los residuos que podrían generar. Luego, se verifica la compatibilidad de aplicar los actuales métodos de valorización para proponer un ciclo de actividades que incorpore todas las dimensiones que conforman una completa gestión de neumáticos considerando el tamaño de las operaciones del país.

Se estima que cada camión minero tiene un consumo anual de 8,5 neumáticos. Se consideran 24 operaciones mineras de superficie del país, principalmente productoras de cobre, que desechan sobre 42 mil toneladas de caucho al año. Actualmente, existen métodos con capacidad de valorizar estos desechos, sin embargo, el principal desafío consiste en la venta de los productos.

Se plantea una metodología de cuatro etapas, Adquisición, Uso y Mantenimiento, Recolección y Valorización. Las primeras dos etapas identifican factores claves para escoger un neumático adecuado y obtener su rendimiento óptimo. Las etapas siguientes plantean las opciones para cumplir con la ley REP, entregar los neumáticos a un sistema de gestión de residuos u optar por un plan de valorización que permita aprovechar los recursos valiosos contenidos en estos residuos.

Se recomienda evaluar la incorporación de innovaciones tecnológicas en el mercado de los neumáticos ya que actualmente estos activos significan un alto costo para las operaciones mineras, su vida útil es menor a un año y su disposición final presenta grandes desafíos.



Abstract

REP Law in 2023 will update the legal framework regarding tire consumption, forcing 100% of these assets to be valued from the year 2030. This title work delivers a methodological proposal that supports surface mining operations to adapt the current tire management to a cycle of activities that complies with the requirements of the REP law in Chile.

The activities carried out begin by estimating the consumption of tires for each mining truck, to classify the main surface operations in the country according to the waste they could generate. Then, the compatibility of applying the current valuation methods is verified to propose a cycle of activities that incorporates all the dimensions that make up a complete tire management considering the size of the country's operations.

It is estimated that a mining truck has an annual consumption of 8.5 tires. There are 24 surface mining operations in the country, mainly copper producers, which dispose of over 42,000 tons of rubber per year. Currently, there are methods capable of recovering this waste, however, the main challenge is the sale of the products.

A four-stage methodology is proposed: Acquisition, Use and Maintenance, Collection and Valorisation. The first two stages identify key factors to choose a suitable tire and obtain its optimum performance. The following stages present the options to comply with the REP law, deliver the tires to a waste management system or opt for a recovery plan that allows taking advantage of the valuable resources contained in this waste.

It is recommended to evaluate the incorporation of technological innovations in the tire market since currently these assets mean a high cost for mining operations, their useful life is less than one year, and their final disposal presents great challenges.



Índice de contenido

Dedicatoria	2
Agradecimientos	3
Resumen.....	4
Abstract	5
Índice de contenido	6
Índice de figuras.....	8
Índice de tablas.....	9
Introducción	10
Objetivos y alcances.....	11
Objetivo General	11
1 Fundamentos de la Ley REP	12
1.1 Publicación de la Ley REP	17
1.2 Decreto Supremo asociado a neumáticos.....	26
2 Neumáticos.....	41
2.1 Introducción a los neumáticos.....	41
2.2 Clasificación de los neumáticos	45
2.3 Neumáticos en minería.....	49
2.4 Uso y mantenimiento de neumáticos OTR.....	61
2.5 TKPH o TMPH	70
2.6 Valorización de neumáticos mineros	72
3 Desarrollo de propuesta metodológica	80
3.1 Consumo de neumáticos OTR.....	81
3.2 Aplicación de métodos de valorización.....	91
3.3 Ciclo de actividades para la gestión de neumáticos OTR	102
3.4 Metodología de adaptación al ciclo de actividades propuesto	113



Conclusiones	118
Recomendaciones.....	119
Referencias	121
Anexos.....	124
A. Marco regulatorio previo al proyecto de ley REP.....	124
B. Principios que inspiran la ley REP	125
C. Definiciones de la ley REP.....	126
D. Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes	129
E. Consideraciones del Decreto Supremo de ley REP asociado a neumáticos.....	129
F. Definiciones del Decreto Supremo de Ley REP asociado a neumáticos.	132
G. Importaciones de equipos e insumos críticos para la minería del Cobre en Chile	134
H. Operaciones mineras de superficie en Chile	135



Índice de figuras

Figura 1: Productos prioritarios de la Ley REP. (Ministerio del medio ambiente, 2020).....	12
Figura 3: Principio de jerarquía de la gestión de residuos.....	15
Figura 4: Principios que inspiran la ley REP.	18
Figura 5: Participantes de la gestión de residuos.	21
Figura 6: Clasificación de neumáticos según ley REP.....	27
Figura 7: Diferencia entre la rueda y sus componentes.....	41
Figura 8: Componentes de un neumático.....	43
Figura 9: Dimensiones a medir en un neumático. (Alvarado, 2019).....	45
Figura 10: Diferencias entre neumáticos diagonales y radiales.	48
Figura 11: Importaciones de CAEX en Chile.	51
Figura 12: Modelo ASARCO. (Morales, 2020).....	52
Figura 13: Neumático minero OTR junto a una persona. (Horizonte Minero, 2019).	56
Figura 14: Posicionamiento de neumáticos OTR.....	57
Figura 15:Componentes del valor CIF de las importaciones. (Aduana de Chile, 2018).	58
Figura 16: Neumáticos importados según dimensiones. (COCHILCO, 2019 - 2021).....	59
Figura 17: Neumático con corte en la banda de rodamiento. (Morales, 2020).	63
Figura 18: Neumático con separación por calor. (Morales, 2020).	64
Figura 19: Neumático con separación mecánica. (Morales, 2020).	64
Figura 20: Diferencia en desgaste del neumático según la presión de inflado.....	65
Figura 21: Distribución de carga en la tolva del camión. (Alvarado, 2019).	66
Figura 22: Restricciones de diseño de las pistas. (Alvarado, 2019).....	67
Figura 23: Ejemplos de utilización directa del neumático. (Tirel, 2017).	73
Figura 24: Ciclo de valorización de NFU. (Tirel, 2017).	79
Figura 25: Importaciones de insumos mineros críticos y precio del cobre.	81
Figura 26: Ciclo de camión de extracción en minería.....	85
Figura 27: Consumo de neumáticos OTR por cada CAEX Ultra Class.....	86
Figura 28: Botadero de neumáticos División Radomiro Tomic.....	107
Figura 29: Propuesta metodológica para adquisición.....	114
Figura 30: Propuesta metodológica para uso y mantención.....	115
Figura 31: Propuesta metodológica para recolección.....	116
Figura 32: Propuesta metodológica para la valorización.	117



Índice de tablas

Tabla 1: Estudio sobre residuos sólidos en Chile. 2009-2010. (Cámara de Diputados, 2013)	14
Tabla 2: Metas de valorización para neumáticos Categoría B.	33
Tabla 3: Materiales que componen un neumático. (Tirel, 2017).	44
Tabla 4: Composición química de un neumático. (Tirel, 2017).....	44
Tabla 5: Series o familias de neumáticos.	46
Tabla 6: Clasificación según uso de los neumáticos.	49
Tabla 7: Modelos de camiones mineros. (COCHILCO, 2019 - 2021).....	50
Tabla 8: Principales modelos de neumáticos importados a Chile. (COCHILCO, 2019 - 2021).....	55
Tabla 9: Valor de las importaciones de neumáticos OTR. (COCHILCO, 2019 - 2021).....	58
Tabla 10: Toneladas equivalentes de caucho en importaciones de neumáticos OTR. (COCHILCO, 2019 - 2021).	60
Tabla 11: Precio unitario CIF de los neumáticos OTR. (COCHILCO, 2019 - 2021).	60
Tabla 12: Duración de neumáticos OTR en operaciones mineras de superficie. (Morales, 2020). ..	61
Tabla 13: Clasificación de tamaño de caucho triturado y ejemplos de aplicación. (Tirel, 2017).	76
Tabla 14: Valor de importaciones de insumos y equipos mineros (COCHILCO, 2019 - 2021).....	82
Tabla 15: Unidades importadas de neumáticos según tamaño del aro.	83
Tabla 16: Unidades y toneladas de caucho equivalentes importadas en neumáticos OTR.	83
Tabla 17: Importación estimada de neumáticos mineros OTR.	84
Tabla 18: Categorías para clasificar las operaciones mineras.	87
Tabla 19: Clasificación de operaciones mineras nacionales según categorías.	88
Tabla 20: Estimación de camiones y neumáticos para cada categoría.	89
Tabla 21: Estimación de caucho equivalente para cada categoría.	90
Tabla 22: Consumo de neumáticos y caucho por año para cada categoría.	91
Tabla 23: Capacidades de los métodos de valorización.	95
Tabla 24: Leyenda para calificación de métodos de valorización.....	100
Tabla 25: Calificación para métodos de valorización de neumáticos.	101
Tabla 26: Ventajas y desventajas de los métodos de valorización de neumáticos OTR.	102



Introducción

Los neumáticos fuera de carretera u OTR (Off The Road) son neumáticos hechos para transitar en condiciones anormales a las que presentaría una carretera común. COCHILCO destaca a estos activos como insumo crítico para la minería de cobre en el país (COCHILCO, 2019 - 2021).

La principal función de los neumáticos OTR en las operaciones mineras es proporcionar tracción y desplazamiento a los camiones de extracción (CAEX), quienes son los principales consumidores de estos activos.

Los neumáticos OTR corresponden al tercer insumo de mayor costo para una operación de superficie en Chile, sus valores solo están por debajo del petróleo y los repuestos (López, 2008). Actualmente, los residuos de neumáticos fuera de uso o también llamados NFU no son totalmente valorizados por las compañías mineras que operan en el país.

La ley N°20.920 de responsabilidad extendida al productor y fomento al reciclaje, promulgada el 2016, busca promover la gestión responsable de los residuos provocados por 6 productos prioritarios, entre ellos, se encuentran los neumáticos.

El 20 de enero del 2021, se publica el decreto supremo que dicta las normas de cumplimiento para la ley REP. Este documento fija metas de recolección y valorización y otras obligaciones asociadas a los productores y consumidores de neumáticos. Estas metas inician el 2023 y se aplicarán de manera progresiva hasta el 2030, donde se deberá valorizar el 100% de los neumáticos mineros OTR. La valorización se define en la ley REP como las actividades de preparación para la reutilización, el reciclaje o la valorización energética de algún residuo.

Valorizar estos residuos incluye importantes desafíos como necesitar grandes capacidades de tratamiento por parte de los procesos utilizados y el manejo neumáticos con más de 4 metros de diámetro y cerca de 5 toneladas.

Este trabajo de título estimará la cantidad de neumáticos OTR que consume cada CAEX en las principales operaciones mineras de superficie del país, con el fin de establecer compatibilidad de aplicación entre estos desechos y los actuales métodos de valorización de neumáticos.

Luego, se propone una metodología que apoye a las operaciones mineras de superficie en el proceso de adaptar su actual manejo de residuos de neumáticos OTR a un ciclo de actividades que incorpore todas las dimensiones que conforman una correcta y completa gestión de neumáticos.



Objetivos y alcances

Objetivo General

Generar una propuesta metodológica que apoye a las operaciones mineras de superficie en la adaptación del actual manejo de residuos de neumáticos OTR a un ciclo de actividades que cumpla con las imposiciones de la ley REP en Chile.

Objetivos Específicos

- a. Estimar la cantidad de neumáticos OTR que se consumen por año las operaciones mineras nacionales con método de explotación a cielo abierto.
- b. Evaluar la aplicación de los métodos de valorización de neumáticos y el desecho anual de neumáticos de las operaciones mineras de superficie que trabajan en el país.
- c. Formular un ciclo de actividades que permita a las operaciones mineras nacionales mejorar la gestión de neumáticos OTR y cumplir con el nuevo marco legal impuesto por la ley REP en Chile.

Alcances

- a. Este trabajo de título se enfoca en los neumáticos mineros para aros de 57” y 63”, ya que corresponden a los casos de mayor volumen y mayor presencia en el mercado nacional.
- b. Para las estimaciones numéricas se considerarán los neumáticos utilizados solo por camiones de extracción de alto tonelaje, desde el año 2018 hasta el año 2020 en operaciones mineras nacionales.
- c. Este estudio toma como referencia las indicaciones de la ley N°20.920, conocida como ley REP y el decreto supremo que establece metas de recolección y valorización y otras obligaciones asociadas a neumáticos.

1 Fundamentos de la Ley REP

La nueva ley N°20.920, más conocida como ley REP o ley de responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje, corresponde a un instrumento legal que busca promover la gestión responsable de los residuos provocados por seis productos prioritarios. Estos corresponden a los aparatos eléctricos y electrónicos, pilas, envases y embalajes, aceites y lubricantes, baterías y neumáticos (Figura 1; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

La aplicación de esta norma obligará a los productores o importadores de estos artículos, a hacerse cargo de los bienes resultantes una vez terminada su vida útil (Ministerio del medio ambiente, 2020). Para esto, la ley REP establece metas de recolección y valorización de residuos, que se aplicarán progresivamente y serán diferenciadas para cada uno de los productos prioritarios antes mencionados.

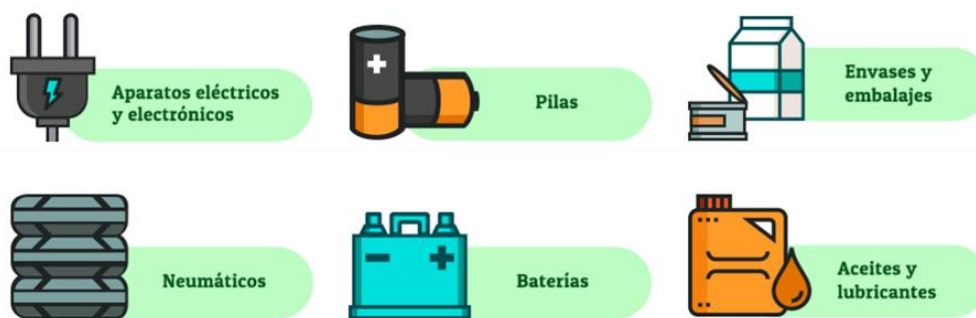


Figura 1: Productos prioritarios de la Ley REP. (Ministerio del medio ambiente, 2020)

El 14 de agosto de 2013 la Cámara de Diputados emite el mensaje N°182-361, dando inicio al primer trámite constitucional de la ley N°20.920. Se presenta el proyecto de ley que establece el marco para la gestión de residuos, responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje, dando a conocer tres puntos principales que anteceden al proyecto:

- Preocupación constante por el manejo de los residuos en los sectores sociales, sin soluciones efectivas. Acompañado de un aumento en los patrones de producción y consumo que favorecen cada vez más la generación de residuos.
- El poseedor de residuos tendrá la intención u obligación de desecharlos de acuerdo con la normativa legal vigente. Actualmente, el manejo de residuos y su disposición final genera grandes costos ambientales, sociales y económicos principalmente hacia los municipios.
- El marco regulatorio que hasta ese entonces se refería al manejo de residuos sólidos estaba compuesto por las normas indicadas en el Anexo A. Marco regulatorio previo al proyecto de ley



Históricamente en Chile ya han sido implementados avances en el manejo de residuos. En el año 1995, la totalidad de estos desechos domiciliarios se eliminaban en vertederos y basurales, 10 años después, más del 60% de los residuos se disponían en rellenos sanitarios que cumplen con una serie de exigencias técnicas sanitarias y ambientales. Últimamente el enfoque regulatorio se ha basado en resolver adecuadamente la disposición final de residuos y ha quedado en evidencia que esto no será sostenible para los próximos años. A partir de esto, nace la necesidad de redefinir el enfoque en la gestión de residuos del país, de tal modo que se incluya la valorización de estos.

Al 2013, la mayoría de los municipios limitaba la gestión de desechos a su disposición final, ya sea mediante empresas privadas o manejo propio, y por lo general, no manifiestan interés por el manejo integro de residuos, más bien se prefiere optar por contratos de disposición final, que muchas veces desincentivan las iniciativas de reciclaje debido a sus menores costos de tratamiento.

Hay municipios que han formalizado el reciclaje mediante contratos de recolección diferenciada, además, existe un mercado informal de recolectores y recicladores de diversas materias primas y un mercado formal con medianas y pequeñas empresas recuperadoras y recicladoras que se han desplegado en diversas ciudades del país. Estos actores forman parte del reciclaje nacional que ha tenido avances, pero la tasa de valorización de residuos generados en Chile aún es baja y hasta el lanzamiento de este proyecto de ley se mantenía en valores del orden del 10%.

Entre los años 2009 y 2010 se realizó el estudio “Levantamiento, análisis, generación y publicación nacional sobre residuos sólidos de Chile” el cual, en base a estudios anteriores y encuestas a municipalidades, empresas generadoras y destinatarios de residuos, obtuvo los primeros resultados oficiales respecto a la generación, crecimiento y tasa de valoración de los residuos, presentados en la Tabla 1. Este documento es utilizado como inspiración para crear en 2010 el “Primer reporte del manejo de residuos sólidos en Chile” por parte de la comisión nacional del medio ambiente del gobierno de Chile.

Según el estudio, para el año 2009 se estimaba una generación de 16,9 millones de toneladas de residuos, de las cuales 10,4 millones de toneladas corresponden a residuos industriales y 6,5 millones de toneladas a residuos domiciliarios, de estos últimos un alto porcentaje (33%) corresponden a materiales altamente valorizables. Estos datos aún no incluyen a los residuos mineros masivos.



Tabla 1: Estudio sobre residuos sólidos en Chile. 2009-2010. (Cámara de Diputados, 2013)

Producto	Generación [Ton/Año]	Crecimiento [%]	Tasa de Valorización [%]	Año	Fuente
Neumáticos fuera de uso	53.560	3%	22%	2012	CINC (2012)
Aparatos electrónicos	7.674	-	19%	2008	CONAMA (2009)
Aparatos eléctricos	18.666	-	-	2010	CONAMA (2010)
Lámparas o Ampolletas	5.269	2%	-	2010	CONAMA (2010)
Diarios, periódicos y revistas	252.000	-	-	2013	INFOR (2011)
Medicamentos vencidos	92	-	-	2013	Triciclos (2013)
Plaguicidas vencidos	0,5	-	-	2000	CONAMA (2000)
Vehículos fuera de uso ²	67.400	-	-	2009	Lamas (2009)
Baterías fuera de uso	26.100	2%	52%	2008	CONAMA (2009)
Aceites lubricantes usados	72.150	4%	52%	2008	CONAMA (2009)
Pilas	4.337	-	-	2011	MMA (2011)
Envases - Vidrio	292.014	8%	45% ³	2012	CONAMA (2011)
Envases – Metal Aluminio	100.665	3%	35% ⁴	2012	CONAMA (2011)
Envases – Cartón bebidas	18.380	7%	20%	2012	CONAMA (2011)
Envases – PET	60.260	11%	19%	2012	CONAMA (2011)
Envases – Otros plásticos	355.934	4%	10% ⁵	2012	CONAMA (2011)
Envases – Papel y Cartón	474.650	6%	50% ⁶	2012	CONAMA (2011)
Envases – Plaguicidas	1.052	-	25%	2012	AFIPA (2011)
Total	1.810.028				

Nota: 1) Solo metal vehículos livianos y medianos; 2) solo diarios y periódicos; 3) Vidrio, 54% industrial y 11% domiciliario; 4) Metal, 43% industrial y 10% domiciliario; 5) Otros plásticos, 12% industrial y 3% domiciliario; 6) Papel, 82% industrial y 3% domiciliario.

Según el estudio, para el año 2009 se estimaba una generación de 16,9 millones de toneladas de residuos, de las cuales 10,4 millones de toneladas corresponden a residuos industriales y 6,5 millones de toneladas a residuos domiciliarios, de estos últimos un alto porcentaje (33%) corresponden a materiales altamente valorizables. Estos datos aún no incluyen a los residuos mineros masivos.

En 2005 el Consejo Directivo de la Comisión Nacional del Medio Ambiente aprobó la Política de Gestión integral de residuos sólidos que tiene como objetivo “lograr que el manejo de residuos sólidos se realice con el mínimo riesgo para la salud de la población y el medio ambiente, propiciando una visión integral de los residuos, que asegure un desarrollo sustentable y eficiente del sector”. Para su implementación se crearon secretarías ejecutivas a nivel nacional y regional.



Uno de los aspectos relevantes que incorpora esta política es la necesidad de contar con una gestión integral de residuos que abarque todas las etapas de un producto, desde que es elaborado hasta su eliminación. Cuando se habla de gestión de residuos, el primer objetivo es evitar la generación; si esta no es posible, se debe procurar su minimización; si esto no es posible, entonces recién se debe evaluar su disposición final. Este principio de jerarquía en la gestión de residuos, indicado en la Figura 2, es reconocido en gran parte de los países desarrollados y ha probado su efectividad en el tiempo.

PRINCIPIO DE JERARQUÍA EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

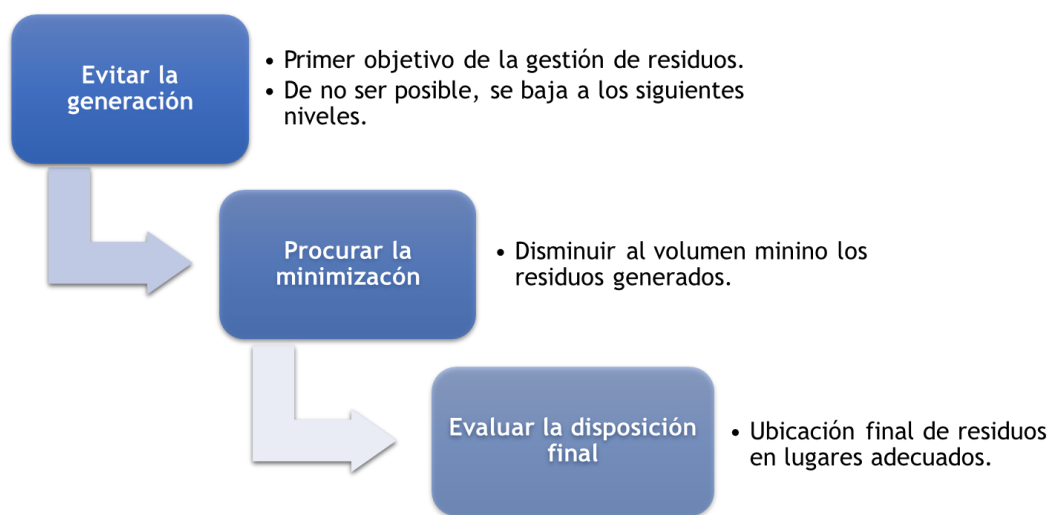


Figura 2: Principio de jerarquía de la gestión de residuos.

En el mismo año 2005, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), en la Evaluación de Desempeño Ambiental del país, estableció una serie de recomendaciones para fomentar la valorización de residuos en Chile, tales como: “Profundizar la aplicación de los principios el que contamina paga y el usuario paga mediante cargos apropiados sobre el manejo de residuos” y “evaluar las posibilidades de introducir instrumentos económicos nuevos como cargos por residuos peligrosos, entre otros”. Los instrumentos económicos que propone la OCDE usan las fuerzas del mercado como impulsoras del cumplimiento de las metas ambientales.

En el contexto internacional, a la fecha, más de 45 países utilizaban el mecanismo conocido como Responsabilidad Extendida del Productor (REP) para promocionar la valorización de residuos. La REP corresponde a un régimen especial de gestión de residuos conforme al cual los productores son responsables de la organización y financiamiento de la gestión de los residuos de productos que comercialicen en el país definidos como prioritarios.



Aunque con diferencias en el diseño y los productos a los que aplica, la responsabilidad extendida del productor se encuentra implementada en decenas de países, algunos ejemplos cercanos corresponden a Estados Unidos, Canadá, la Unión Europea y los países que la conforman, Australia, Japón y los países vecinos Brasil y Colombia. Sin embargo, son los países europeos los que llevan mayor tiempo de implementación, con regulación que data de principios de los noventa. Por lo tanto, este proyecto de ley utiliza como importante referente para su elaboración a la Ley N°22/2011 de residuos y suelos contaminados de España, recientemente modificada, junto con las normativas europeas en la materia y sus normativas de implementación en Alemania y España.

El proyecto de ley busca hacerse cargo del diagnóstico realizado por el estudio “Levantamiento, análisis, generación y publicación nacional sobre residuos sólidos de Chile” realizado entre 2009 y 2010. Incorporando la valorización de residuos como elemento primordial en la gestión de los residuos sólidos, e introduciendo en la regulación un instrumento económico que busca aumentar los niveles de reciclaje de los residuos que actualmente se disponen en rellenos sanitarios o aún son depositados en vertederos ilegales. De esta forma, el proyecto de ley establece algunos instrumentos de gestión ambiental en materia de residuos, destacando entre ellos la REP.

La REP implica que los productores de productos prioritarios deben cumplir con ciertas obligaciones tales como registrarse, organizar y financiar la gestión de residuos, cumplir metas de recolección y valorización a través de alguno de los sistemas de gestión junto con asegurar que el tratamiento de residuos recolectados se realice por los gestores autorizados. De esta forma, el fabricante o importador deberá hacerse cargo del producto una vez terminada su vida útil, debiendo cumplir las metas de valorización establecidas por el medio ambiente.

La REP persigue dos objetivos principales:

- a) Promover el diseño de productos que procuren el aumento de su vida útil y potencial valorización.
- b) Incentivar la reutilización y valorización de productos al final de su vida útil.

Estos objetivos permiten resolver externalidades ambientales propias de los residuos (contaminación de suelo y aguas, olores, emisiones, etc.), disminuir la disposición final de estos, aumentar la vida útil de los rellenos sanitarios y formalizar el mercado de reciclaje existente.



1.1 Publicación de la Ley REP

La ley N°20.920 es publicada en el Diario Oficial el 01 de junio de 2016 a través del organismo “MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE” y con el título “ESTABLECE MARCO PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS, LA RESPONSABILIDAD EXTENDIDA DEL PRODUCTOR Y FOMENTO AL RECICLAJE”

1.1.1 Título I: Disposiciones Generales

El primer Título de la ley N°20.920 contiene la información general para comprender el objetivo de esta nueva norma, los principios que la inspiran y las definiciones de los términos utilizados en la redacción de esta.

1.1.1.1 Objetivo de la ley (artículo 1)

El objetivo de la ley N°20.920 es, *“disminuir la generación de residuos y fomentar su reutilización, reciclaje y otro tipo de valorización, a través de la instauración de la responsabilidad extendida del productor y otros instrumentos de gestión de residuos, con el fin de proteger la salud de las personas y el medio ambiente”*.



1.1.1.2 Principios de inspiran la ley (artículo 2)

El artículo 2 hace referencia a los principios que inspiran la promulgación de la ley, estos corresponden a 11 principios que se encuentran junto con su definición en el Anexo B Principios que inspiran la ley REP. Los mismos se encuentran listados en la siguiente Figura 3.



Figura 3: Principios que inspiran la ley REP.

1.1.1.3 Definiciones de la ley (artículo 3)

El artículo 3 de la ley N°20.920 contiene 31 definiciones utilizadas en la redacción de esta misma, el glosario de la ley se encuentra en el Anexo C, Definiciones de la ley REP



1.1.2 Título II: De la gestión de residuos

El segundo título de la ley se refiere a los participantes en la gestión de residuos, indicados en la Figura 4, incluye los instrumentos que generará el ministerio para que los productores de residuos, gestores de residuos y residuos peligrosos, como también los importadores y exportadores de residuos, puedan cumplir con las obligaciones que indicará la ley REP.

1.1.2.1 Gestión de residuos (artículo 4)

El artículo 4 de la ley REP “De la prevención y valorización” indica que todo residuo potencialmente valorizable deberá ser destinado a tal fin, evitando su eliminación. Para este efecto el ministerio deberá establecer mediante decreto supremo los siguientes instrumentos destinados a prevenir la generación de residuos y/o promover su valorización:

- a) Ecodiseño.
- b) Certificación, rotulación y etiquetado de uno o más productos.
- c) Sistemas de depósito y reembolso.
- d) Mecanismos de separación en origen y recolección selectiva de residuos.
- e) Mecanismos para asegurar un manejo ambientalmente racional de residuos.
- f) Mecanismos para prevenir la generación de residuos, incluyendo medidas para evitar que productos aptos para el uso o consumo, según lo determine el decreto supremo respectivo, se conviertan en residuos.

La elaboración de decretos supremos que establezcan los instrumentos anteriores deberá contener al menos las siguientes etapas:

- a) Un análisis general del impacto económico y social.
- b) Una consulta a organismos públicos competentes y privados, incluyendo a los recicladores de base.
- c) Una etapa de consulta pública, que tendrá una duración mínima de 30 días hábiles.

La Superintendencia del Medio Ambiente será competente para fiscalizar el cumplimiento de dichos instrumentos e imponer sanciones, conforme a su ley orgánica.

1.1.2.2 Obligaciones de los generadores de residuos (artículo 5)

La ley REP establece las obligaciones de los generadores de residuos, indicando que:



- a) Todo generador de residuos deberá entregarlos a un gestor autorizado para su tratamiento, salvo que proceda a manejarlos por sí mismo en conformidad al artículo siguiente artículo, Obligaciones de los gestores de residuos (artículo 6).
- b) El almacenamiento de residuos igualmente deberá cumplir con la normativa vigente.
- c) Los residuos sólidos domiciliarios y asimilables deberán ser entregados a la municipalidad correspondiente o a un gestor autorizado para su manejo.

1.1.2.3 Obligaciones de los gestores de residuos (artículo 6)

La ley REP establece las obligaciones de los gestores de residuos, indicando que todo gestor de residuos deberá:

- a) Manejar los residuos de manera ambientalmente racional, aplicando las mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales, conforme a la normativa vigente, y contar con la o las autorizaciones correspondientes.
- b) Declarar, a través del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes, al menos, el tipo, cantidad, costos, tarifa del servicio, origen, tratamiento y destino de los residuos, de acuerdo con lo dispuesto en la ley. Anexo D Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes.

1.1.2.4 Obligaciones de los gestores de residuos peligrosos (artículo 7)

La ley REP establece que los gestores de residuos peligrosos determinados por el Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos deberán contar con un seguro por daños a terceros y al medio ambiente.

1.1.2.5 Obligaciones de los importadores y exportadores de residuos (artículo 8)

La ley REP establece que los importadores y exportadores de residuos se registrarán dispuesto en el Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su eliminación, y por las demás normas legales y reglamentarias que regulen la materia.

Se prohíbe la importación de residuos peligrosos para su eliminación. La importación de residuos peligrosos para su valorización solo será autorizada si se acredita ante el Ministerio del Medio Ambiente que aquella será efectuada por gestores autorizados que cuenten con una resolución de Calificación Ambiental que los habilite para tal efecto.



Mediante decreto supremo, expedido por el Ministerio y firmado además por el Ministro de Salud, se establecerán los requisitos, exigencias y procedimientos para la autorización de importación, exportación y tránsito de residuos, el que deberá incluir la regulación de las garantías asociadas.

Cuando la autoridad correspondiente advierta que un importador o exportador no cuenta con la autorización señalada en el inciso precedente, el Ministerio podrá adoptar las medidas necesarias para el adecuado manejo de los residuos, a costa del infractor, debiendo siempre manejar los residuos de manera que garantice la protección del medio ambiente y la salud de las personas.

El Ministerio estará facultado para denegar fundadamente las autorizaciones de importación y exportación, cuando existan antecedentes de que los residuos no serán sometidos a un manejo ambientalmente racional.

Todo importador y exportador de residuos deberá informar, al menos, el tipo de residuo, cantidad, origen, tratamiento aplicado, incluyendo el destino de los residuos generados, cuando corresponda, a través del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC).



Figura 4: Participantes de la gestión de residuos.

1.1.3 Título III: De la Responsabilidad Extendida del Productor

1.1.3.1 Párrafo 1: Disposiciones Generales

El primer párrafo del título de responsabilidad extendida del productor informa las disposiciones generales sobre las nuevas responsabilidades de los productores de residuos, quienes serán considerados como prioritarios y quienes aplicarán a los decretos supremos que establecerán las metas y obligaciones asociadas.



a. Responsabilidad extendida del productor (artículo 9)

La Responsabilidad Extendida del Productor (REP) corresponde a un régimen especial de gestión de residuos, conforme al cual los productores de productos prioritarios son responsables de la organización y financiamiento de la gestión de los residuos de los productos prioritarios que comercialicen en el país.

Los productores de productos prioritarios deberán cumplir con las siguientes obligaciones:

- a) Inscribirse en el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes establecido en la ley, detallado en el Anexo D Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes.
- b) Organizar y financiar la recolección de los residuos de los productos prioritarios en todo el territorio nacional, así como su almacenamiento, transporte y tratamiento en conformidad a la ley, a través de algunos de los sistemas de gestión a que se refiere la ley. La presente obligación será exigible con la entrada en vigencia de los respectivos decretos supremos que establezcan metas y otras obligaciones asociadas.
- c) Cumplir con las metas y otras obligaciones asociadas, en los plazos, proporción y condiciones establecidas en el respectivo decreto supremo.
- d) Asegurar que la gestión de los residuos de los productos prioritarios se realice por gestores autorizados y registrados.
- e) Las demás que establezca la ley.

b. Productos prioritarios (artículo 10)

La REP aplicará a las categorías o subcategorías definidas en los respectivos decretos supremos que establezcan metas y otras obligaciones asociadas, para los siguientes productos prioritarios.

- a) Aceites lubricantes.
- b) Aparatos eléctricos y electrónicos.
- c) Baterías
- d) Envases y embalajes.
- e) Neumáticos.
- f) Pilas.



Para definir las categorías y subcategorías deberá considerarse la efectividad del instrumento para la gestión del residuo, su volumen, peligrosidad, potencial de valorización o el carácter de domiciliario o no domiciliario del residuo.

El ministerio, a través de los decretos supremos, podrá aplicar la REP a las categorías y subcategorías de otros productos, los que se entenderán productos prioritarios. Para tal efecto, deberán considerarse los criterios definidos en el párrafo anterior.

c. Productos prioritarios no sometidos a metas ni obligaciones (artículo 11)

El ministerio podrá requerir a los productores, cuyos productos prioritarios se encuentren en una categoría o subcategoría excluida de la aplicación de la REP, informar anualmente y respecto al año inmediatamente anterior al requerimiento. A través del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (Anexo D), lo siguiente.

- a) Cantidad de productos comercializados en el país.
- b) Actividades de recolección, valorización y eliminación realizadas y su costo.
- c) Cantidad de residuos recolectados, valorizados y eliminados.
- d) Indicación si la gestión para actividades de recolección y valorización es individual o colectiva.

Los diarios, periódicos y revistas se considerarán productos prioritarios no sometidos a metas ni obligaciones asociadas y quedarán sujetos a las disposiciones del presente artículo.

La información referida podrá ser sujeta por primera vez en un plazo de 12 meses, contando en vigencia desde la entrada del decreto supremo respectivo. En el caso de diarios, periódicos y revistas, dicho plazo se contará desde la publicación de la ley REP.

1.1.3.2 Párrafo 2: Metas de recolección y valorización y otras obligaciones asociadas

El segundo párrafo del Título III de la ley REP indica como serán establecidas las metas de recolección y valorización y otras obligaciones asociadas a las que estarán sometidos los productores de productos primarios, además de cómo se establecerán los procedimientos y recursos que serán publicados en los decretos supremos asociados a cada producto.



a. Metas de recolección y valorización (artículo 12)

Las metas de recolección y valorización de los residuos de productos prioritarios serán establecidas mediante decretos supremos dictados por el Ministerio.

Las metas serán establecidas en relación a la cantidad de productos prioritarios introducidos en el mercado nacional por cada productor, aplicando los principios de gradualismo y de jerarquía en el manejo de residuos, considerando las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales como criterio para tal efecto.

Los decretos supremos podrán establecer diferencias en las metas en base a consideraciones demográficas, geográficas y de conectividad.

b. Obligaciones asociadas (artículo 13)

Con el fin de asegurar el cumplimiento de metas, los decretos supremos indicados en el artículo anterior podrán regular las siguientes obligaciones.

- a) Etiquetado.
- b) Información a distribuidores o comercializadores, gestores y consumidores, incluyendo la tarifa correspondiente al costo de la gestión de residuos.
- c) Diseño e implementación de estrategias de comunicación y sensibilización.
- d) Diseño e implementación de medidas de prevención en la generación de residuos.
- e) Entrega separada en origen y recolección selectiva de residuos.
- f) Limitaciones en la presencia de sustancias peligrosas en los productos.
- g) Exigencia de ecodiseño.
- h) Diseño, cobertura y operación de instalaciones de recepción y almacenamiento.
- i) Especificación de los roles y responsabilidades que corresponden a diferentes actores involucrados en el cumplimiento de las metas, en virtud de lo dispuesto en la ley REP.

c. Procedimientos, recurso de reclamación e interpretación administrativa

Los siguientes artículos del Párrafo 2 indican los procedimientos para establecer las metas y otras obligaciones asociadas a la ley REP, reglamentos para la elaboración de los decretos supremos, pronunciamiento del consejo de ministros para la sustentabilidad, recurso de reclamación, revisión de las metas y otras obligaciones asociadas y la interpretación administrativa.



Estos artículos no serán desarrollados, ya que su información no es relevante para el desarrollo de los objetivos de este trabajo de título. En el siguiente capítulo, Decreto Supremo asociado a neumáticos, se enunciará información sobre las metas y obligaciones asociadas a neumáticos.

1.1.3.3 Párrafo 3: Sistemas de gestión

De acuerdo a las definiciones de la ley N°29.920 un sistema de gestión es un mecanismo instrumental para que los productores, individual o colectivamente, den cumplimiento a las obligaciones establecidas en el marco de la responsabilidad extendida del productor, a través de la implementación de un plan de gestión.

El párrafo 3° del Título II indica las generalidades que la ley establecerá para los sistemas de gestión, como las características que estos deberán oficializar, la forma en que se establecerán los permisos, convenios con gestores, municipalidades y también como se definirá la autorización, renovación y actualización de los sistemas y planes de gestión.

Estos artículos serán desarrollados en específico para el decreto supremo que indica las metas de recolección y valorización y otras obligaciones asociadas a neumáticos en el siguiente capítulo, Decreto Supremo asociado a neumáticos, en el Párrafo 2: Sistemas de gestión.

1.1.4 Títulos IV - VII

La ley N°20.920 en su emisión en el Diario Oficial cuenta con otros cuatro títulos que no serán desarrollados en este trabajo de título debido a que el contenido de estos tiene un enfoque diferente a los objetivos y alcances de este informe, sin embargo, estos serán mencionados a continuación para cubrir por completo el documento de promulgación de la ley REP.

- a) Título IV: Mecanismos de apoyo a la responsabilidad extendida del productor.
- b) Título V: Sistemas de información (Anexo D).
- c) Título VI: Régimen de fiscalización y sanciones.
- d) Título VII: Modificaciones de otros cuerpos normativos.



1.2 Decreto Supremo asociado a neumáticos

El miércoles 20 de enero de 2021, el Ministerio del Medio Ambiente publica a través del Diario Oficial de Chile el decreto supremo que establece las metas de recolección y valorización y otras obligaciones asociadas a neumáticos.

1.2.1 Consideraciones

El documento comienza nombrando las leyes que anteceden al decreto supremo junto con los procesos previos y decisiones que acreditan su emisión. Posteriormente, enumera 22 consideraciones que contienen datos relevantes para contextualizar el problema del residuo generado por los neumáticos.

Las consideraciones previas al decreto supremo se encuentran en el Anexo E, Consideraciones del Decreto Supremo de ley REP asociado a neumáticos.

1.2.2 Título I: Disposiciones generales

El primer título del decreto supremo contiene cuatro artículos que indican su objetivo, las definiciones de los conceptos que se utilizarán en su redacción, el ámbito de aplicación y las categorías definidas para regular las obligaciones contenidas en el decreto.

1.2.2.1 Objetivo del decreto (artículo 1)

El decreto tiene por objeto “*establecer las metas de recolección y valorización y otras obligaciones asociadas al producto prioritario neumáticos, a fin de prevenir la generación de tales residuos y fomentar su reutilización, reciclaje u otro tipo de valorización*”.

1.2.2.2 Definiciones del decreto (artículo 2)

Además de las definiciones mencionadas en el artículo 3 de la ley N°20.920, para los efectos del decreto supremo se agregan 14 definiciones que se pueden encontrar en el anexo F, Definiciones del Decreto Supremo de Ley REP asociado a neumáticos.



1.2.2.3 Ámbito de aplicación (artículo 3)

El decreto supremo aplicará a los neumáticos introducidos en el mercado nacional. Para efectos de este decreto, los NFU (neumáticos fuera de uso), serán considerados como residuos no domiciliarios.

1.2.2.4 Categorías de neumáticos (artículo 4)

Con el objetivo de regular las obligaciones que se indican en el título III del decreto, se establecen las siguientes categorías de neumáticos, señaladas en la Figura 5.

- a) Categoría A: Neumáticos que tengan un aro inferior a 57 pulgada, con excepción de los que tengan aro igual a 45 pulgadas, a 49 pulgadas y a 51 pulgadas.
- b) Categoría B: Neumáticos que tengan aro igual a 45 pulgadas, a 49 pulgadas, a 51 pulgadas y aros iguales o mayores a 57 pulgadas.
- c) Neumáticos de bicicletas y de sillas de rueda, o cualquier neumático similar a éstos en función de su peso o de la composición o de la composición material de los mismos.
- d) Neumáticos macizos, entendiéndose por tales a la pieza toroidales que no cuentan con una cámara de aire, sino que son completamente sólidas, desde la llanta, capa a capa.

La responsabilidad extendida del productor no aplicará a los NFU correspondientes a las categorías 3) y 4). Sin embargo, los productores de estos deberán entregar anualmente, a través de RETC, un Plan de Gestión con los contenidos indicados en el artículo Plan de gestión (artículo 11).

Categorías de neumáticos - Ley REP

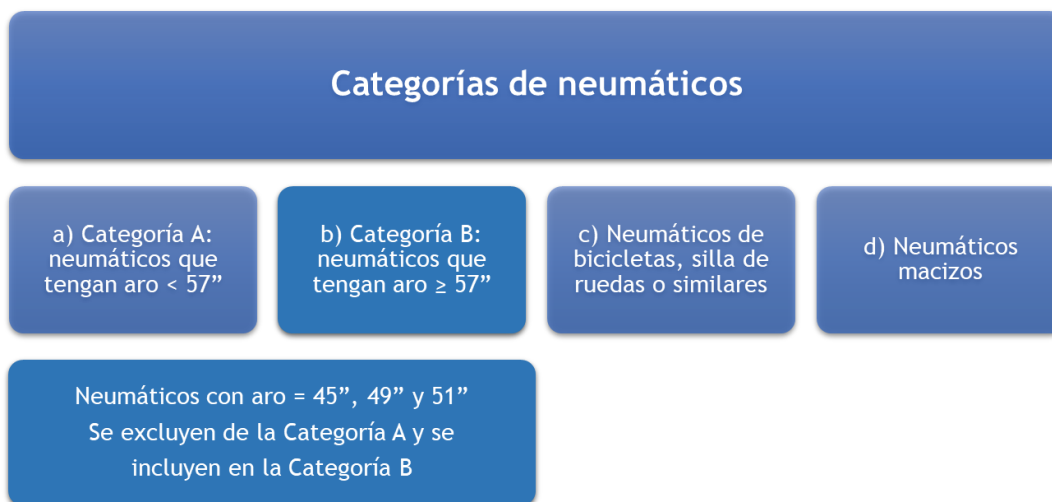


Figura 5: Clasificación de neumáticos según ley REP.



1.2.3 Título II: Obligaciones de los productores de neumáticos

1.2.3.1 Párrafo 1: De los Productores

El primer párrafo del Título II del decreto supremo define a los productores de neumáticos sujetos a la ley REP, las normas que relacionan a estos productores para que puedan actuar en conjunto y las obligaciones que el decreto establece para los productores de neumáticos.

a. Productores de neumáticos sujetos a la ley REP (artículo 5)

La Responsabilidad Extendida del Productor será aplicable a aquellos que introduzcan neumáticos en el mercado nacional, sin perjuicio de las excepciones establecidas en las categorías definidas en el decreto supremo.

Independiente si los neumáticos forman parte integrante de un vehículo o maquinaria de cualquier tipo (neumático de un equipo original) o si han sido introducidos en el mercado nacional de forma aislada, como neumáticos de reposición.

b. Normas de relación (artículo 6)

Para efectos de dar cumplimiento a las obligaciones de la REP, dos o más productores que se encuentren relacionados en los términos establecidos en la ley N°18.045, sobre mercado de valores, o la que la reemplace, podrán actuar representados por solo uno de ellos, el que deberá encontrarse debidamente mandatado para tal efecto.

c. Obligaciones de los productores (artículo 7)

Los productores de neumáticos sujetos a la REP deberán cumplir con las siguientes obligaciones:

- a) Inscribirse en el RETC, de conformidad con el reglamento de dicho registro y entregar la información que se les solicite, directamente al RETC, si se trata de un sistema individual, o bien, a través del sistema colectivo de gestión que corresponda, sin perjuicio de las obligaciones de entregar información que puedan tener en virtud de otros cuerpos normativos.
- b) Organizar y financiar la recolección de los NFU en todo el territorio nacional, así como su almacenamiento, transporte y tratamiento en conformidad con la normativa vigente.
- c) Cumplir con las metas de recolección y valorización de los NFU, de conformidad con el título III del decreto supremo.



- d) Cumplir con las obligaciones asociadas que les correspondan, de conformidad con el título IV del decreto supremo.
- e) Asegurar que la gestión de los NFU se realice por gestores autorizados y registrados.
- f) Velar por que la información comercial sensible que sea compartida con ocasión del cumplimiento de la ley no pueda ser conocida por otros productores, dando cumplimiento a la normativa sobre libre competencia aplicable y con sujeción a la ley N°19.628, sobre protección de la vida privada.

Las obligaciones establecidas en las letras b) a e) deberán cumplirse, para cada categoría, a través de un sistema de gestión adecuado, de acuerdo con lo señalado en el Párrafo 2° de este título. Los productores tendrán 4 meses, contados desde la primera introducción en el mercado nacional de un neumático, para dar cumplimiento a las obligaciones referidas en este artículo.

Los productores deberán permanecer, al menos, un año calendario en el sistema de gestión respectivo, debiendo informar su adhesión o incorporación a otro, antes del 30 de junio del año inmediatamente anterior a aquel año calendario en el que desean cumplir sus obligaciones mediante un sistema de gestión distinto.

1.2.3.2 Párrafo 2: Sistemas de gestión

El párrafo 2 del Título II se refiere a los sistemas de gestión, mecanismo que utilizaran los productores para dar cumplimiento a las obligaciones establecidas en el marco de la responsabilidad extendida del productor, además incluye definiciones sobre el plan de gestión, las obligaciones de los sistemas de gestión, entre otras.

a. Sistemas de gestión individuales o colectivos (artículo 9)

Los sistemas individuales de gestión deberán dar cumplimiento a sus metas de recolección y valorización únicamente con los NFU en que se conviertan los neumáticos que esos mismos productores hayan introducido en el mercado.

Los sistemas colectivos de gestión podrán iniciar sus operaciones a contar del 1 de enero de cada año, con excepción del primer año de vigencia de las metas de recolección y valorización y otras obligaciones asociadas, en que deberán iniciar su funcionamiento en la fecha que entren en vigencia dichas metas, de conformidad con lo dispuesto en el artículo Entrada en vigencia (artículo 34).

Los sistemas gestión colectivos deberán estar integrados solo por productores (artículo 10)



b. Plan de gestión (artículo 11)

Todo sistema de gestión deberá estar autorizado por el Ministerio. Para tal efecto presentará, a través del RETC, un plan de gestión, el que contendrá:

- a) La identificación del o los productores que lo integren, de su o sus representantes e información de contacto;
- b) La estimación, para cada uno de los años de duración del plan de gestión, de la cantidad total de neumáticos a ser introducidos en el mercado, en unidades y toneladas, promedio de su vida útil y estimación de los NFU a generar en igual periodo, en unidades y toneladas, considerando el desgaste de los neumáticos.
- c) La estrategia para lograr el cumplimiento de las metas y demás obligaciones asociadas en todo el territorio nacional por el plazo de duración del plan de gestión, la que deberá considerar, al menos, las estrategias de recolección, precisando un cronograma y su cobertura, y de información a los consumidores;
- d) Una estimación del costo para el manejo de los NFU;
- e) El mecanismo de financiamiento de las operaciones de gestión, por el plazo de duración del plan de gestión;
- f) Los mecanismos de seguimiento y control de funcionamiento de los servicios contratados para el manejo de NFU;
- g) Los procedimientos para la recopilación y entrega de información al Ministerio;
- h) Los sistemas de verificación de cumplimiento del plan;
- i) Un plan de prevención que contenga una descripción de las estrategias que adoptará el sistema de gestión para prevenir la generación de NFU.

En el caso de un sistema colectivo de gestión deberá además presentarse:

- a) La identificación de la persona jurídica, copia de sus estatutos e identificación de los integrantes;
- b) Las reglas y procedimientos para la incorporación de nuevos asociados y funcionamiento del sistema, que garanticen el respeto a las normas para la defensa de la libre competencia, acompañados del respectivo informe favorable del Tribunal de Defensa de la Libre Competencia;
- c) Copia de la fianza, seguro o garantía constituida, conforme con lo establecido en el artículo **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**
- d) Una descripción de los procedimientos de licitación.



- e) Una descripción de los tipos de neumáticos, en virtud de los cuales se cobrará una tarifa para financiar el sistema de gestión respectivo, de conformidad con el literal siguiente del presente artículo, y los criterios objetivos que lo fundamentan.
- f) Una estimación de la tarifa que le cobrará a los productores para cada neumático. La tarifa podrá ser diferenciada por tipo de neumático;
- g) La estructura societaria y el o los mandatos en virtud de los cuales se acogen a lo dispuesto en el artículo Normas de relación (artículo 6), cuando corresponda.

El ministerio elaborará una guía para la presentación y descripción de los contenidos del plan de gestión, la que será aprobada por resolución.

Los planes de gestión deberán presentarse antes del 30 de junio del año anterior a aquel en que comenzará a operar el respectivo sistema de gestión. Serán aprobados mediante resolución dictada por el Ministerio, en los plazos que establezca el Reglamento y las actualizaciones igual deberán ser informadas al Ministerio, en el plazo que establezca el Reglamento (artículos 12, 13 y 14).

c. Obligaciones de los sistemas de gestión (artículo 15)

Los sistemas de gestión deberán:

- a) Celebrar los convenios necesarios con gestores autorizados y registrados o con municipalidades o asociaciones de las mismas con personalidad jurídica en el marco de sus atribuciones y de conformidad con lo dispuesto en los artículos 24 y 25 de la ley N°20.920.
- b) Entregar al Ministerio los informes de avance y finales a través del RETC sobre el cumplimiento de metras y otras obligaciones asociadas, de conformidad con el artículo Informes (artículo 17).
- c) Proporcionar al Ministerio o a la Superintendencia del medio ambiente, toda información adicional requerida, en los términos establecidos en el artículo 22, letra d) de la ley N°20.920.

Además de las obligaciones anteriores, los sistemas colectivos de gestión deberán:

- a) Realizar una licitación abierta para contratar con gestores los servicios de manejo de residuos, dando cumplimiento a lo dispuesto en el artículo 24 de la ley N°20.920.
- b) Constituir y mantener vigente una fianza, seguro u otra garantía para asegurar el cumplimiento de las metas y obligaciones asociadas, de conformidad con el artículo **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**



- c) Velar por que la información comercial sensible que sea compartida con ocasión del cumplimiento de la ley no sea conocida por los productores, cumpliendo la normativa sobre libre competencia aplicable y con sujeción a la ley N°19.628, sobre protección de la vida privada.
- d) Velar por el adecuado manejo de la información comercial sensible que obtengan de los gestores de residuos con ocasión del cumplimiento de la ley, dando cumplimiento a la normativa sobre libre competencia aplicable y con sujeción a la ley N°19.628, sobre protección de la vida privada.

Los sistemas de gestión podrán celebrar convenios con municipalidades o asociaciones de municipalidades con personalidad jurídica, destinados a la separación en origen, a la recolección selectiva, al establecimiento y/u operación de instalaciones de recepción y almacenamiento de NFU, a la promoción de la educación ambiental de la población y al diseño e implementación de estrategias de comunicación y sensibilización (artículo 16).

d. Informes (artículo 17)

Los sistemas de gestión deberán presentar anualmente al ministerio:

- a) Un informe de avance, a más tardar el 30 de septiembre, y
- b) Un informe final, a más tardar el 31 de mayo del año siguiente.

El informe de avance debe reportar las actividades realizadas entre el 1 de enero y el 30 de junio del año en que se presente, mientras que el informe final deberá hacer contener las actividades realizadas entre el 1 de enero y el 31 de diciembre del año inmediatamente anterior al de su presentación.

La Superintendencia del Medio Ambiente precisará mediante resolución (Superintendencia del Medio Ambiente, 2021) la información a entregarse en dichos informes, los cuales deberá ser certificados por alguna entidad técnica referida en el artículo 21 del Reglamento.

Deberán contener, al menos, la cantidad de productos prioritarios introducidos en el mercado, por los productores que integran el sistema de gestión en el periodo inmediatamente anterior, una descripción de las actividades realizadas; el costo de la gestión de residuos, la fórmula para el cálculo, el cumplimiento de las metas de recolección y valorización, entre otros que diferenciarán los informes de los sistemas individuales o colectivos de gestión.



e. Financiamiento (artículo 19)

Los productores que se integren a un sistema colectivo de gestión deberán financiar dicho sistema en forma proporcional a la cantidad de neumáticos introducidos en el mercado por cada productor.

Lo anterior, en virtud de la tarifa que será fijada en función de los tipos de neumáticos, según defina el propio sistema de gestión, considerando criterios objetivos tales como el tamaño, el peso, la composición o el diseño de los mismos, incluyendo la susceptibilidad de ser recauchados en Chile.

1.2.4 Título III: Metas de recolección y valorización de NFU

El tercer título del decreto supremo de ley REP asociado a neumáticos contiene las metas de recolección y valorización para los neumáticos de categoría A y B, sin embargo, el foco de este estudio se centra en la segunda categoría, por lo tanto, se omiten las metas de recolección y valorización para los neumáticos de categoría A.

1.2.4.1 Metas para neumáticos categoría B (artículo 21)

Los productores de neumáticos categoría B estarán obligados a cumplir, a través de un sistema de gestión, con las siguientes metas de valorización de NFU, respecto del total de neumáticos introducidos por ellos en el mercado a nivel nacional.

- a) A partir del primer año de vigencia de este título, deberán valorizar, al menos, el 25% de los neumáticos introducidos en el mercado nacional el año inmediatamente anterior.
- b) A partir del quinto año de vigencia de este título, deberán valorizar, al menos, el 75% de los neumáticos introducidos en el mercado nacional el año inmediatamente anterior.
- c) A partir del octavo año de vigencia de este título, deberán valorizar, al menos, el 100% de los neumáticos introducidos en el mercado nacional el año inmediatamente anterior.

Las metas de recolección para la Categoría B se entenderán cumplidas al momento de su valorización.

Tabla 2: Metas de valorización para neumáticos Categoría B.

Metas de valorización para neumáticos Categoría B			
Año*	2023	2027	2030
Meta de valorización**	25%	75%	100%



* De acuerdo al artículo Entrada en vigencia (artículo 34) de metas y obligaciones.

** Porcentaje respecto de los neumáticos introducidos al mercado nacional el año anterior.

a. Operaciones de valorización (artículo 22)

Para efectos de este decreto y de acuerdo a las definiciones del mismo, serán consideradas operaciones de valorización de neumáticos las siguientes:

- a) **Recauchaje:** Operación de reacondicionamiento de neumáticos usados mediante el cual se reemplaza la banda de rodamiento de un neumático, con o sin la goma de los laterales del mismo, con el objeto de prolongar su vida útil.
- b) **Reciclaje material:** Conjunto de acciones que tienen por objeto recuperar uno o varios de los materiales que componen un residuo de neumático, excluyéndose aquellos procesos que lo utilizan, total o parcialmente, como fuente de energía o para la producción de combustible.
- c) **Coprocesamiento:** Operación de tratamiento de NFU en un proceso industrial, en el que existe un aprovechamiento tanto de la energía como del material presente en estos residuos.
- d) **Valorización energética:** Empleo de un residuo para aprovechar su poder calorífico.

b. Consumidores industriales (artículo 23)

Los consumidores industriales, según se definen en la ley, deberán optar por una de las siguientes opciones en relación con los NFU que generen:

- a) Entregarlos en un sistema de gestión, bajo las condiciones básicas establecidas por éste e informadas a todos los involucrados; o
- b) Valorizar por sí mismos o a través de gestores autorizados y registrados. Respecto de la obligación de informar al Ministerio establecida para este caso en el inciso segundo del artículo 34 de la ley N°20.920, los consumidores industriales deberán cumplir con lo señalado en el artículo Rol y responsabilidades de los consumidores industriales (artículo 31), y deberán a su vez optar por una de las siguientes opciones:
 - 1) Informar directamente al ministerio sobre la valorización efectuada. Si así lo hiciere, las toneladas de NFU valorizadas por dicho consumidor industrial serán asignadas a todos los sistemas colectivos de gestión de forma proporcional a las toneladas introducidas en el mercado por sus integrantes durante el año anterior a aquel en que se valorizaron dichos NFU.



- 2) Celebrar un convenio con un sistema de gestión, para que este informe al Ministerio en su nombre y representación. En este caso, las toneladas de NFU que haya generado ese consumidor industrial, y que hayan sido efectivamente valorizadas, se le imputarán al sistema de gestión con el que haya celebrado el convenio ya referido.

c. Cumplimiento de metas (artículo 24)

Para cada sistema de gestión, el porcentaje de recolección y valorización que permita establecer el cumplimiento de las metas se determinará por la siguiente formula:

$$P_i = \frac{(N_{Gi} * 100)}{(N_{Ci-1} * FD)}$$

Donde:

" P_i ": equivale al porcentaje de recolección o valorización para el año "i".

" N_{Gi} ": es equivalente a la cantidad total de toneladas de NFU recolectados o valorizados según sea el caso, en el año "i".

" FD ": es el factor de desgaste por uso de los neumáticos y corresponde a 0,84 para los neumáticos Categoría A y 0,75 para los neumáticos Categoría B, según sea el caso.

" N_{Ci-1} ": es equivalente a la cantidad total de toneladas de neumáticos introducidos en el mercado nacional el año anterior a aquel en que se realizaron las operaciones de recolección o valorización referidas en el N_{Gi} . Tratándose de un sistema individual de gestión, el valor N_{Ci-1} coincidirá con el correspondiente al productor, mientras que, en el caso de un sistema colectivo de gestión, el valor N_{Ci-1} corresponderá a la suma del valor N_{Ci-1} de cada uno de los productores que lo integre.

En el caso de que hubiere consumidores industriales que optaren por la alternativa señalada en el literal b) del inciso primero del artículo precedente, el porcentaje de valorización se determinará según la siguiente formula:

$$P_i = \frac{[(N_{Gi} + N_{CONSIND_i}) * 100]}{(N_{Ci-1} * FD)}$$

Donde:

" P_i ", " N_{Gi} ", " N_{Ci-1} " y " FD " son equivalentes a lo señalado precedentemente en este artículo; y



" $NCONSIND_i$ " es equivalente a la suma de las toneladas de NFU de la categoría pertinente valorizadas en el año "i" por:

- a. Los consumidores industriales que hayan optado por literal b) 1) del artículo Consumidores industriales (artículo 23), en la proporción que corresponde al respectivo sistema de gestión; y.
- b. Los gestores contratados por los consumidores industriales, en cuyo nombre y representación informa el respectivo sistema de gestión, conforme a lo establecido en el literal b) 2) del artículo Consumidores industriales (artículo 23).

d. Reglas sobre acreditación del cumplimiento de metas de valorización (artículo 26)

Los neumáticos se entenderán valorizados en el momento en que sean entregados a un gestor que, dentro de Chile, realice la valorización respectiva.

Las operaciones de valorización deberán acreditarse mediante el documento tributario respectivo. Si en dicho instrumento no constaren las toneladas valorizadas, deberá acompañarse el contrato respectivo en el que se indique el precio de la operación por cada tonelada de residuo.

Asimismo, los neumáticos exportados se considerarán valorizados cuando dicho tratamiento sea acreditado de conformidad con lo que disponga la normativa vigente sobre movimiento transfronterizo de residuos.

1.2.5 Título IV: Obligaciones asociadas

El cuarto título del decreto supremo de ley REP asociado a neumáticos contiene las obligaciones asociadas a los participantes de la gestión de residuos de neumáticos, entre sus artículos contiene; la obligación de informar junto con la especificación del rol y las responsabilidades de los productores, gestores, comercializadores y consumidores industriales.

1.2.5.1 Obligación de informar (artículo 27)

Los sistemas de gestión deberán entregar información sobre la tarifa correspondiente al costo de gestión de residuos a los distribuidores, comercializadores, gestores y consumidores.

Se deberá indicar el monto de la tarifa y precisar las operaciones a las que serán sometidos los NFU, junto con los criterios en virtud de los cuales distintos tipos de neumáticos tienen una tarifa diferente.



La información deberá ser entregada a través de un sitio web de acceso público actualizada con las tarifas vigentes. Además, el sistema de gestión deberá publicar y actualizar mensualmente, el listado de los productores que cumplen sus obligaciones a través de dicho sistema de gestión.

Esta obligación se verificará mediante la disponibilidad del referido sitio web, durante el periodo que corresponda.

1.2.5.2 Rol y responsabilidades de los productores (artículo 28)

Los productores que introduzcan neumáticos en el mercado nacional, al cursar la declaración de importación, deberán acreditar ante el Servicio Nacional de Aduanas, que forman parte de un sistema de gestión autorizado por el Ministerio. Sin perjuicio de lo exigido en el artículo Obligaciones de los productores (artículo 7).

Esto no será aplicable a personas naturales que introduzcan neumáticos en el mercado nacional, con ocasión de la importación de un vehículo.

1.2.5.3 Rol y responsabilidades de los gestores (artículo 29)

Todas las personas naturales o jurídicas, públicas o privadas, que realicen cualquier operación de manejo de NFU y que cuenten con las autorizaciones que la normativa vigente exige, deberán inscribirse en el registro de gestores del RETC. De conformidad con lo dispuesto en el artículo Obligaciones de los gestores de residuos (artículo 6) de la ley N°20.920.

En el caso de los gestores que realicen operaciones de recauchaje, deberán contar además con una certificación que acredite que cumplen con lo que señala la NCh3374, o la norma actual que aplique para los neumáticos que traten.

El ministerio tendrá un plazo de tres meses, desde la recepción de antecedentes, para autorizar, rechazar o solicitar más información sobre la inscripción.

Los gestores que realicen operaciones de valorización de NFU distintas del recauchaje deberán acreditar que, al menos, un 75% de los productos obtenidos tras la valorización de NFU ha sido debidamente aprovechado como materia prima o insumo en nuevos procesos productivos.

Deberán acreditar lo anterior mediante documentos tributarios que den cuenta de la venta de dichos productos o a través de cualquier otro instrumento que demuestre que existirá una venta futura, los que deberán ser presentados a través del RETC, anualmente, entre el 1 de julio y 30 de septiembre,



debidamente certificados por las entidades a las que se refiere el artículo Metas para neumáticos categoría B (artículo 21) del Reglamento.

Los gestores deberán velar por el adecuado manejo de la información comercial sensible que obtengan con ocasión de las labores que realicen y los servicios que presten.

1.2.5.4 Rol y responsabilidades de los consumidores industriales (artículo 31)

Los consumidores industriales que opten por valorizar los NFU que generen por sí mismos o a través de gestores autorizados y registrados, de acuerdo con el literal b) del artículo Consumidores industriales (artículo 23) deberán informar al Ministerio, a través del RETC, antes del 30 de junio de cada año.

Deberán indicar los residuos que operarán de acuerdo con esta opción, permaneciendo para el resto de los residuos la obligación de entregarlos a un sistema de gestión, según lo dispuesto en el literal a) del artículo Consumidores industriales (artículo 23).

Los consumidores industriales deberán estar obligados a permanecer gestionando sus residuos en el régimen escogido, al menos durante el año calendario siguiente al de la fecha en que informaron al Ministerio.

Los consumidores industriales que opten por la alternativa señalada en el literal b) 1) del artículo Consumidores industriales (artículo 23) deberán informar al Ministerio, a través del RETC, sobre la valorización efectuada, en los mismos plazos y para los mismos periodos establecidos para los informes en el artículo Informes (artículo 17).

Aquellos que opten por la alternativa señalada en el literal b) 2) del artículo Consumidores industriales (artículo 23), deberán comunicar al Ministerio, a través del RETC, el sistema de gestión que informará en su nombre y representación, al momento de informar lo señalado en el inciso primero de este artículo. Lo anterior, sin perjuicio de las demás obligaciones de declaración.

La información relativa a la valorización deberá ser certificada por alguna entidad referida en el artículo Metas para neumáticos categoría B (artículo 21) del Reglamento. Los consumidores industriales deberán velar por el adecuado manejo de la información comercial sensible.



Los consumidores industriales que no den cumplimiento a las obligaciones de este artículo serán sancionados de conformidad con la ley, sin importar la cantidad de residuos generados por ellos.

1.2.6 Títulos V - VI

El decreto supremo cuenta con los Títulos V y VI que serán abordados parcialmente debido a la baja relación con los objetivos del trabajo de título, se destaca la Entrada en vigencia (artículo 34) presente en el Título V.

Además de los artículos segundo y tercero del Título VI que indican las actividades a realizar antes de que entren en vigencia las metas de recolección y valorización y las obligaciones asociadas a neumáticos.

- a) Título V: Otras disposiciones
- b) Título VI: Disposiciones transitorias

1.2.6.1 Entrada en vigencia (artículo 34)

Las disposiciones del presente decreto entrarán en vigencia en la fecha de su publicación en el Diario Oficial, con excepción de los Títulos III (Metas de recolección y valorización) y IV (Obligaciones asociadas), los que entrarán en vigencia en el plazo de 24 meses contado desde la publicación del presente decreto. Esto último, a menos que el vencimiento de dicho plazo se verifique con posterioridad al 1 de octubre, en cuyo caso entrarán en vigencia el 1 de enero del año siguiente.

1.2.6.2 Entrega de información (artículo segundo)

Mientras no entren en vigencia los Títulos III y IV del decreto supremo, todos los productores de neumáticos deberán entregar, anualmente, a través de RETC, la siguiente información, respecto de las acciones realizadas durante el año anterior.

- a) Cantidad de productos prioritarios comercializados en el país durante el año inmediatamente anterior.
- b) Actividades de recolección, valorización y eliminación realizadas en igual periodo, y su costo.
- c) Cantidad de residuos recolectados, valorizados y eliminados en dicho lapso.
- d) Indicación de si la gestión para las actividades de recolección y valorización es individual o colectivo.



Esta información debe ser entregada por primera vez en un plazo máximo de doce meses, desde la publicación de la ley N°20.920, es decir, a partir de mayo del año 2017.

1.2.6.3 Primera presentación de planes de gestión (artículo tercero)

Previo a la entrada en vigencia de las metas de valorización, y sin perjuicio de lo establecido en el artículo 12, los sistemas de gestión deberán presentar sus respectivos planes de gestión en el plazo de 15 meses contado desde la publicación del presente decreto, es decir, a partir de abril del año 2022.

Los capítulos anteriores explican cómo se aplica la ley REP junto a sus metas de recolección y valorización, además de las obligaciones asociadas al mercado de los neumáticos. A continuación, se introduce el concepto de neumáticos y que particularidades tienen los neumáticos OTR utilizados en las operaciones mineras.

2 Neumáticos

El segundo concepto que es parte de los antecedentes de este trabajo de título son los neumáticos, en específico, los neumáticos utilizados por los camiones de extracción en las operaciones mineras de superficie.

A lo largo de este capítulo, se abordará desde la definición y clasificación de un neumático, incluyendo su uso y mantenimiento en las operaciones mineras para finalizar con las alternativas que existen para valorizar este tipo de neumáticos luego de cumplir su vida útil.

2.1 Introducción a los neumáticos

Los neumáticos son piezas toroidales hechas principalmente de caucho que se instalan en la parte externa de las ruedas de diversos vehículos y maquinas, como se puede ver en la Figura 6. Su función principal es lograr un contacto adecuado asegurando adherencia y fricción con el camino, permitiendo el arranque, frenado y guía del vehículo.

Los neumáticos pueden estar dotados de cámara (tubo con forma toroidal de caucho que va entre el neumático y la llanta, el cual se infla y se llena de aire) o pueden contener aire a presión directamente entre el neumático y la llanta (neumáticos denominados tubeless) (Morales, 2020).

Estos elementos son el único punto de contacto del vehículo con el suelo y por lo tanto de ellos depende el movimiento del vehículo sobre el terreno, de los neumáticos también depende que la rueda pueda realizar sus funciones principales como tracción, dirección, amortiguación de golpes, estabilidad, soporte de carga, entre otras (Morales, 2020).

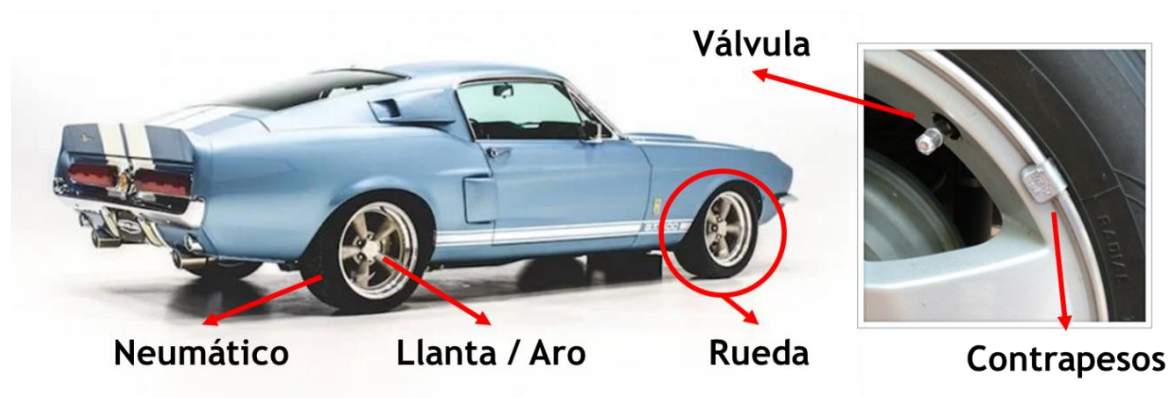


Figura 6: Diferencia entre la rueda y sus componentes.



2.1.1 Partes de una rueda

En estricto rigor, una rueda podría ser tan simple como una pieza con forma de disco, hecha de cualquier material y que tenga la capacidad de girar alrededor de un eje. Sin embargo, de forma general, las ruedas utilizadas en vehículos están formadas por los siguientes componentes: (Prieto, 2021).

- a) **Disco de rueda, aro o llanta:** tubo metálico que une la rueda al eje del vehículo y soporta los demás elementos de esta. Puede tener diferentes diseños y estar compuesta de diversas aleaciones metálicas.
- b) **Válvula:** elemento imprescindible de las ruedas ya que a través de ella se introduce el aire necesario para llenar la cámara e impide que este salga manteniendo la presión adecuada para conducir.
- c) **Contrapesos:** elementos de plomo de pequeño tamaño que se sujetan a la llanta con la función de equilibrar las ruedas, evitando vibraciones lo cual hace más segura la conducción y aumenta la vida útil de otras piezas.
- d) **Neumático:** corresponde a la parte exterior en la mayoría de las ruedas, está fabricado principalmente de caucho, aunque también incluye acero, fibras textiles y componentes minerales. Cumple las funciones de adherencia y fricción con el camino.

Sin embargo, la definición de la rueda solo nos apoya en la introducción del elemento principal en este trabajo de título, los neumáticos. A continuación, se detallan las partes, los componentes y las diferentes formas de caracterizar un neumático.

2.1.2 Partes de un neumático

Los neumáticos de manera general están confeccionados con una estructura que se compone de los siguientes elementos: (Morales, 2020).

- a) **Revestimiento de goma interior:** es la capa de caucho interna que sirve para retener el aire al interior del neumático (estanqueidad) y le permite no depender de la cámara (*tubeless*), evitando riesgo de pellizque o pérdida de aire instantánea.
- b) **Talón:** borde inferior del neumático compuesto por alambres de acero que forman un cable trenzado y circular que facilita el ajuste con la llanta y evita desplazamientos indeseados.



- c) **Lonas de carcasa:** corresponden a cables de fibras textiles dispuestos en arcos de manera transversal a la rueda que unido uno tras otro dan forma a la carcasa, estos permiten que el revestimiento de goma resista la presión de aire.
- d) **Lonas de cima:** o también llamados cinturones, son varias capas de cables de acero finos y resistentes pegados uno tras otro y dispuestos de manera oblicua en relación con la capa anterior, otorgan una estructura que garantiza robustez y flexibilidad.
- e) **Banda de rodadura:** goma exterior que proporciona la amortiguación y agarre con el terreno, su diseño y composición determinan varias de las características de rendimiento del neumático, los cuales pueden ser diferentes a la zona de hombros.
- f) **Hombros:** borde exterior del neumático que une la banda de rodadura con el flanco, es la parte de goma más gruesa ya que está expuesta a golpes en los bordes del camino además de estar encargada de distribuir el calor generado durante el movimiento.
- g) **Flanco:** área de goma gruesa y flexible que va desde el talón hasta el hombro, proporciona estabilidad como también flexibilidad para adaptarse a las deformaciones. Protege al neumático de golpes laterales y contiene información de las dimensiones y del fabricante.

En la Figura 7 es posible distinguir los componentes sobre un modelo ejemplo de neumático.



Figura 7: Componentes de un neumático.

2.1.3 Componentes de un neumático

Tomando en cuenta todas las partes nombradas anteriormente, los neumáticos tienen una estructura compuesta de polímeros, aditivos, cargas minerales y alambres metálicos. El neumático tiene una estructura diferente según la función deseada y las condiciones de utilización impuestas (Tirel, 2017).



En la Tabla 3 se listan los principales materiales que componen la estructura de un neumático junto con la función que asume cada uno de estos.

Tabla 3: Materiales que componen un neumático. (Tirel, 2017).

Materiales componentes de un neumático		
Material	[%] en peso	Función
Caucho	45 – 58	Estructura – Deformación
Negro de humo	20 – 22	Resistencia a la oxidación
Acero	15 – 25	Esqueleto estructural
Material textil	0 – 5	Esqueleto estructural
Oxido de zinc	1 – 2	Catalizador
Azufre	1	Vulcanización
Otros aditivos	10 - 12	-

Considerando los materiales que componen la estructura de un neumático de la *tabla 3*, se pueden identificar como principales participantes dentro de la composición química de un neumático a los siguientes elementos de la *Tabla 4*.

Tabla 4: Composición química de un neumático. (Tirel, 2017).

Composición química de un neumático	
Elemento	[%] en peso
Carbono	70 – 83
Hierro	5 – 18
Hidrogeno	5 – 7,5
Oxigeno	5
Azufre	1,2 – 1,9
Zinc	1,2 – 2,7
Nitrógeno	1,5
Cloro	0,1 – 0,8
Otros	5

Las proporciones pueden diferir en función del fabricante, el tipo y uso del neumático (Tirel, 2017).

2.2 Clasificación de los neumáticos

Dentro de las características generales, es posible identificar que los neumáticos contienen en el flanco un código alfanumérico que se encarga de clasificar a los diferentes modelos, ya sea por sus dimensiones, características de su confección, recomendaciones para su uso, entre otra identificación que puedan agregar los fabricantes.

Para este trabajo de título son relevantes los primeros 7 dígitos del código, los cuales permiten leer las dimensiones del neumático y conocer el tipo de construcción. La información contenida en estos dígitos se refiere al ancho de sección, la relación de aspecto entre altura y ancho de sección, el tipo de construcción del neumático y el diámetro del aro (Alvarado, 2019).

La Figura 8 permite identificar las dimensiones mencionadas.

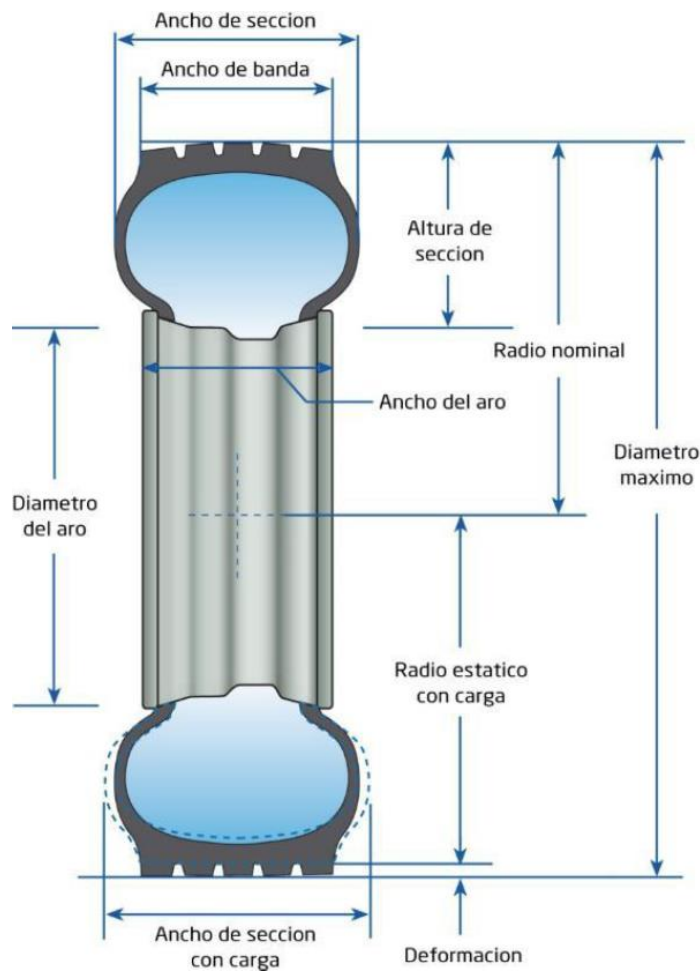


Figura 8: Dimensiones a medir en un neumático. (Alvarado, 2019).

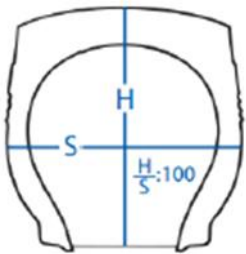
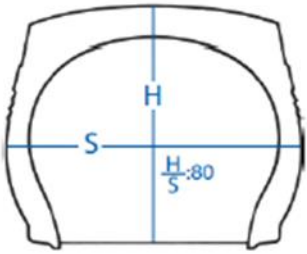
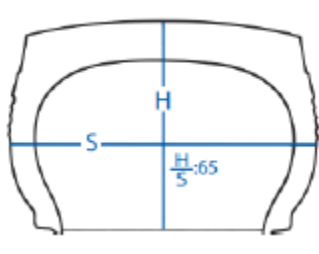


Un típico código de clasificación del tamaño de neumáticos tendrá la estructura de dos números “00” separados por una barra diagonal de otro par de números “11”, seguidos de una letra “X” y un tercer par de números “22”, por ejemplo:

“00 / 11 X 22”, donde:

- a) **Ancho de la sección:** el primer par de números “00” hace referencia al ancho de la sección del neumático, que puede identificarse en la Figura 8. Este valor suele ser expresado en pulgadas [in] o [”] o en algunos modelos se utiliza la unidad de medida milímetro [mm] (Alvarado, 2019).
- b) **Serie o familia de neumáticos:** el segundo par de números “11” se refiere a la serie o familia de neumáticos, estas se encuentran caracterizadas por la relación de aspecto H/S, razón entre la altura de la sección y el ancho de la sección del modelo, este valor se expresa en porcentaje [%] (Alvarado, 2019). Algunas de las series más utilizadas se identifican en la Tabla 5.

Tabla 5: Series o familias de neumáticos.

Neumáticos estándar (serie 100)	Neumáticos anchos (series 70, 80 o 90)	Neumáticos muy anchos (serie 65 o inferior)
$H/S = 1$	$H/S = 0.7, 0.8, 0.9$	$H/S = 0.65$
		
Nomenclatura: 00, ‘’ o –	Nomenclatura: 70, 80 o 90	Nomenclatura: 65

Debido a que los neumáticos con relación $H/S = 1$ corresponden al modelo estándar, su nomenclatura es expresada con un cero, con un guion o veces solo con un espacio vacío. En neumáticos anchos es común encontrar relaciones H/S de 70, 80, 90 o incluso números intermedios. Para el ejemplo de la tabla se utilizó un neumático de serie 80.

- c) **Diámetro del aro 22:** El tercer y último par de números “22” corresponde al diámetro del aro o llanta de la rueda, que puede identificarse en la Figura 8. Esta dimensión se encuentra expresada generalmente en pulgadas [in]. (Alvarado, 2019).



- d) **Tipo de construcción:** La letra incluida en el código “X” hace referencia al tipo de construcción del neumático, diferenciando principalmente entre neumáticos convencionales (o diagonales) y neumáticos radiales (Alvarado, 2019).

Estos tipos de construcción presentan las siguientes diferencias.

2.2.1 Neumáticos convencionales

Los neumáticos convencionales o también llamados diagonales, corresponden a capas textiles de nylon o rayón cruzadas una sobre otras y unidas entre si con caucho, creando una estructura diagonal (Morales, 2020).

Este tipo de neumáticos presenta las siguientes limitaciones en el rodaje: (Cajavilca, 2015).

- a) Las fricciones entre las capas provocan calentamientos que perjudican el rendimiento. La fuerte unión entre flanco y cima provoca una deformación particular de la superficie de contacto con el suelo, obteniendo como consecuencia menor adherencia y rápido desgaste.
- b) La banda de rodamiento de un neumático convencional es sensible a las perforaciones.

Estos neumáticos corresponden a la estructura convencional y se identifican con un guion o un espacio vacío en el código de clasificación de neumáticos.

2.2.2 Neumáticos radiales

Los neumáticos radiales tienen un ensamble de capas metálicas y/o textiles que van de un talón a otro y un cinturón constituido por capas de acero indeformable destinadas a reforzar la banda de rodamiento (Morales, 2020).

Este neumático presenta mejoras respecto de los neumáticos convencionales: (Cajavilca, 2015).

- a) La forma radial reduce el roce y el consumo de energía, mejora la adherencia y reduce el desgaste, mientras que sus capas de acero resisten mejor a las perforaciones
- b) La carcasa del neumático radial está integrada por capas metálicas que van desde un talón al otro. Esta estructura radial permite disociar el trabajo de la banda de rodadura con el de los flancos. La separación de las funciones proporciona al neumático mayores prestaciones.

Este tipo de construcción de neumático se denota por la letra R.

Por ende, el neumático radial permite obtener mayor adherencia al suelo, minimizando el deslizamiento y reduciendo la velocidad de desgaste. La banda de rodadura del neumático radial resiste mejor las agresiones y perforaciones, proporcionando a los flancos una mayor flexibilidad y seguridad (Morales, 2020).

Las diferencias entre los principales tipos de construcción de neumáticos se pueden apreciar en la Figura 9.



Figura 9: Diferencias entre neumáticos diagonales y radiales.

Por otro lado, se encuentran los **neumáticos macizos**, estos constan de un apilado de gomas y cauchos de distintas propiedades con el objetivo de proporcionar adherencia y tracción. En estricto rigor no son neumáticos, dado que no contiene aire. Estos presentan limitaciones en su uso intensivo debido al excesivo calentamiento de la goma, rápido desgaste y riesgo de deterioro al pasar por obstáculos. Es decir, el neumático macizo puede romperse (Morales, 2020).



2.2.2.1 Otras clasificaciones

Debido a la variedad de fabricantes y usos que existen para los neumáticos, los códigos alfanuméricos utilizados para identificar un neumático muchas veces se ven acompañados de otros dígitos o letras que complementan la clasificación.

Un típico código que acompaña a la clasificación corresponde al código internacionales que define el tipo de servicio para el cual está destinado el neumático. Este código está definido de acuerdo a la Tabla 6.

Tabla 6: Clasificación según uso de los neumáticos.

Código internacional según uso del neumático	
Código	Tipo de servicio
C	Compactor (Compactadora)
G	Grader (Motoniveladora)
E	Earthmoving (Transporte de material)
L	Loader and Dozer (Cargadores y Tractores)

Otros códigos que pueden acompañar a la clasificación pueden ser propios de los fabricantes como el tipo de goma o los diferentes diseños de las bandas de rodadura en términos de la profundidad de las cocadas o altura de las bandas de rodado. También los códigos pueden acompañarse de identificadores de cualidades que diferencien al neumático respecto a otros de su mismo tamaño.

2.3 Neumáticos en minería

En operaciones mineras a cielo abierto, los vehículos que consumen mayor cantidad de neumáticos son los camiones de extracción (CAEX), equipos encargados de transportar materiales desde los bancos del yacimiento hasta los diferentes destinos de la operación (Morales, 2020).

La camiones de extracción corresponden a los equipos mina con mayor unidades dentro de una operación minera de superficie, además, estos deben transportar material de alto tonelaje durante gran parte del día, esto los convierte en los equipos críticos para el consumo de neumáticos.



2.3.1 Camiones mineros

Los camiones mineros, también conocidos como camiones de extracción (CAEX) o camiones de acarreo de alto tonelaje, son el principal medio de transporte de los materiales extraídos en faenas mineras de cobre a cielo abierto.

En el segmento de camiones con capacidad de carga sobre 200 toneladas métricas, Caterpillar y Komatsu son las marcas con mayor presencia en la gran minería de Chile (COCHILCO, 2019 - 2021).

La denominación Ultra Class es internacionalmente utilizada para referirse a los camiones con capacidad de 320 toneladas cortas (290 toneladas métricas) o superiores.

Según el informe de análisis de insumos críticos para la minería del Cobre en Chile (COCHILCO, 2019 - 2021), los modelos de equipos sobre 200 toneladas que ofrecen las principales empresas proveedoras de camiones de extracción corresponden a los indicados en la Tabla 7.

Tabla 7: Modelos de camiones mineros. (COCHILCO, 2019 - 2021)

Modelos de camiones mineros Komatsu y Caterpillar		
Marca	Modelo	Capacidad de carga [ton]
CATERPILLAR	793F	227 - 240
	794 AC	291 - 305
	795F AC	326 - 340
	797F	363 – 375
	798 AC	380
KOMATSU	830E	222
	930E	292
	960E	327
	980E	363

A partir del detalle de importaciones de camiones de capacidad superior a 200 toneladas, construido por COCHILCO en base a información de ECOMEX (Thomson Reuters) (COCHILCO, 2019 - 2021). Es posible construir el gráfico de la Figura 10 que muestra cómo se han dividido las importaciones de camiones de extracción en los últimos 3 años entre las principales empresas proveedoras, Komatsu (Azul) y Caterpillar (Amarillo).

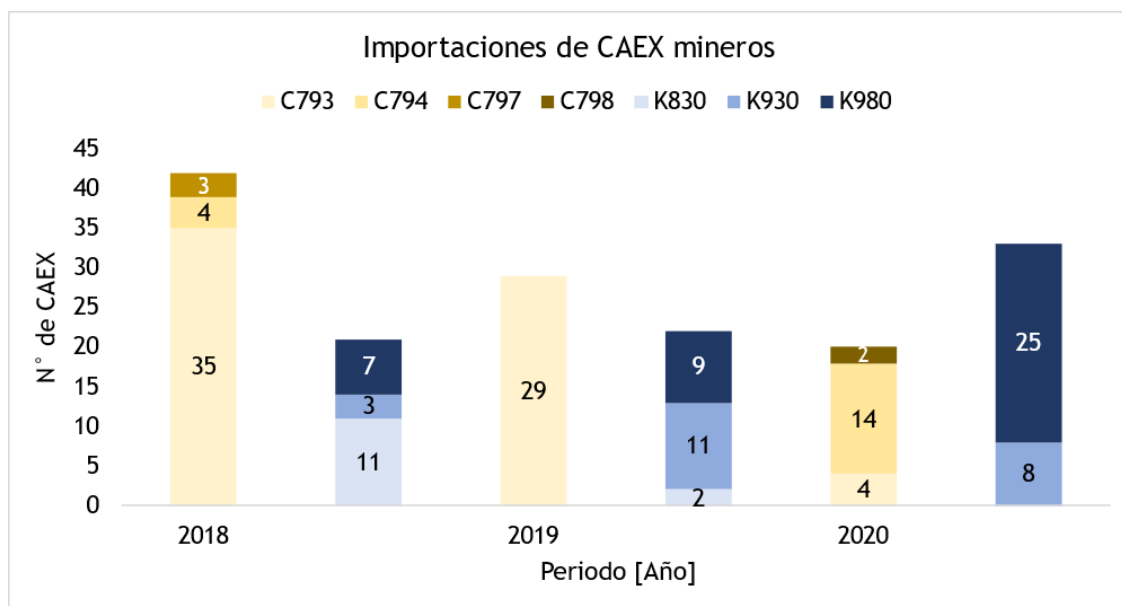


Figura 10: Importaciones de CAEX en Chile.

En 2018, del total de 63 camiones que ingresaron al país, 46 corresponden a camiones con capacidad de carga cercana a las 220 toneladas, con 35 unidades de modelos 793 por parte de Caterpillar y 11 unidades de modelos 830 por parte de Komatsu.

Por otro lado, en 2018 los modelos con capacidad de carga cercana a 300 toneladas alcanzaban las 7 unidades entre ambas marcas y los modelos con capacidad de carga superior a 360 toneladas alcanzaban 10 unidades entre 7 modelos Komatsu 980 y 3 modelos Caterpillar 797.

Diferente es el panorama en las importaciones del año 2020. Donde, del total de 53 camiones que ingresaron al país, 27 unidades corresponden a camiones con capacidad cercana a las 360 toneladas, de las cuales, 27 unidades son modelos 980 de la marca Komatsu y 2 modelos 798 de Caterpillar.

Mientras que, en el mismo año 2020, las importaciones de modelos con capacidad de carga de 220 toneladas disminuyeron a 4 unidades, concentrando las 22 unidades restantes en modelos con capacidad de carga cercana a las 300 toneladas.

Esta información permite verificar que las importaciones de camiones de extracción en Chile se concentran en 2 proveedores (Komatsu y Caterpillar). Además, los consumidores de CAEX han cambiado sus preferencias en los últimos años, desde modelos con capacidades de carga de 220 toneladas a modelos Ultra Class..



2.3.2 Modelo de gestión de tiempos

La norma de tiempo (norma ASARCO) corresponde al marco de referencia utilizado para la definición y distribución de los tiempos que usa un equipo durante la operación. Esta norma también se utiliza para monitorear los tiempos de los equipos de servicio (Morales, 2020).

El modelo tiene como objetivo capturar de manera correcta la imputación de los tiempos en la flota de equipos, describiendo los criterios y metodologías a utilizar para su correcta asignación, con foco en equipos de carguío, transporte y perforación, facilitando la transferencia de buenas prácticas (Morales, 2020). El modelo posee la estructura de la siguiente Figura 11.



Figura 11: Modelo ASARCO. (Morales, 2020).

Donde:

- a) **Tiempo nominal:** Tiempo total de la jornada.
- b) **Tiempo disponible:** Tiempo en que el equipo se encuentra mecánicamente habilitado para cumplir con su función de diseño.
- c) **Tiempo operativo:** Tiempo en que el equipo se encuentra mecánicamente habilitado, con operador y cumpliendo con las actividades asignadas asociadas a la operación.
- d) **Tiempo efectivo:** Tiempo en que el equipo se encuentra desarrollando las actividades asignadas, de acuerdo con su función de diseño y para las cuales ha sido adquirido por la compañía.



Esta norma además establece determinadas clasificaciones de tiempos que buscan reflejar la actividad operacional en la cual se encuentra el equipo, con el objetivo de poder gestionar de manera proactiva dichas actividades, optimizando su utilización y eficiencia operacional. (Morales, 2020).

Las definiciones de estas clasificaciones de tiempos son: (Morales, 2020).

- a) **Mantenimiento:** El equipo se encuentra fuera de servicio o no disponible, por una mantención programada o no programada.
 - a. **Mantención programada:** Actividades de mantención donde hay certeza del momento y la duración de estas. El traslado y entrega en el área de mantención se realiza con estado de demora no programada (traslado) y se cambiará el estado a mantención en el momento en que el equipo sea entregado al taller de mantenimiento. La entrega a operaciones y regreso al área mina se realiza en estado de demora no programada.
 - b. **Mantención no programada:** Se registra actividad de mantención no programada en el momento en que el equipo registre la alerta o falla y será imputado a las horas disponibles hasta la entrega a operación.
- b) **Reserva:** El equipo se encuentra mecánicamente apto para cumplir con su función de diseño, pero no tiene operador que lo utilice, no es requerido por la operación (sin asignación) o está bajo una condición específica por la cual no puede ser operado (factor climático).
- c) **Demoras:** Son capturadas en el momento en que se inicia la ejecución de la acción que interrumpe el ciclo de trabajo del equipo operado o en el momento en que se detecta la condición operacional que genera la ineficiencia e interrupción en el ciclo de trabajo.
 - a. **Demoras programadas:** El equipo no cumple su función de diseño, debido a actividades de las cuales se tiene certeza del momento y la duración de su ocurrencia.
 - b. **Demoras no programadas:** El equipo no puede cumplir su función de diseño, debido a actividades propias de la operación pero que no se tiene certeza del momento y la duración de su ocurrencia.
- d) **Perdidas Operacionales:** El equipo no cumple con su función de diseño debido a interferencias en su ciclo de trabajo ocasionadas por otro equipo o condiciones externas provenientes de la operación.



2.3.2.1 Índices de tiempos para equipos mineros

A continuación, se introducen los índices utilizados en las actividades de planificación minera para determinar los distintos tiempos de trabajo por los que pasa un equipo, entre ellos, tiempo disponible, operativo o efectivo (Morales, 2020).

- a) Disponibilidad Electromecánica:** Es el porcentaje de horas nominales en que la flota o el equipo estuvo en condiciones mecánicas y eléctricas disponibles para ser operado. Este índice establece el marco de referencia funcional que deberá enfrentar la operación.

$$\text{Disponibilidad (\%)} = \frac{\text{Tiempo Disponible [hr]}}{\text{Tiempo Nominal [hr]}} \times 100$$

- b) Utilización Operativa:** Porcentaje de horas disponibles en que la flota o el equipo se encuentra con operador y realizando actividades y cumpliendo actividades asignadas y asociadas a la operación.

$$\text{Utilización Operativa (\%)} = \frac{\text{Tiempo Operativo [hr]}}{\text{Tiempo Disponible [hr]}} \times 100$$

- c) Utilización Efectiva sobre Base Disponible (UEBD):** Porcentaje de horas en que la flota o el equipo se encuentra realizando su función de diseño. Este indicador provee información sobre la eficacia operacional del proceso.

$$\text{Utilización (\%)} = \frac{\text{Tiempo Efectivo [hr]}}{\text{Tiempo Disponible [hr]}} \times 100$$

- d) Factor Operacional:** Porcentaje de horas operativas en que la flota o el equipo se encuentra asignado y realizando actividades de acuerdo a su función de diseño y para la cual fue adquirido por la compañía.

$$\text{Utilización Efectiva (\%)} = \frac{\text{Tiempo Efectivo [hr]}}{\text{Tiempo Operativo [hr]}} \times 100$$



2.3.2.2 Neumáticos OTR

Se entenderá por neumático OTR (Off The Road), del inglés “fuera de carretera” a aquellos neumáticos contruidos para terrenos severos, donde no exista asfalto (Alvarado, 2019). De acuerdo a las condiciones de una operación minera de superficie, los CAEX deben utilizar neumáticos OTR.

Para el segmento de camiones del capítulo Camiones mineros se deben utilizar los neumáticos que especifican los proveedores. De acuerdo a COCHILCO, los principales neumáticos OTR utilizados en el país, corresponden a los indicados en la Tabla 8.

Tabla 8: Principales modelos de neumáticos importados a Chile. (COCHILCO, 2019 - 2021).

Principales tamaños de neumáticos en Chile	
Aro [Pulgada]	Tamaño
45	45/65 R45
49	27.00 R49
51	33.00 R51 ; 50/65 R51
57	37.00 R57 ; 42/90 R57 ; 40.00 R57 ; 46/90 R57 ; 50/80 R57 ; 53,5/85-57 ; 55/80 R57 ; 58/85-57 ; 60/80 R57 ; 70/70-57 ; Otros aros 57(*)
63	53/80 R63 ; 56/80 R63 ; 59/80 R63 ; Otros aros 63(*)

(*) Corresponden a importaciones cuyas descripciones no entregan mayores antecedentes sobre las características del neumático, solo el diámetro del aro.

Un neumático con el tamaño de 59/80 R63, fabricado para camiones de extracción con capacidad de carga de 360 toneladas, mide sobre 4 metros de diámetro, tiene un ancho de 1,5 metros y pesa alrededor de 5,5 toneladas. Dichos factores convierten a este tipo de neumáticos en los más grandes a nivel mundial (Horizonte Minero, 2019).

En la siguiente Figura 12 se puede ver la diferencia de tamaño entre un neumático de dimensiones 59/80 R63 y una persona junto a este.



Figura 12: Neumático minero OTR junto a una persona. (Horizonte Minero, 2019).

Cada camión minero utiliza 6 neumáticos OTR, 2 ubicados en el eje delantero y 4 ubicados en el eje trasero, las posiciones de las llantas en los ejes se identifican con números del 1 al 6 que van de izquierda a derecha, primero con el eje delantero y luego el eje trasero, tal como se muestra en la Figura 13.

La identificación numérica de las posiciones es fundamental para realizar la rotación de neumáticos, como también, para llevar un control de temperatura, presión y vida útil de estos (Blanco, 2016).



Figura 13: Posicionamiento de neumáticos OTR.

2.3.3 Mercado de neumáticos OTR

Al igual que los CAEX, los neumáticos OTR también están considerados dentro del análisis del mercado de insumos críticos en la minería del cobre, que realiza cada año COCHILCO. Para conocer el mercado de neumáticos en las compañías mineras del país, se toma como referencia la información contenida en los reportes emitidos por COCHILCO en los años 2019, 2020 y 2021.

Estos documentos estudian el mercado de los neumáticos OTR en base al valor de las importaciones que realiza cada empresa proveedora, tomando como unidades de medida los US\$ CIF, las unidades importadas según la dimensión del aro de los neumáticos y las toneladas de caucho equivalente de acuerdo con el peso promedio de los modelos.

Las toneladas y volúmenes importados cobran relevancia luego de la publicación en el Diario Oficial del decreto que establece las metas de recolección y valorización de neumáticos (Capítulo 1.2 Decreto Supremo asociado a neumáticos) que serán de cumplimiento obligatorio para los importadores de estos elementos (COCHILCO, 2019 - 2021).



De acuerdo con el portal de la aduana chilena, el valor CIF corresponde a la suma del valor del producto en el país de origen, más el costo por flete y los seguros involucrados hasta que el producto llegue a su punto de destino (Aduana de Chile, 2018). Esto se explica en la siguiente Figura 14.

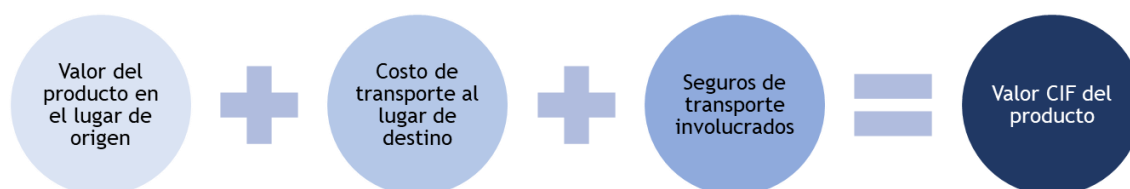


Figura 14: Componentes del valor CIF de las importaciones. (Aduana de Chile, 2018).

2.3.3.1 Valor de las importaciones

Comenzando con el valor de las importaciones, cabe destacar que Chile no cuenta con plantas para la fabricación de neumáticos de los tamaños citados en la Tabla 8, por lo que debe importar el 100% de ellos (COCHILCO, 2019 - 2021).

En cuanto al origen de los neumáticos, Estados Unidos y Japón representan en conjunto el 91% del valor total de las importaciones del año 2020, con 58% y 33% respectivamente. Complementa España con un 7% del valor total y Brasil con aportes del 2% a las importaciones de neumáticos OTR del mismo año (COCHILCO, 2019 - 2021).

Michelin y Bridgestone son los principales productores de neumáticos mineros OTR, representan el 54% y 42% del total de unidades importadas en el periodo 2015 – 2020 (COCHILCO, 2019 - 2021).

Tabla 9: Valor de las importaciones de neumáticos OTR. (COCHILCO, 2019 - 2021).

Millones de USD CIF en importaciones por empresas			
Periodo	2018	2019	2020
Resto	7.8	12.7	7.9
GoodYear	4.4	9.5	1.2
Bridgestone	108.2	123.4	108.2
Michelin	145.8	196.5	201.6
TOTAL	266.2	342.1	318.9



Según la información de la Tabla 9, en los últimos 3 años se mantiene la tendencia de alta participación por parte de Michelin (63,2%) y Bridgestone (33,9%), seguido de aporte menores al valor total de las importaciones por parte de Goodyear (0,4%) y el resto de las empresas (2,5%)

En el año 2020 las importaciones de neumáticos OTR alcanzaron los US\$ 319 millones, comparado con el año anterior, ocurrió una disminución del 7% respecto a los US\$ 342 millones del año 2019.

2.3.3.2 Dimensiones de neumáticos

Respecto al tamaño de los neumáticos, la evolución del número de neumáticos importados según el diámetro del aro, en los últimos 3 años, corresponde a la siguiente de la Figura 15.

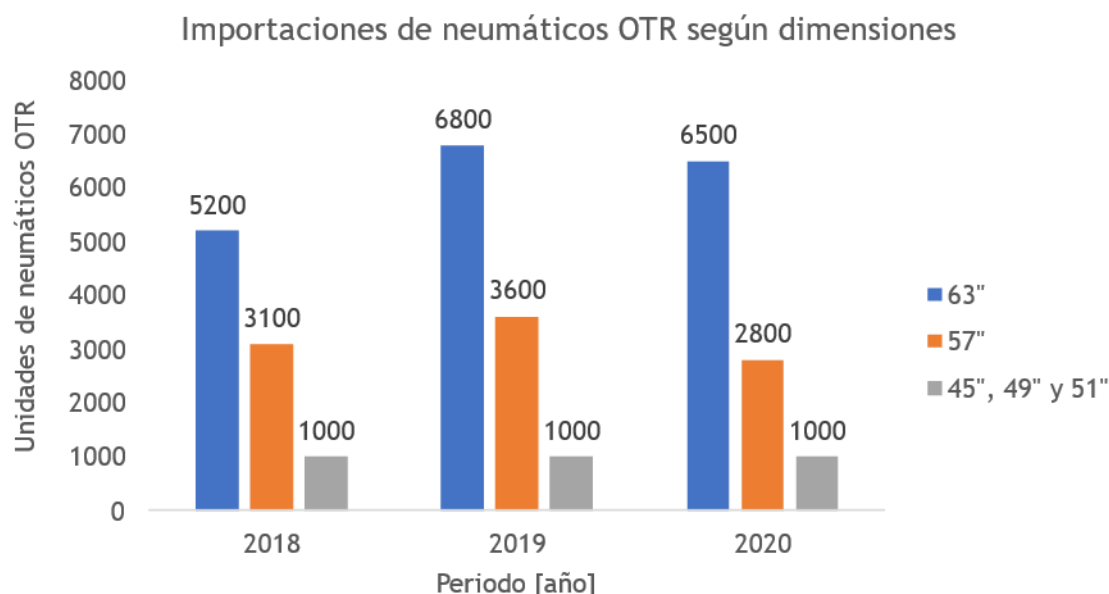


Figura 15: Neumáticos importados según dimensiones. (COCHILCO, 2019 - 2021).

Los neumáticos de 45", 49" y 51" perdieron presencia a partir del año 2014 y dicha situación se mantiene hasta el presente. Una situación diferente se observa con los neumáticos aro 63" cuyas importaciones superaron las 6.500 unidades en los años 2019 y 2020 (COCHILCO, 2019 - 2021).

Por otro lado, los neumáticos aro 57" respecto a los últimos 2 años registraron una caída cercana al 25% en las importaciones, alcanzando valores próximos a las 2.800 unidades en el año 2020 (COCHILCO, 2019 - 2021).



2.3.3.3 Toneladas de caucho equivalente

Otra forma de analizar las importaciones de neumáticos es mediante las toneladas de caucho contenidas en estos. Las toneladas de caucho equivalente que importa cada empresa se aproximan a partir del peso promedio de los modelos de neumáticos de la Tabla 8, información entregada por los proveedores (COCHILCO, 2019 - 2021). Los resultados se muestran en la siguiente Tabla 10.

Tabla 10: Toneladas equivalentes de caucho en importaciones de neumáticos OTR. (COCHILCO, 2019 - 2021).

Toneladas de caucho equivalente en importaciones de neumáticos OTR [Kton]			
Periodo	2018	2019	2020
Resto	0.7	1.2	0.7
Goodyear	0.6	1.0	0.2
Bridgestone	15.5	18.2	16.7
Michelin	22.5	28.5	27.2
TOTAL	39.2	48.9	44.7

En el periodo 2018 – 2020 se importaron aproximadamente 133 mil toneladas de caucho asociadas a modelos de neumáticos de la Tabla 8. En el último año, Michelin y Bridgestone concentran 98% de las toneladas de caucho importadas, estos valores entregan una visión de las metas que deberán valorizar los productores, de acuerdo a la ley REP (COCHILCO, 2019 - 2021).

2.3.3.4 Valor unitario de neumáticos OTR

Finalmente, el documento generado por COCHILCO permite conocer la variación del valor unitario de los modelos de neumáticos de acuerdo con el tamaño de aro, se destacan los valores de los neumáticos de aro 57” y 63”, los cuales en los últimos 3 años mantienen una leve tendencia alza.

Tabla 11: Precio unitario CIF de los neumáticos OTR. (COCHILCO, 2019 - 2021).

Precio unitario CIF de los neumáticos OTR en Chile [KU\$D]			
Periodo	2018	2019	2020
Aro 57”	27	28	29
Aro 63”	32	33	34



2.4 Uso y mantención de neumáticos OTR

Este capítulo se inicia con una mirada general en cuanto a la duración de vida útil de los neumáticos OTR en la industria minera regional. Luego, se identificarán los principales factores que influyen en la vida útil de estos componentes, las principales fallas y la identificación de buenas prácticas operacionales que promueva el rendimiento óptimo de los neumáticos OTR en minería.

2.4.1 Duración de los neumáticos OTR

Juan Ignacio Morales en su memoria “Aumento de vida útil de los neumáticos para la flota de transporte de Minera Centinela” en 2020 compara la vida útil de los neumáticos en Minera Centinela con otras operaciones mineras de la región (Morales, 2020).

Minera los Pelambres ubicada en la región de Coquimbo de la zona centro norte del Chile, tuvo una vida útil promedio de 7.500 horas para su flota de camiones Komatsu 930E (290 toneladas). Por otro lado, en 2016 John Blanco registra en su estudio de vida útil de neumáticos para camiones CAT 797 (360 toneladas) una duración de 5.500 horas en mina Toromocho, ubicada en la región de Chinalco de Perú (Blanco, 2016).

Los datos recopilados sobre duración de la vida útil de los neumáticos OTR en operaciones mineras de superficie ubicadas en Chile y Perú se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12: Duración de neumáticos OTR en operaciones mineras de superficie. (Morales, 2020).

Vida útil de neumáticos OTR en operaciones mineras de superficie			
Compañía	Equipo (Tonelaje)	Neumático (Dimensiones)	Duración (horas)
Minera Centinela	CAT 793	46/90 R57	6.542
Minera Centinela	KOM 930E	53/80 R57	5.010
Los Pelambres	KOM 930E	-	7.500
Minera Centinela	CAT 797	59/80 R63	4.578
Toromocho	CAT 797	59/80 R63	5.500



2.4.2 Factores que influyen en la duración de los neumáticos

Para entender cuáles son los factores que influyen en la duración de los neumáticos OTR se deben entender las exigencias a las cuales serán sometidos estos componentes, entre las cuales se encuentran: (Blanco, 2016).

- a) Resistencia al deterioro o desgaste.
- b) Resistencia a los choques, cortes y separaciones.
- c) Resistencia al calentamiento.
- d) Resistencia a la carga.
- e) Resistencia a la velocidad.
- f) Resistencia a la rodadura (adherencia, tracción).
- g) Características de la ruta (confort).
- h) Mantenimiento del equipo (alineación, estabilidad, conducción).
- i) Reparaciones, recauchaje.

A continuación, se detallan algunas de las principales causas que influyen en los factores que disminuyen la duración de la vida útil de los neumáticos OTR en las operaciones mineras, indicando algunas buenas prácticas que evitan que estas situaciones ocurran.

2.4.2.1 Deterioro o desgaste acelerado

Los principales causas del deterioro acelerado de los neumáticos mineros son: (Morales, 2020).

- a) **Inflado insuficiente:** provoca un incremento en la flexión del neumático, que deriva en un aumento de la temperatura interna de este.
- b) **Sobre inflado:** Logra un desgaste prematuro de la banda de rodamiento y mayor sensibilidad a los choques y cortes.
- c) **Sobre carga:** Deriva en un desgaste prematuro de la banda de rodamiento, sensibilización de los flancos e incremento de la flexión del neumático, provocando un aumento en la temperatura interna de este.
- d) **Velocidad excesiva:** provoca aumento en la temperatura interna del neumático y desgaste excesivo de la banda de rodamiento.

También se puede presentar la combinación de los elementos descritos anteriormente. Además, los daños pueden agravarse o producirse debido a fuerzas mecánicas generadas por: (Morales, 2020).



- a) Choques importantes.
- b) Fuerzas laterales que aparecen en las curvas de muy bajo radio.
- c) Choques con suelos mal mantenidos.
- d) Martilleo debido al estado de la superficie del suelo.

2.4.2.2 Cortes y separaciones

Una de las causas más frecuentes por la cual se desecha un neumático corresponde a las separaciones o cortes, falla que además provoca que el neumático sea desechado antes de llegar a su vida útil. 80% de estos daños se producen en la banda de rodamiento, mientras que el 20% restante se produce en los flacos y hombros del neumático (Cajavilca, 2015).

Básicamente existen tres tipos de separaciones: (Cajavilca, 2015)

- a) **Separación por corte:** Generalmente es ocasionada por rocas que abren la banda de rodadura permitiendo el ingreso de agua o polvo, oxidando los cables de acero internos del neumático. En un inicio esta separación es localizada, pero el rodaje puede llegar a separar grandes secciones del neumático. Se representa en la Figura 16.



Figura 16: Neumático con corte en la banda de rodamiento. (Morales, 2020).

- b) **Separación por calor:** Ocasionado por el exceso de velocidad del equipo de transporte. Los neumáticos mineros OTR son diseñados para soportar carga, más no velocidad. Por lo tanto, el exceso de velocidad tiene mayor influencia en la temperatura interna del neumático que el exceso de carga.



Los retornos de los camiones descargados no deben exceder los límites de velocidad para no perjudicar la capacidad de disipación del calor de los neumáticos. Esto se manifiesta con olor a quemado y separaciones en la banda de rodamiento. Se muestra un ejemplo de separación por calor en la Figura 17.



Figura 17: Neumático con separación por calor. (Morales, 2020).

- c) **Separación por esfuerzo (separación mecánica):** Ocasionada por sobrecarga, cargas descentradas y/o maniobras indebidas como curvas cerradas o ingresos a botaderos a alta velocidad. Esto origina que el neumático no pueda soportar los esfuerzos aplicados sobre él y se rompen los cables internos de acero a la altura del hombro, creando protuberancias visibles. Por este motivo se pierden muchos neumáticos con alta cocada sin alcanzar su vida útil. Se muestra un resultado de separación mecánica en la Figura 18.



Figura 18: Neumático con separación mecánica. (Morales, 2020).

2.4.2.3 Presión de inflado

Lograr la presión adecuada y asegurar su conservación durante el rodaje son vitales para optimizar el servicio prestado por el neumático y la longevidad de este (Morales, 2020). Respecto a la presión de inflado, existen 2 situaciones que se deben evitar: (Blanco, 2016)

a) Presión insuficiente: Produce valores más elevados de compresión en la estructura del neumático, aumento en el roce de los elementos internos y sobrecalentamiento de todo el neumático. Provoca un desgaste más rápido e irregular, ya que cambia la distribución de la presión específica en el suelo, como se ve en la Figura 19.

La presión insuficiente también modifica la capacidad del neumático para oponerse a las fuerzas externas que alteran la trayectoria definida, haciendo que el control del vehículo sea más difícil.

b) Presión excesiva: Provoca un desgaste rápido e irregular con mecanismos análogos al caso de la presión insuficiente, este caso no produce sobrecalentamiento.

El exceso de presión, además de provocar menor confort en la conducción, puede influir en el control del vehículo ya que modifica la capacidad del neumático para absorber las asperezas de la vía y reduce la porción de la banda de rodadura que ejerce presión sobre el suelo, como se ve en la Figura 19.

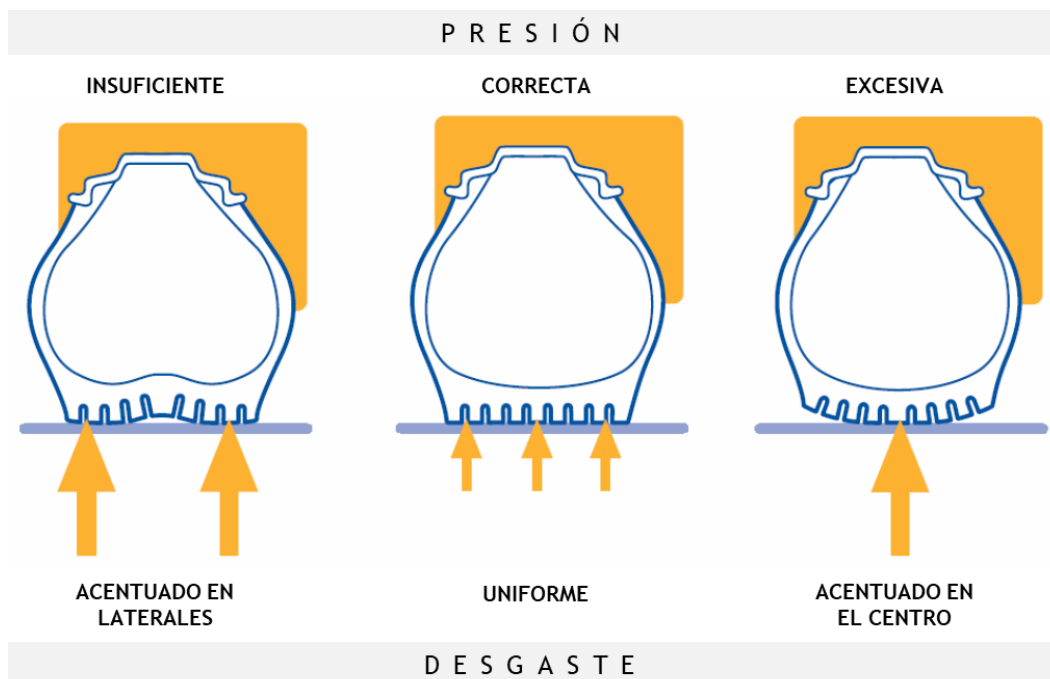


Figura 19: Diferencia en desgaste del neumático según la presión de inflado.



2.4.2.4 Temperatura interna del neumático

Cuando un neumático se mantiene rodando, se calienta debido a: (Morales, 2020).

- a) El trabajo que efectúa.
- b) El calentamiento de los tambores de freno o los reductores de revoluciones (componentes del funcionamiento de las ruedas del camión)

La temperatura interna crítica del aire en un neumático es el límite a partir del cual existe un peligro para la operación del neumático. En ausencia de fuentes térmicas exteriores.

La temperatura crítica se alcanza cuando el aire en el interior del neumático llega a 80 °C, este valor siempre es menor a la temperatura interna del propio neumático. Cuando la temperatura alcanza estos valores se debe comprobar si la elevación no ocurre de tal manera que perjudique excesivamente al neumático (Alvarado, 2019).

2.4.2.5 Sobrecarga

Es posible encontrar una sobrecarga en los neumáticos, esta puede ser por la naturaleza y el estado del material transportado o por la forma en que se efectúa la carga (Morales, 2020).

Se debe respetar la carga máxima del equipo y la distribución de la carga en la tolva, una mala distribución de carga como se ve en la Figura 20, puede provocar que los neumáticos de un lado presenten sobrecarga, afectando en el rendimiento de estos (Alvarado, 2019).

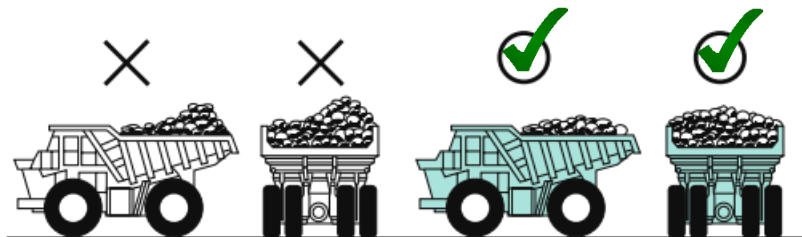


Figura 20: Distribución de carga en la tolva del camión. (Alvarado, 2019).

Para obtener cargas centradas se debe contar con una buena fragmentación post tronadura, se recomienda no cargar rocas demasiado grandes en las tolvas de camiones (Morales, 2020).



2.4.2.6 Conducción de la maquina

La manera de conducir la maquina influirá en la duración de los neumáticos OTR, la frecuencia de los siguientes eventos tendrá repercusiones en el desempeño de estos componentes: (Morales, 2020).

- a) Frenazos bruscos y repetitivos.
- b) Bruscas aceleraciones.
- c) Curvas tomadas a gran velocidad.
- d) Patinazos de las ruedas motrices.

2.4.2.7 Trazado y mantenimiento de las pistas

El perfil longitudinal y transversal de las pistas, la forma y el trazado de las curvas, así como la inclinación de las pendientes, tienen una importancia significativa en la sobrecarga dinámica en los neumáticos, favoreciendo la separación de la banda de rodamiento de la carcasa (Blanco, 2016).

Una pista inclinada, en línea recta o en curva que cuente con peralte, incrementará de forma significativa la carga soportada por los neumáticos situados en el lado contrario al peralte (Blanco, 2016). La pendiente de las pistas no debe exceder el 10% y la inclinación no debe ser superior al 3%, como se indica en la Figura 21 (Alvarado, 2019).

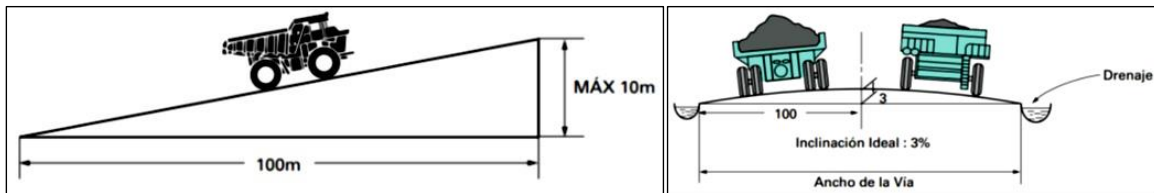


Figura 21: Restricciones de diseño de las pistas. (Alvarado, 2019).

Un mantenimiento regular de las pistas, la limpieza y el retiro de cualquier obstáculo en las áreas de carga y descarga mantiene a los neumáticos fuera de accidentes tales como choques, cortes o perforaciones. También se debe tener en cuenta el regado constante de las vías, la nivelación y relleno de agujeros, la compactación en superficies blandas y la limpieza de zonas lodosas (Alvarado, 2019).

Cualquier cambios en las condiciones de las pistas pueden hacer inadecuado a un neumático que hasta entonces había dado resultados satisfactorios (Blanco, 2016).



2.4.2.8 Duración y longitud de los ciclos

Ciclos largos, sobre todo en pistas acondicionadas, favorecen velocidades excesivas y elevan la temperatura interna de los neumáticos, lo mismo puede ocurrir cuando el tiempo de rodaje es mucho mayor que el tiempo de reposo del vehículo (Morales, 2020).

2.4.2.9 Exceso de velocidad

El exceso de velocidad en tramos continuos es el principal causante del aumento de trabajo por parte de los neumáticos OTR, elevar la temperatura interna de estos provoca separaciones ocasionadas por calor (Alvarado, 2019).

Por otro lado, el exceso de velocidad ocasiona fenómenos en la conducción como frenazos repentinos, virajes cerrados o bruscos y choques con obstáculos en el camino, provocando desgaste irregular y daños que reducen la vida útil del neumático (Alvarado, 2019).

2.4.2.10 Influencia de las condiciones climáticas

La temperatura y humedad del sector influirá en como el neumático soporta las condiciones de uso. Los ambientes secos que además presentan altas temperaturas promueven el aumento en la temperatura interna del neumático (Morales, 2020).

2.4.2.11 Mantenimiento mecánico de los vehículos

El mal estado mecánico de los camiones puede influir en la duración de vida de los neumáticos, como ejemplo, se deben evitar las siguientes situaciones: (Morales, 2020).

- a) Frenos defectuosos hacen que se caliente excesivamente las ruedas metálicas y por lo tanto los neumáticos.
- b) Un paralelismo incorrecto de las ruedas directrices de los camiones de extracción.
- c) Holgura en las mangueras, rotulas, pivotes, etc.

En los dos últimos casos, los neumáticos de un mismo eje ya no estarán en paralelo y no rodarán sobre el suelo, más bien resbalarán por encima, provocando un desgaste anormalmente más rápido.



2.4.2.12 Posición de los neumáticos en el camión

Los neumáticos montados sobre ruedas motrices tendrán una duración por desgaste inferior en un 25% en comparación con los montados sobre ruedas directrices. (Morales, 2020)

Se recomienda utilizar una estrategia de rotación de neumáticos que asegure que estos se realicen por desgaste relacionado a su posición y a las horas de rodado, esto permitirá un adecuado abastecimiento en base a proyecciones de consumo que resulten del modelo de rotación de neumáticos (Blanco, 2016).

Se deben realizar mediciones de altura de las cocadas de neumáticos y horas de rodado para mantener un inventario activo del desgaste de los neumáticos en uso. También se debe mantener un inventario del stock que considere neumáticos nuevos, usados, reparados y disponibles (Blanco, 2016).

2.4.2.13 Diferencia entre los diámetros de los neumáticos montados

Tener neumáticos con diferente diámetro de un conjunto de ruedas gemelas (doble rueda de eje trasero), entre ruedas del eje delantero o entre ambos ejes, genera un desgaste más rápido e irregular del conjunto de neumáticos (Morales, 2020).

Se conoce como gemelado al acto de montar dos neumáticos de la misma dimensión, tamaño y nivel de desgaste para duplicar la capacidad de estos, los neumáticos gemelados se comportan como uno solo (Alvarado, 2019).

2.4.2.14 Reparación de neumáticos

El neumático durante su vida útil sufre cortes por las condiciones de la vía o en pisos de carga o descarga. Es necesario la evaluación constante de los cortes, para actuar antes de que se dañe la estructura del neumático y se reviente. La reparación preventiva ayudará a recuperar el neumático antes que ocurra una falla que termine con su vida útil (Alvarado, 2019).

Proceder a una reparación preventiva es más atractivo desde el punto de vista económico. De agravarse los daños se corre el riesgo de perder el neumático completo y la compra de uno nuevo o con poco uso, tendrá un costo más alto que la reparación o el recauchaje preventivo (Alvarado, 2019).



2.5 TKPH o TMPH

El TKPH (tonelaje, kilómetro por hora) o TMPH (tonelada, milla por hora), es una característica para determinar la capacidad máxima de trabajo que puede soportar un neumático, de forma segura y efectiva en condiciones de operación, sin sobrecalentarse. Estos valores están en función de la carga por cada unidad de neumático y del número de kilómetros (o millas) permitidos en una hora (Cajavilca, 2015).

Esta característica depende de la confección del neumático y varía según las dimensiones y los tipos de gomas utilizados. Los valores de TKPH o TMPH, cuando no se indique lo contrario, estarán establecidos para una temperatura ambiente de 38 °C (100 °F), reconocido como el caso menos favorable, el TKPH nominal figuran en las características propias de los neumáticos (Blanco, 2016).

Para este trabajo de título se utilizará como unidad el TKPH. Sin embargo, la relación que permite pasar de TKPH a TMPH es:

$$TMPH = TKPH \times 0,685$$

Para el cálculo de TMPH se emplea la “tonelada corta” que equivale a 2000 libras, es decir aproximadamente 907 kilogramos.

2.5.1 TKPH operacional

Esta unidad define la capacidad que necesita el neumático para cumplir con los ciclos de trabajo de la operación minera y se obtiene a partir de la siguiente relación: (Blanco, 2016).

$$TKPH_{operacional} = Q_m \times V_m$$

Donde:

Q_m : Carga media por neumático.

V_m : Velocidad media de un ciclo en kilómetros por hora.

2.5.1.1 Carga media por neumático (Q_m)

El valor de carga media por neumático se obtiene por la relación: (Blanco, 2016).

$$Q_m = \frac{(Q_c + Q_v)}{2}$$



Donde:

- a) Q_c : Peso por neumático con el vehículo cargado, en toneladas.
- b) Q_v : Peso por neumático con el vehículo descargado, en toneladas.

El cálculo de carga media (Q_m) deberá efectuarse teóricamente para cada neumático. En la práctica se supondrá que cada neumático de un mismo eje lleva la misma carga. En consecuencia, el cálculo será efectuado tanto para el eje delantero como para el eje trasero, donde se utilizará el valor más elevado de carga media para el cálculo de TKPH (Blanco, 2016).

Para equipos cargados o descargados, los neumáticos de ejes delanteros deberán soportar mayor carga, debido a que este eje contiene solo 2 neumáticos, mientras que la carga del eje trasero es soportada por 4 neumáticos.

2.5.1.2 Velocidad media del ciclo de referencia (V_m)

El valor de velocidad media del ciclo de referencia se obtiene por la relación: (Blanco, 2016).

$$V_m = \frac{L}{H}$$

Donde:

- a) L : Longitud del ciclo en kilómetros, el ciclo de referencia debe ser aquel donde la velocidad media es la más elevada.
- b) H : Duración del ciclo de referencia en horas.

2.5.1.3 TKPH nominal vs TKPH operacional

Con estos factores y ecuaciones antes mencionadas se obtendrá el valor de TKPH de referencia para un ciclo de la operación, el cual debe ser comparado con el valor de TKPH indicado en las características del neumático, o también llamado TKPH nominal (Blanco, 2016), donde:

- a) Si el TKPH nominal *es mayor* al TKPH operacional, el neumático es apto para operar en el ciclo de referencia.
- b) Si el TKPH nominal *es menor* al TKPH operacional, el neumático no es apto para operar en el ciclo de referencia.



Cabe destacar que los proveedores de neumáticos utilizan sus propias metodologías para calcular el TKPH operacional y comparar este valor con las características de su oferta de neumáticos, donde generalmente el TKPH nominal se relaciona con el tipo de goma utilizado para su confección.

2.6 Valorización de neumáticos mineros

Existen varios métodos de valorización de los NFU que se clasifican en tres familias principales, estas son, la utilización directa del neumático, los tratamientos mecánicos y los tratamientos térmicos.

A continuación, se detalla cada una de estas familias, destacando las ventajas y desventajas de los métodos que contienen, como también las posibles aplicaciones de cada caso (Tirel, 2017).

2.6.1 Reutilización

La reutilización del neumático es la primera opción antes de optar por dejarlo fuera de uso para ser desechado, triturado o valorizado energéticamente. Las principales alternativas para reutilizar un neumático son el recauchaje y la utilización directa del neumático para cumplir otra función.

2.6.1.1 Recauchaje

El recauchaje consiste en reacondicionar un neumático que ha sido dañado en su banda de rodadura, aprovechando su estructura interna de acero y fibras textiles que no ha sido dañada (denominada carcasa) y reemplazando la banda de rodadura y prolongando la vida útil del neumático (Cortez, 2018).

El recauchaje o también conocido como recauchutaje se puede realizar solo reemplazando la banda de rodadura o también puede incluir un reemplazo de los flancos del neumático.

2.6.1.2 Utilización directa del neumático

La idea de este método es aprovechar la estructura y las propiedades del neumático como objeto para cumplir ciertas funciones, sin tratamiento previo, o solamente con una limpieza superficial. El neumático entero (o casi entero) se puede ocupar para construir barreras de protección en circuitos de seguridad, reductores de altura de ola, muros de contención, entre otros (Tirel, 2017).

En la siguiente Figura 22 se muestran algunos ejemplos que tiene la utilización directa del neumático:



Figura 22: Ejemplos de utilización directa del neumático. (Tirel, 2017).

2.6.2 Tratamiento mecánico, la trituración

Este proceso consiste en moler el neumático para obtener un polvo de caucho o un material granulado destinado para diversos usos. Existen dos alternativas para realizar este proceso, la trituración mecánica a temperatura ambiente y la trituración criogénica.

2.6.2.1 Trituración mecánica a temperatura ambiente

Corresponde al método con mayor facilidad de instalación. Se habla de temperatura ambiente porque todas las operaciones se efectúan sin ningún tipo de refrigerante externo. Una planta típica de trituración mecánica a temperatura ambiente cuenta con varias etapas de molinos y granuladoras hasta obtener copos de tamaños cercanos a 1 centímetro (Tirel, 2017).

Después de la etapa de granulación, se extrae el acero de forma magnética y la fibra con la utilización de tamices (Cortez, 2018). Estos copos gruesos pueden utilizarse en aplicaciones civiles, por ejemplo, como material para mejorar la capacidad de amortiguación del hormigón.



En general se requiere disminuir el tamaño, los copos pasan sucesivamente por granuladoras secundarias, molinos de cuchillas de alta velocidad y maquinas extrusoras (o peletizadoras). Se obtienen en general un rango de tamaño entre 0,6 y 4 milímetros, según el tipo de maquina y la cantidad de procesos (Tirel, 2017).

Algunas plantas de trituración tienen una etapa previa en la cual se saca la fibra y el acero del neumático, así se evita la fase de filtración y separación magnética luego de la granulación (Cortez, 2018).

Algunas de las ventajas que presenta este método de trituración: (Tirel, 2017)

- a) Es una tecnología bien desarrollada a nivel industrial, por lo cual es bastante fácil de implementar.
- b) Se presenta en forma modular, cada maquina trituradora siendo independiente, se puede agregar otra maquina según las necesidades.
- c) No genera residuos peligrosos
- d) Se aprovecha todo el material, en la medida de que se recupera en forma separada el caucho, el acero y la fibra.

Por otro lado, esta tecnología presenta las siguientes desventajas: (Tirel, 2017)

- a) Trabaja a alta temperatura. De hecho, para obtener los gránulos más pequeños, las maquinas pueden alcanzar temperaturas cercanas a 100 °C. Esto provoca a la vez una alteración de las propiedades del caucho y un desgaste prematuro de las maquinas. Este desgaste implica la necesidad de una inversión importante en mantenimiento de los equipos.
- b) Alto consumo de energía.

2.6.2.2 Trituración criogénica

Este proceso consiste en llevar el neumático o los granulados de caucho a menor temperatura, para reducir su tamaño utilizando martillos. Con las bajas temperaturas, el caucho se vuelve frágil y se necesita una energía menor para reducir el neumático a material granulado (Tirel, 2017).

Las principales ventajas de este proceso son la facilidad de reducción de tamaño y la separación de los tres tipos de granulados luego de la trituración (acero, fibra y caucho). Además, no se necesitan tantas etapas como en la trituración a temperatura ambiente, de hecho, este proceso consume menos energía, ya que solo hay dos equipos principales (Tirel, 2017).



Primero, el túnel de refrigeración que enfría el neumático entero (o en forma de gránulos) y segundo, la maquina trituradora que puede tener la capacidad de reducir hasta un polvo de caucho con partículas de tamaño del orden de 10 micrómetros (Tirel, 2017).

La capacidad de la trituración criogénica se define por la capacidad conjunta del túnel de refrigeración y de la maquina trituradora.

En cambio, la principal desventaja de este método es la necesidad de ocupar un fluido refrigerante como el nitrógeno líquido, el cual encarece la inversión y el mantenimiento global de la planta. De hecho, los equipos son más complejos y es necesario comprar refrigerante regularmente. Este insumo permite trabajar a temperaturas cerca de -100°C (Tirel, 2017).

2.6.2.3 Aplicaciones de los productos obtenidos

Ambos procesos de trituración, a parte del caucho, generan copos de acero y fibra. El acero obtenido se puede ocupar de forma directa como refuerzo para el hormigón, o fundirlo y reciclarlo en diferentes rubros. Por otro lado, la fibra se puede utilizar como material de combustión o en aplicaciones de ingeniería civil aprovechando sus propiedades de aislación acústica (Tirel, 2017).

En cuanto al caucho, existen varias aplicaciones según el tamaño del producto que sale de la trituración. Los copos de un tamaño inferior a 30 centímetros se pueden mezclar al cemento para mejorar sus propiedades de amortiguación sísmica y acústica (Tirel, 2017).

Los gránulos del orden del milímetro pueden ser usados como aditivo al asfalto para mejorar sus propiedades a menor costo, o pueden servir a la producción de suelos sintéticos, por ejemplo, para pistas de atletismo, gimnasios, hospitales, entre otros (Tirel, 2017).

Ambos productos obtenidos hasta ahora, copos y gránulos de caucho también pueden ser utilizados como material de combustión.

Finalmente, el polvo de caucho de un tamaño cercano a 10 micrómetros, obtenido luego de la trituración criogénica, se puede mezclar con algunos termoplásticos para producir nuevas piezas de plástico sin alterar las propiedades mínimas y bajando su costo de producción (Tirel, 2017).

En la siguiente Tabla 13 se muestra un resumen del tipo de aplicaciones que existen para los granulados de caucho según su tamaño.



Tabla 13: Clasificación de tamaño de caucho triturado y ejemplos de aplicación. (Tirel, 2017).

Aplicaciones del caucho triturado de un NFU según tamaño		
Producto	Tamaño	Aplicaciones
Copo	$\approx 1 \text{ cm}$	- Mejora las propiedades de amortiguación del hormigón - Aplicaciones en ingeniería civil - Materia prima para pirolisis - Combustible sólido
Gránulo	$\approx 1 \text{ mm}$	- Aditivo para asfalto - Pasto y suelos sintéticos - Aislante acústico - Materia prima para pirolisis
Polvo	$\approx 10 \mu\text{m}$	- Aditivo para piezas de plástico - Materia prima para neumáticos de alta calidad

2.6.3 Tratamiento térmico

El tratamiento térmico (o termoquímico) consiste en tomar el NFU entero o cortado para elevar la temperatura y generar materias primas y/o calor, de acuerdo al proceso. Existen tres tipos de tratamientos térmicos, la incineración, la pirolisis y la gasificación.

2.6.3.1 Incineración

La incineración consiste en quemar el neumático para aprovechar su potencial calorífico. Es el tratamiento más simple ya que no se trata el neumático previamente. Sin embargo, esta técnica es poco utilizada ya que, por la composición del neumático, la combustión libera gases peligrosos que hacen necesario invertir en sistemas de filtración (Tirel, 2017).

Esta técnica se utilizó en las cementeras, ya que la combustión de neumáticos mejora las características del hormigón, disminuye el costo de combustible asociado y no afecta las emisiones de gases de manera significativa, en comparación con un combustible tradicional (Tirel, 2017).

2.6.3.2 Pirolisis

Es un proceso endotérmico que induce la descomposición del material en una atmosfera sin oxígeno. El calor se transfiere de forma indirecta a través de las paredes del reactor donde se encuentra el material. Se eleva la temperatura por sobre los $400 \text{ }^{\circ}\text{C}$ para provocar la generación de los siguientes productos (Tirel, 2017).



- a) Gases no condensables, o gas de síntesis.
- b) Gases condensables, con los cuales se puede producir combustible líquido.
- c) Negro de humo, que es el residuo sólido.

Los gases no condensables se suelen quemar para proveer el calor suficiente al proceso. El combustible se recupera, se refina y se puede mezclar a un diésel para utilizarlo en un motor de combustión interna. Este nuevo combustible obtiene un menor rendimiento del motor, pero mejora la calidad de las emisiones (Tirel, 2017).

El negro de humo está utilizado en la producción de caucho, de tinta y como aditivo en la producción de varios plásticos. Además, se está demostrando la factibilidad de que sus propiedades sirvan para la producción de diferentes artículos con interés comercial. Por ejemplo, para la producción de ánodos para las baterías de sodio (Tirel, 2017).

De forma general, se puede decir que la fracción gaseosa consiste en un 60% del peso inicial de caucho y la fracción sólida en un 40%. Esas proporciones pueden variar según las condiciones en que se realiza la pirolisis. En total, los factores importantes de la pirolisis son: (Tirel, 2017).

- a) Temperatura.
- b) Presión.
- c) Gradiente de temperatura.
- d) Tamaño de las partículas.
- e) Tiempo de permanencia dentro del reactor.

Al variar los valores de estos factores, se puede influir sobre la composición de los productos finales de la pirolisis, tanto en su proporción como en su calidad. Teniendo tantos grados de libertad para ejecutar una pirolisis, existe una amplia gama de tecnologías de reactores, los cuales se diferencian por la velocidad de reacción, la capacidad, la forma de hacer pirolisis (continua, semi continua o por lote) y por los productos que se pueden recolectar luego del proceso (Tirel, 2017).

La pirolisis lenta favorece la producción de residuo sólido y la pirolisis rápida favorece la producción de líquido. Del punto de vista industrial, los reactores con horno giratorio y reactores de lecho fluidizado son los más relevantes, ya que pueden tratar material de forma continua y en cantidades importantes, del orden de una tonelada por hora (Cortez, 2018).

Esta tecnología se puede adaptar de manera precisa según las necesidades requeridas. Entre las principales ventajas de la pirolisis, se destacan: (Tirel, 2017).



- a) El proceso se limita a las emisiones de gases corrosivos y metales pesados ya que los retiene en forma de residuos sólidos.
- b) El azufre se concentra en la parte sólida, por lo que los combustibles gaseosos y líquidos tienen poco contenido de azufre.
- c) Los combustibles obtenidos mediante pirolisis generan menos emisiones contaminantes que la combustión de un neumático entero.
- d) El carbono se concentra en la parte sólida del residuo (negro de humo), por lo que el combustible obtenido mediante pirolisis genera menos CO_2 que los combustibles fósiles tradicionales.
- e) Si el negro de humo obtenido por pirolisis se logra utilizar en la producción de caucho, se ahorra la generación de CO_2 asociada a la producción industrial de negro de humo.

Por otro lado, el proceso de pirolisis presenta los siguientes límites: (Tirel, 2017).

- a) Tener una temperatura uniforme dentro del reactor es un desafío técnico importante.
- b) En general, se necesita refinar los combustibles antes de poder usarlos.

2.6.3.3 Gasificación

Es un proceso parecido a la pirolisis, su objetivo es obtener un gas a partir del neumático elevando la temperatura. La principal diferencia es que la reacción se produce en presencia de oxígeno, hidrógeno o vapor de agua. Al final, de la gasificación solo se obtiene como producto un combustible gaseoso (Tirel, 2017).

Las ventajas y desventajas son similares, la elección entre pirolisis y gasificación depende esencialmente del tipo de producto que se desea obtener a la salida del proceso. Sin embargo, la gasificación puede ser mucho más contaminante.

2.6.4 Ciclo de valorización de NFU

A continuación, en la Figura 23 se presenta un esquema ejemplo que detalla el ciclo de reciclaje de un NFU.

Cuando falla un neumático, la primera opción es chequear su condición para corroborar si se puede renovar con recauchaje y que el neumático vuelva a cumplir su función inicial, si no es el caso, se considera como NFU (neumático fuera de uso) y entra en el ciclo de reciclaje, es decir, reutilización directa, tratamientos mecánicos o tratamientos térmicos.

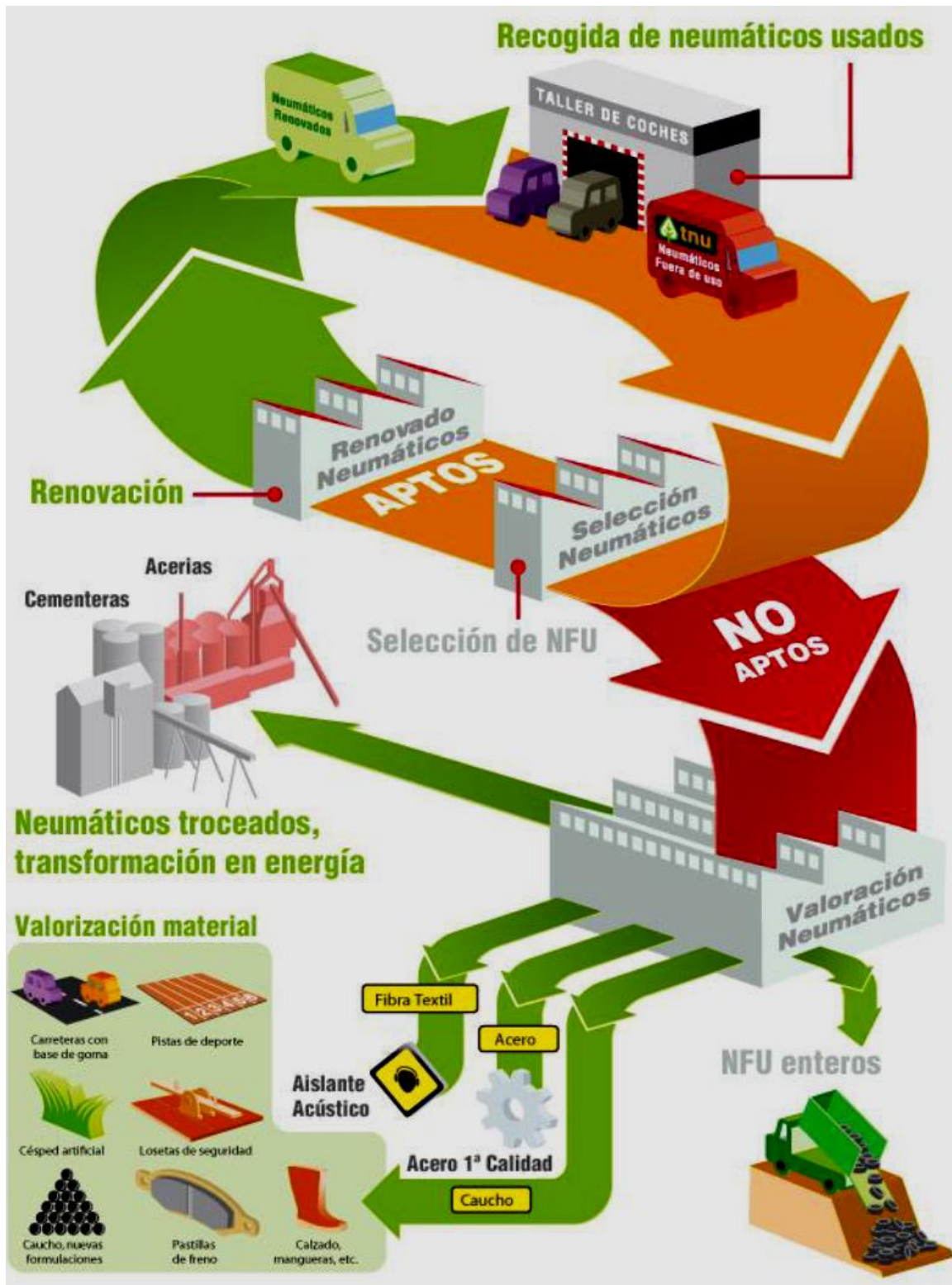


Figura 23: Ciclo de valorización de NFU. (Tirel, 2017).



3 Desarrollo de propuesta metodológica

El desarrollo de este trabajo de título comienza con estimar el número de neumáticos OTR que mantienen en circulación, por cada año, las principales operaciones mineras de superficie del país, comenzando por clasificarlas según tamaño de acuerdo con la producción de cobre publicada para el año 2021 (Consejo Minero, 2022).

Esta clasificación se utilizará para aproximar el número de camiones de extracción que trabajan en un yacimiento, según la magnitud de su operación.

En base a la duración de la vida útil de un neumático OTR y las horas trabajadas de un camión de extracción, se estimará cuantos neumáticos consumen las principales operaciones nacionales del país, de acuerdo con su tamaño. Para contrastar este valor se utilizará el número de neumáticos OTR ingresados al país en el año 2021 (COCHILCO, 2019 - 2021).

Por lo tanto, las iteraciones en el número de camiones que representará a las clases de operaciones mineras, de acuerdo con la clasificación, serán claves para llegar a un valor cercano al publicado por COCHILCO.

Posteriormente, se evaluará si las capacidades de los distintos métodos de valorización de neumáticos son compatibles con el desecho de las diferentes operaciones mineras, de acuerdo con su tamaño, determinando en qué casos será posible aplicar cada uno de los métodos.

Luego, se identificarán las principales actividades que componen el actual manejo de residuos de neumáticos OTR en las operaciones mineras de superficie, para realizar un análisis de brechas y proponer un ciclo de actividades que actualice este proceso y se ajuste a las nuevas imposiciones de la ley REP.

Finalmente, se creará una metodología para que las operaciones mineras de superficie adapten su gestión actual de neumáticos al ciclo de actividades propuesto, considerando el tamaño de la operación, la estimación anual del desecho de neumáticos, las opciones de gestión de residuos que entrega el decreto supremo asociado a neumáticos para cumplir con ley REP y la compatibilidad entre las operaciones y los diferentes de métodos de valorización de neumáticos.



3.1 Consumo de neumáticos OTR

Para comenzar con el primer objetivo de este trabajo de título, se utilizará la cantidad de neumáticos OTR que ingresaron al país el año 2020 como importaciones de las operaciones mineras productoras de Cobre, para comparar con la estimación de neumáticos que desechan las operaciones mineras de superficie en el país.

3.1.1 Neumáticos en operaciones mineras nacionales

La primera parte de este objetivo consiste en generar un único número de importaciones con los neumáticos de interés (57" y 63") para comparar con la estimación del consumo de neumáticos por parte de las operaciones mineras del país con método de explotación a cielo abierto.

3.1.1.1 Insumos críticos para la minería de Cobre en Chile

Del análisis del mercado de insumos críticos para la minería del cobre en Chile (COCHILCO, 2019 - 2021) se extrae el valor de importaciones de equipos e insumos en los últimos 15 años, tabuladas en el Anexo G, Importaciones de equipos e insumos críticos para la minería del Cobre en Chile.

Al graficar los valores de importaciones en [MUS\$ CIF] y el precio del cobre en [US\$/lb] por cada año, se obtiene el siguiente gráfico de la Figura 24.

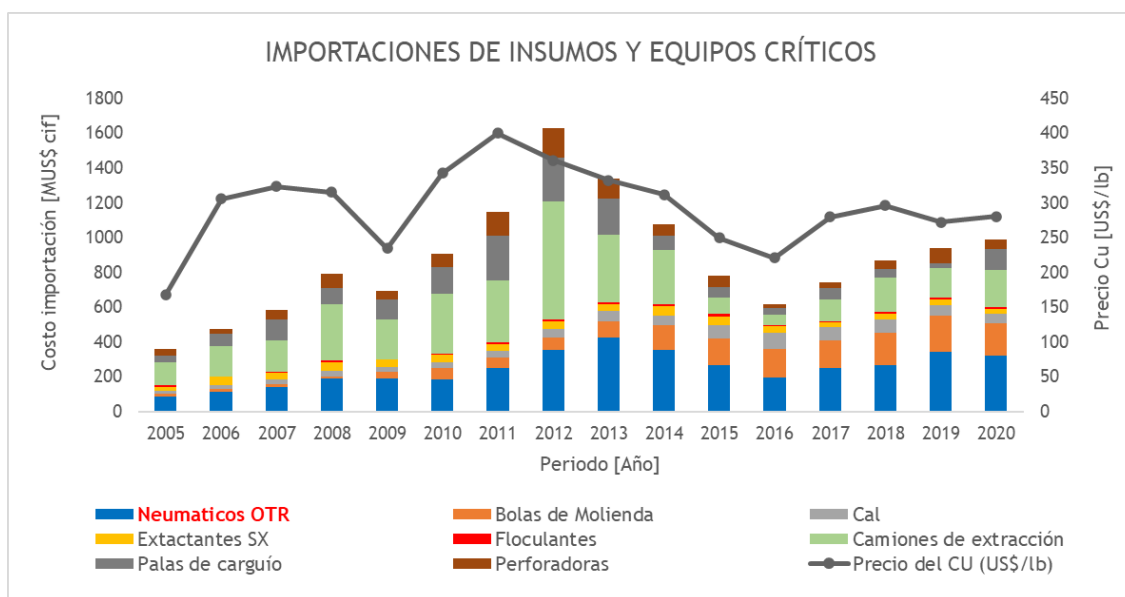


Figura 24: Importaciones de insumos mineros críticos y precio del cobre.



En el gráfico de la Figura 24 existe directa relación entre el aumento del valor de las importaciones de cada uno de los insumos junto con el aumento del precio del cobre. Es relevante la alta participación de los neumáticos OTR (color azul) en el valor total de las importaciones de insumos y equipos críticos, la cual ha aumentado en los últimos años hasta llegar al valor de mayor ponderación.

La función de criticidad que establece a estos productos como críticos, de acuerdo a la metodología publicada por COCHILCO, considera los siguientes factores: (COCHILCO, 2019 - 2021).

- a) Riesgo de abastecimiento
- b) Dependencia de las importaciones
- c) Monopolio de los insumos
- d) Peso relativo en la estructura de costos.

Hay otros insumos con alta participación en la estructura de costos de una operación minera de superficie, pero no son considerados en el análisis de COCHILCO por su función de criticidad.

3.1.1.2 Neumáticos OTR como insumo crítico

En la Tabla 14 se muestran los valores de insumos críticos y el precio del Cobre, publicados por COCHILCO en los últimos 3 años (COCHILCO, 2019 - 2021).

Tabla 14: Valor de importaciones de insumos y equipos mineros (COCHILCO, 2019 - 2021).

Valor de importaciones de insumos y equipos 2018 – 2020 [MUS\$ CIF]				
Producto		2018	2019	2020
Insumos	Neumáticos OTR	265	341	319
	Bolas de Molienda	188	208	185
	Cal	74	61	56
	Extractantes SX	36	35	29
	Floculantes	7	8	9
Equipos	Camiones de extracción	199	173	216
	Palas de carguío	51	24	120
	Perforadoras	49	87	54
Precio del Cu (US\$/lb)		295,9	272,1	280,3



De acuerdo con el análisis, los neumáticos OTR corresponden al insumo crítico importado de mayor valor para las operaciones mineras del país (53% del valor de los insumos), superando incluso al valor de las importaciones registrados por la compra de equipos.

Las importaciones de neumáticos en los últimos 3 años se componen de las unidades presentadas en la siguiente Tabla 15, clasificadas por el diámetro del aro de los neumáticos.

Tabla 15: Unidades importadas de neumáticos según tamaño del aro.

Neumáticos OTR importados [Miles de unidades]			
Aro del neumático	2018	2019	2020
63"	5,2	6,8	6,5
57"	3,1	3,6	2,8
45", 49" y 51" (Aprox.)	1,0	1,0	1,0
Total	9,3	11,4	10,3

Los neumáticos para aro de 63" han tomado el protagonismo en las importaciones, mientras que los neumáticos para 57" cada año van disminuyendo su presencia. Por otro lado, los tamaños restantes (45", 49" y 51") solo tienen una aparición menor en el mercado nacional que se aproxima a mil unidades anuales.

Al promediar las unidades importadas en los últimos 3 años, se obtiene un valor aproximado de los neumáticos que anualmente ingresan al país según el diámetro del aro. Considerando las toneladas de caucho equivalente para cada tipo de neumático, indicadas en la Tabla 16, se obtienen las toneladas de caucho que se importan cada año según el tamaño de los neumáticos.

Tabla 16: Unidades y toneladas de caucho equivalentes importadas en neumáticos OTR.

Unidades de neumáticos OTR y toneladas caucho equivalente importadas			
Aro del neumático	Miles de unidades	Caucho equivalente por unidad [ton]	Caucho equivalente total [Kton]
63"	6,2	5,0	31,0
57"	3,2	4,0	12,8
45", 49" y 51"	1,0	3,5	3,5
Total	10,4	-	47,3



Los neumáticos de 45”, 49” y 51” serán desestimados debido a su bajo aporte, para dar enfoque a los neumáticos de mayor tamaño, ya que corresponden a los elementos de mayor volumen y mayor presencia en el mercado nacional.

A partir de los tamaños de neumáticos considerados dentro de los alcances de este trabajo de título (57” y 63”), se obtiene una estimación del total de importaciones de neumáticos OTR y el caucho equivalente que consumen al año las principales operaciones mineras de superficie del país.

Tabla 17: Importación estimada de neumáticos mineros OTR.

Importación estimada de neumáticos mineros OTR			
Tipo de neumático	Miles de unidades	Caucho equivalente por unidad [ton]	Caucho equivalente total [Kton]
OTR para CAEX mineros	9,4	4,5	42,3

3.1.1.3 Consumo de neumáticos OTR por cada camión

En este apartado se establecerá la cantidad de neumáticos OTR que consume un camión de extracción por cada año, trabajando bajo condiciones típicas de una operación minera de superficie en Chile. Destacando que todas las operaciones presentan diferentes condiciones de trabajo y este número establecido se utilizará bajo supuesto.

Para estimar el consumo de neumáticos se utilizarán los siguientes supuestos en base a la información contenida en los antecedentes.

- Un neumático OTR de 57” o 63” tiene una vida útil aproximada de 5.000 horas.
- Un CAEX en Chile tiene 85% de disponibilidad electromecánica y 95% de utilización operativa.
- Para calcular el uso de los neumáticos, se comparará la duración de la vida útil con el tiempo operativo de los CAEX, ya que para el uso de los neumáticos se considera el ciclo de los camiones indicado en la Figura 25.

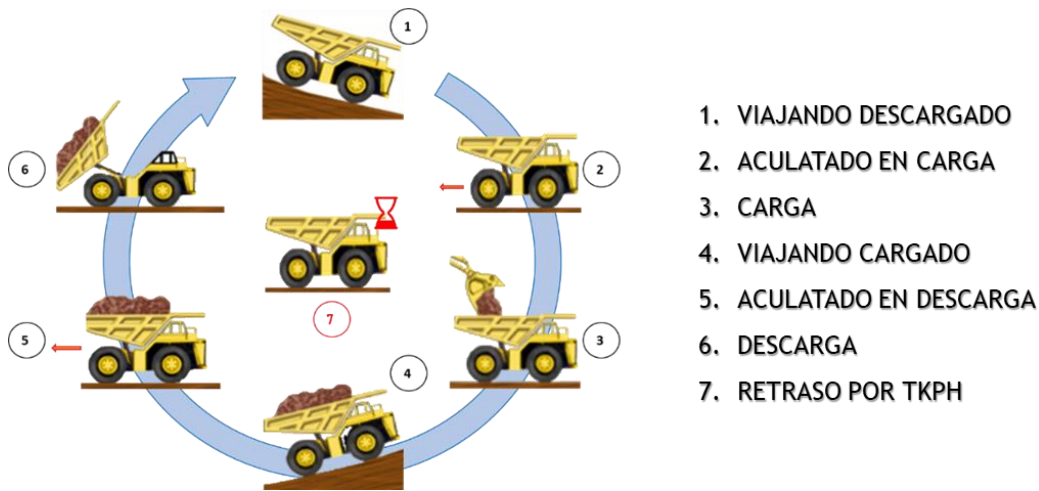


Figura 25: Ciclo de camión de extracción en minería..

Este ciclo de funcionamiento de los CAEX será considerado durante el desarrollo de este trabajo de título. La actividad 7, retraso por TKPH será detallada en el capítulo Ciclo de actividades para la gestión de neumáticos OTR.

De acuerdo con lo indicado en el capítulo

Modelo de gestión de tiempos, es posible reconocer que la suma de los tiempos que componen el ciclo de actividades de la Figura 25 corresponden al tiempo de trabajo operativo de un equipo.

Por lo tanto, de acuerdo con los Índices de tiempos para equipos mineros, se calculará la cantidad de horas operativas de un CAEX para comparar con la duración de neumáticos OTR.

Se establece como tiempo nominal las 24 horas de día multiplicado por 365 días de operación al año.

Tiempo nominal: 8.760 horas

Luego se calcula el tiempo disponible al año, tomando como supuesto una disponibilidad electromecánica de 85%.

Tiempo disponible = Tiempo nominal x Disponibilidad electromecánica

Tiempo disponible = 8.760 [hr] x 85% = 7.446 horas

Finalmente, se calcula el tiempo operativo al año, tomando como supuesto una utilización operativa de 95%.

Tiempo operativo = Tiempo disponible x Utilización operativa

Tiempo operativo = 7.446 [hr] x 95% = 7.074 horas



Con el dato anterior se puede calcular lo siguiente.

Un camión de extracción que trabaja un tiempo operativo de 7.074 horas al año y utiliza 6 neumáticos OTR con una vida útil de 5.000 horas cada uno, utilizará la siguiente cantidad de neumáticos al año:

$$\frac{\text{Tiempo operativo CAEX al año [hr]}}{\text{Vida útil del neumático [hr]}} \times \text{Neumáticos por CAEX} = \text{Neumáticos al año}$$

$$\frac{7.074 \text{ [hr]}}{5.000 \text{ [hr]}} \times 6 = 8,48$$

Neumáticos al año por cada CAEX ≈ 8,5

Al año cada CAEX utiliza 8,5 neumáticos OTR, trabajando bajo condiciones típicas de la operación, sin que los neumáticos sufran algún tipo de deterioro que influya en la duración de su vida útil.

Por lo tanto, para efectos prácticos del desarrollo de este trabajo de título se establecerá que un camión de extracción de categoría Ultra Class en operaciones mineras nacionales bajo métodos de explotación de superficie, utiliza en un año 8,5 unidades de neumáticos OTR de 57" o 63", lo que equivale a 38,3 toneladas de caucho, lo que se resume en la siguiente Figura 26.



Figura 26: Consumo de neumáticos OTR por cada CAEX Ultra Class.

El consumo de neumáticos de un CAEX en las operaciones mineras de superficie será utilizado para determinar la cantidad de neumáticos que desechan las principales operaciones del país.



3.1.2 Operaciones mineras de superficie en Chile

Para obtener el consumo de neumáticos OTR por uso de los CAEX en el país, se determinará la cantidad de operaciones mineras que trabajan en Chile y el número de camiones que estas utilizan de acuerdo con su producción de cobre.

3.1.2.1 Clasificación de operaciones mineras

Del mapa minero de Chile, publicado por el consejo minero, se extrae que al 2021 en el país hay 24 operaciones mineras de superficie que extraen Cobre y pertenecen a operaciones de gran magnitud (Consejo Minero, 2022), es decir, que utilizan camiones de extracción de categoría Ultra Class y, por lo tanto, consumen neumáticos OTR de 57” o 63”.

Para categorizar las operaciones mineras se utilizará el valor de producción de cobre publicado para el año 2021 (Consejo Minero, 2022). Para ciertos rangos de producción, se crearán categorías que establecerán un número de camiones de extracción diferente para las operaciones mineras dentro de cada una de las categorías.

Otros factores que realmente se utilizan para determinar la flota de equipos no serán considerados para la clasificación, ya que las categorías solo se utilizarán para plantear diferentes escenarios de operación con distintos números de CAEX.

Las categorías configuradas de acuerdo con la producción de Cobre de las operaciones mineras de superficie del país, publicadas para el año 2021, y el rango de camiones de extracción establecido para cada una de estas, se encuentran indicados en la siguiente Tabla 18.

Tabla 18: Categorías para clasificar las operaciones mineras.

Categorías para clasificar las operaciones mineras		
Categoría	Producción 2021 [kton Cu fino]	Rango N° de CAEX
1	>500	70 – 100
2	[500 – 300[	40 – 70
3	[300 – 150[	30 – 50
4	[150 – 70[	20 – 40
5	[70 – 40]	15 – 25
6	<40	5 - 15



La base de datos que contiene el listado de operaciones mineras de superficie en Chile, junto con los datos complementarios se encuentra en el Anexo H Operaciones mineras de superficie en Chile.

A partir de la base de datos de operaciones mineras de superficie y las categorías configuradas según la producción de cobre del año 2021, la clasificación de acuerdo con el tamaño de las operaciones queda indicada en la Tabla 19.

Tabla 19: Clasificación de operaciones mineras nacionales según categorías.

Clasificación de operaciones mineras		
Categoría	Operaciones mineras	operaciones por categoría (N°)
1	- Escondida - Collahuasi	(2)
2	- Radomiro Tomic - Chuquibambilla - Los Pelambres - Los Bronces	(4)
3	- Ministro Hales - Spence - Sierra Gorda - Centinela - Candelaria - Andina	(6)
4	- El Abra - Antucoya - Gabriela Mistral - Lomas Bayas - Caserones	(5)
5	- Cerro Colorado - Zaldívar - Salvador - Carmen de Andacollo - El Soldado	(5)
6	- Quebrada Blanca - Franke	(2)

A continuación, se establecerá el número de camiones que representará a las categorías de tal manera que se pueda calcular el consumo de neumáticos y caucho equivalente por cada operación minera y para cada categoría.



3.1.2.2 Camiones y neumáticos por categoría

En base al consumo anual de neumáticos de un camión de extracción en operaciones mineras de superficie, calculado anteriormente, se determinarán los números de equipos que representarán a los camiones que trabajan en cada una de las operaciones mineras de cada categoría.

Para considerar este ejercicio correcto, al multiplicar el número de neumáticos que consume un camión por el total de camiones que sumarán las operaciones mineras de todas las categorías. El total de neumáticos obtenido debe ser cercano a las importaciones anuales de neumáticos OTR de 57” y 63”, de acuerdo con lo calculado en la Tabla 17.

Para este ejercicio se considera que solo las operaciones mineras reconocidas en la Tabla 19 trabajan con camiones de la categoría Ultra Class. Además, el número de CAEX representativo para cada categoría debe estar contenido en el rango de camiones indicado en la Tabla 18.

Por lo tanto, además de la información contenida en las tablas mencionadas, para establecer el número de CAEX se utilizan los siguientes supuestos:

- Cada camión de extracción de categoría Ultra Class consume 8,5 neumáticos al año.
- El total de neumáticos OTR de aro 57” y 63” importados en un año son aproximadamente 9.400 unidades.

Tabla 20: Estimación de camiones y neumáticos para cada categoría.

Camiones y neumáticos para cada categoría					
Categoría	Rango N° de CAEX	N° CAEX de la categoría	Neumáticos por operación	Operaciones mineras en la categoría	Neumáticos por categoría
1	70 – 100	87	740	2	1.480
2	50 – 80	65	553	4	2.212
3	30 – 60	52	442	6	2.652
4	20 – 50	42	357	5	1.785
5	15 – 30	26	221	5	1.105
6	5 - 20	10	85	2	170
				Total neumáticos	9.404



Luego de realizar diferentes iteraciones en el número de camiones, se encuentran los valores representativos que permiten calcular una cantidad de neumáticos cercana a los valores de importación estimados en la Tabla 17.

3.1.2.3 Caucho equivalente por categoría

Luego de obtener el número de camiones y el consumo de neumáticos OTR para las operaciones mineras de superficie, se realiza un ejercicio similar para el caucho equivalente consumido en neumáticos, debido a que algunos métodos de valorización suelen manejar sus capacidades de trabajo en toneladas de caucho.

Además de la información de la Tabla 20, para calcular el caucho equivalente que consumen las operaciones de cada categoría se utiliza el siguiente supuesto:

- a) Cada neumático OTR para aros de 57” o 63” contiene en promedio una cantidad equivalente de caucho de 4,5 toneladas.

Luego, se calculan las toneladas de caucho equivalentes para las operaciones mineras de cada categoría y para el total de las operaciones de superficie del país, los resultados se indican en la siguiente Tabla 21.

Tabla 21: Estimación de caucho equivalente para cada categoría.

Caucho equivalente para cada categoría					
Categoría	N° CAEX de la categoría	Neumáticos por operación	Ton. Caucho eq. por operación	Operaciones en la categoría	Ton. Caucho eq. por categoría
1	87	740	3.330	2	6.660
2	65	553	2.489	4	9.956
3	52	442	1.989	6	11.934
4	42	357	1.607	5	8.035
5	26	221	995	5	4.975
6	10	85	383	2	766
				Total caucho [ton]	42.326

Los valores obtenidos son coherentes con la importación de neumáticos OTR de la Tabla 17.



Los datos calculados como el número de camiones, neumáticos OTR y caucho equivalente para cada operación, se encuentra en la base de datos del Anexo H Operaciones mineras de superficie en Chile.

Finalmente, se resumen los consumos de neumáticos OTR y caucho equivalente para las operaciones mineras de cada categoría en la siguiente Tabla 22.

Tabla 22: Consumo de neumáticos y caucho por año para cada categoría.

Consumo de neumáticos y caucho por año para cada categoría			
Categoría	N° CAEX de la categoría	Neumáticos por operación	Caucho eq. por operación [kton]
1	87	740	3.3
2	65	553	2.5
3	52	442	2.0
4	42	357	1.6
5	26	221	1.0
6	10	85	0.4

A partir, de los valores indicados en la Tabla 22, se buscará establecer compatibilidad de aplicación entre las operaciones mineras de cada categoría y los métodos de valorización de neumáticos OTR.

3.2 Aplicación de métodos de valorización

En este capítulo se establecerán las capacidades de trabajo de los métodos de valorización de neumáticos OTR, ya sea en términos de unidades de neumáticos o en términos de toneladas de caucho, para determinar que métodos se podrán aplicar en la valorización de neumáticos de las operaciones de cada categoría.

3.2.1 Capacidades de recepción de neumáticos OTR

Algunas empresas con procedimientos ya establecidos, autores en sus tesis de trabajo de título o empresas que se están instaurando en el país con plantas de valorización de NFU, publican sus capacidades de recepción de neumáticos para ser reutilizados, reciclados o valorizados.



Estas capacidades de referencia serán recogidas y resumidas en una tabla para determinar en qué casos un método de valorización tendrá la capacidad de procesar neumáticos mineros OTR y cuando será posible aplicarlo en el desecho continuo de una operación minera de superficie.

3.2.1.1 Reutilización

Se utilizarán las mismas clasificaciones de los métodos de valorización recopilados en antecedentes, donde la primera familia corresponde a la reutilización y considera los métodos de recauchaje y utilización directa.

- a) Recauchaje:** Consiste en reemplazar la banda de rodamiento del neumático y aprovechar el resto de la estructura para aumentar la duración de la vida útil del mismo. Este método se aplica con bastante madurez en el país y con algunas empresas especializadas en el recauchaje de neumáticos mineros OTR como lo son Bailac y KalTire.

La capacidad de recauchar depende del estado en que se encuentre la carcasa, por lo que Bailac recomienda que para generar carcasas recauchables se deben implementar reparaciones preventivas y sellado de cortes menores acompañado de buenas prácticas de gestión y manejo de neumáticos.

El antecedente que se utilizará para determinar la capacidad de una planta de recauchaje corresponde a una instalación de KalTire en México que abre sus puertas en 2019 con una capacidad de 80 neumáticos mineros OTR al mes y pensando en aumentar su capacidad (KalTire Mining, 2021).

Cabe destacar que KalTire y Bailac cuentan con plantas de recauchaje en Chile, por lo que este método es viable para la valorización continua de neumáticos mineros OTR.

- b) Utilización directa:** Esta solución presenta ventajas ya que es una forma rápida y sin mayores costos de deshacerse de una pequeña cantidad de NFU. Sin embargo, presenta una cantidad finita de aplicaciones y no sirve para valorizar de forma continua varias toneladas de neumáticos mineros OTR.

No es viable su aplicación para la valorización continua de neumáticos mineros OTR.

a. Tratamiento mecánico

Los tratamientos de trituración tienen mayor enfoque en la valorización, ya que a partir de neumáticos producen materia prima que se puede ocupar en varios tipos de proyectos, además, disminuyen el tamaño requerido para el almacenamiento de residuos de NFU.



La trituración de neumáticos es una tecnología bien desarrollada a nivel industrial que puede aplicarse a la valorización continua de neumáticos mineros OTR. Sin embargo, cada método de trituración presenta diferentes límites en sus capacidades de trabajo y creación de productos.

- a) Trituración a temperatura ambiente:** La autora Daniela Cortez, en su tesis “Modelo de negocio para una empresa recicladora de neumáticos en Chile” (Cortez, 2018). Presenta una planta recicladora de NFU en base a trituración mecánica a temperatura ambiente, la cual es su primer año logra una capacidad de recepción de 840 toneladas de caucho al mes, como neumático entero.

Esto corrobora que el proceso tiene gran capacidad de recepción de neumáticos, sin embargo, necesita una gran cantidad de energía para disminuir el tamaño de sus productos, los cuales a menor tamaño cuentan con mayor interés comercial.

- b) Trituración criogénica:** El autor Kevin Tirel, en su tesis “Ingeniería de perfil de modernas plantas para reciclaje de neumáticos fuera de uso (NFU)” (Tirel, 2017). Presenta un modelo de planta de trituración criogénica que trabaja a partir de caucho granulado y logra obtener polvo de caucho. Esta planta cuenta con una capacidad de trabajo de 4 toneladas de gránulos de caucho al día, lo que aproximadamente equivale a 1 neumático minero OTR.

Este antecedente permite validar el método de trituración criogénica como apto para la valorización continua de neumáticos mineros OTR fuera de uso, sin embargo, con una capacidad de trabajo menor a la trituración a temperatura ambiente y con la restricción de tamaño en el material de entrada.

b. Tratamiento térmico

Entre los tratamientos térmicos de valorización de neumáticos reconocidos se encuentra la incineración, pirolisis y gasificación, los cuales presentan los siguientes antecedentes para determinar sus cualidades, restricciones y capacidades de trabajo.

- a) Incineración:** Aunque esta solución parezca ser simple, presenta varios inconvenientes. Por ejemplo, solo se aprovecha el valor energético del NFU, no cualquier tipo de horno puede ocupar copos de NFU como combustible, además, al quemar el caucho directamente se generan humos peligrosos que deben ser tratados de alguna forma, por lo tanto, su aplicación no es recomendable.

Sumado a lo anterior, difícilmente las normas nacionales permitirían una planta de incineración de neumáticos de manera continua, por lo que no parece relevante invertir en este tipo de procesos. Se califica como inviable para la valorización continua de neumáticos mineros OTR.



- b) Pirolisis:** La empresa KalTire Mining en 2021 instaló una planta de conversión térmica en Chile en la región de Antofagasta, la cual tendrá capacidad de procesar hasta 20 toneladas de caucho al día, equivalente 5 neumáticos de 63” cada día (KalTire Mining, 2021).

Estos neumáticos se convertirán en 6.500 litros de combustible alternativo, 4.000 kg de acero y 8.000 kg de negro de carbono. También generará suficiente gas sintético para proporcionar combustible a la misma planta durante siete horas de trabajo.

La planta cuenta con área de cortadores para reducir los neumáticos a pedazos más pequeños, dos reactores y tanques de almacenamiento para aceite y negro de carbono.

Por otro, Michelin también se encuentra en proceso de construir una planta de pirolisis en la región de Antofagasta. La compañía productora de neumáticos comenzará con una planta de corte y triturado en 2023 e implementará una planta de pirolisis en 2025. Se espera que la planta completa cuente con una capacidad de procesamiento de hasta 30 mil toneladas de neumáticos al año.

El objetivo de Michelin es continuar su proceso con tecnologías que permitan producir negro de humo de la calidad que se requiere para ser reincorporado en la fabricación de neumáticos, promoviendo actividades de economía circular que ya se están experimentando a menor escala.

Estas noticias demuestran que la pirolisis es un proceso con la madurez suficiente para ser aplicado en la valorización continua de neumáticos mineros OTR, que además cuenta con gran capacidad de recepción de neumáticos, la cual que va en ascenso para los próximos años.

Sin embargo, se destaca que, para el óptimo funcionamiento de la pirolisis, se necesitan actividades de tratamiento mecánico previo que reduzcan el tamaño de los neumáticos.

- c) Gasificación:** No hay antecedentes de plantas de gasificación o estudios que promuevan la valorización energética de neumáticos de manera continua y a gran escala mediante gasificación. Debido a la diferencia en la recolección de productos al ser comparado con la pirolisis, este último proceso tiene mayor preferencia para las actividades de valorización de neumáticos.

Por lo tanto, no hay antecedentes que verifiquen que este proceso es viable para la valorización continua de neumáticos mineros OTR.

Finalmente, la capacidad de trabajo de los métodos de valorización de neumáticos que son viables para la valorización continua de neumáticos OTR, se resume en la siguiente Tabla 23.



Tabla 23: Capacidades de los métodos de valorización.

Capacidades de los métodos de valorización					
Métodos de valorización		Capacidad mensual		Capacidad anual	
Familia	Método	Caucho eq. [ton]	Neumáticos OTR	Caucho eq. [Kton]	Neumáticos OTR
Reutilización	Recauchaje	360	80	4,3	960
	Utilización directa	-	-	-	-
Tratamiento mecánico Trituración	Temperatura ambiente	840	186	10,1	2.200
	Criogénica	120	27	1,4	320
	Incineración	-	-	-	-
Tratamiento Térmico	Pirolisis	600	133	7,2	1.600
	Gasificación	-	-	-	-

A partir de las capacidades de los métodos de valorización y la recopilación de otras variables, se determinará cuáles de los métodos calificados como viables para la valorización continua de neumáticos OTR serán compatibles con las diferentes categorías de operaciones mineras del país.

3.2.2 Aplicación de los métodos de valorización

No en todos los casos la aplicación de un método de valorización dependerá solo de la capacidad de trabajo. En este capítulo, se recopilará información extra para determinar la compatibilidad entre las categorías de operaciones mineras y los métodos viables para la valorización continua de neumáticos.

Se consideran otras variables como las ventajas y desventajas del método, el potencial de mercado para vender los productos obtenidos y aplicaciones ya existentes en el mercado minero.

Los métodos calificados como viables para la valorización continua de neumáticos mineros OTR son:

- Recauchaje.
- Trituración a temperatura ambiente.
- Trituración criogénica.
- Pirolisis.



a. Recauchaje

Una de las principales ventajas del recauchaje es que el producto de este método es el mismo neumático que ingresó a la planta pero con nueva banda de rodadura, por lo tanto, no hay necesidad de vender un producto luego del proceso, ya que el dueño del neumático paga por su reparación.

Además, el recauchaje tiene fuerte incidencia en los costos de operación de las faenas mineras. El valor del recauchaje de un neumático minero OTR es cerca de un tercio a un cuarto del neumático nuevo y tiene un rendimiento horario igual al original.

El recauchaje convencional se realiza cuando el neumático termina su vida útil luego de pasar por las posiciones delanteras y luego en las posiciones traseras del camión, solo si la carcasa se encuentra en buen estado.

Este método se aplica en el país con bastante madurez para neumáticos con aros de 57" o 63".

También se realizan recauchajes preventivos del neumático con el fin de asegurar el uso de la carcasa y extender su vida útil. A partir de una cantidad nominal de horas en la posición frontal, se hace la restauración del caucho desgastado, al mismo tiempo que se hace más fuerte la integridad de la carcasa y el neumático regresa a la posición delantera en menor tiempo.

Incluso es posible sobreponer a la banda de rodadura, una delgada capa de caucho que mantenga el diseño y aporte horas de trabajo al neumático a un bajo costo.

Estas dos últimas alternativas de recauchaje se pueden aplicar múltiples veces a un mismo neumático, volviendo a la máquina como si fueran nuevos, lo que aumenta la vida útil y mantiene a las carcasas de neumáticos fuera de la pila de desechos.

El recauchaje convencional tiene un límite de aplicaciones ya que el deterioro de la carcasa es mayor, mientras que, el recauchaje preventivo se puede aplicar mayor cantidad de veces en los neumáticos.

Se recomienda aplicar recauchaje y reparación de neumáticos a las operaciones de todas las categorías, ya que este método cumple con el primer eslabón en la jerarquía de la gestión de residuos de la Figura 2, el cual indica que se debe evitar la generación de cualquier tipo de residuo.

Sin embargo, el recauchaje convencional genera como residuo la banda de rodadura extraída del neumático. Este material se recomienda incluirlo en líneas de trabajo de los siguientes métodos de valorización; trituración o pirolisis.



b. Trituración a temperatura ambiente

El recauchaje y el tratamiento mecánico a temperatura ambiente son los únicos métodos capaces de recibir NFU enteros y por lo tanto, cobrar a partir de la recepción de estos. Sin embargo, al contrario del recauchaje, la trituración de neumáticos presenta el importante desafío de vender sus productos.

Los copos o gránulos de caucho que se obtienen a partir de la trituración a temperatura ambiente tienen gran cantidad de usos posibles, sin embargo, la cantidad generada a partir de la valorización continua de neumáticos OTR supera las necesidades convencionales de uso.

En consecuencia, el desafío para la trituración de neumáticos se basa en generar casos de uso masivos para los copos o gránulos de caucho, como los ejemplos que se mencionan a continuación:

- a) Capa de amortiguación de ondas sísmicas, formada de tierra y copos de caucho, dispuesta bajo la construcción de infraestructuras.
- b) Aditivo al asfalto para mejorar las propiedades de las carreteras y aumentar su vida útil.
- c) Aplicaciones de ingeniería civil y creación de superficies sintéticas.

Este método cumple con el segundo eslabón en la jerarquía de la gestión de residuos de la Figura 2, este indica que, de no poder evitar la generación de residuos, se debe procurar disminuir al mínimo el volumen de los residuos generados.

Por lo tanto, el tratamiento mecánico genera la posibilidad de transformar vertederos de neumáticos enteros en reservas de granulados de caucho, optimizando de gran manera el uso del espacio disponible.

En términos de capacidades, las operaciones mineras de todas las categorías pueden optar por la trituración a temperatura ambiente de sus NFU, sin embargo, difícilmente podrían valorizar o vender la totalidad de caucho en forma de copo o granulo.

Por ende, se recomienda que todos los neumáticos mineros OTR que no puedan ser reparados o recauchados, disminuyan de inmediato su tamaño, de tal manera que faciliten el almacenamiento y transporte a las plantas de valorización.

Estos trozos de neumáticos podrán continuar por la trituración a temperatura ambiente para optar por la venta de copos o gránulos de caucho. Como también podrán continuar con otro método que permita valorizar las toneladas de caucho restantes.



c. Trituración criogénica

La trituración criogénica también pertenece a un tratamiento mecánico y podría tomarse como una continuidad de la trituración a temperatura ambiente, ya que, este método recibe como material de entrada gránulos de caucho generados previamente.

Este método tiene capacidades de trabajo inferiores a la trituración convencional y presenta límites en el material de entrada, sin embargo, obtiene un producto con mayor potencial de mercado, que presenta casos de uso masivo y mayores posibilidades de reintegrarse a un ciclo de economía circular.

En términos de capacidades el problema no es producir granulados, más bien, venderlos. Por lo que optar por la trituración criogénica entrega mayor oferta de granulados, hasta el polvo fino de caucho, el cual, también sirve como materia prima para la producción de piezas de plástico reciclado.

Se puede utilizar gran cantidad de caucho reciclado de NFU en piezas de plástico, esto permite reducir el uso de plástico nuevo, y acercar el mercado de esta materia prima hacia la economía circular.

De igual manera el polvo de caucho se puede utilizar en la producción de piezas y artefactos de caucho sintético, como en la confección de neumáticos nuevos, bandas de rodamiento, insumos para procesos de reparación y recauchaje, entre otros usos dentro del mismo mercado de los neumáticos.

La trituración criogénica tiene mayores costos de operación que la trituración a temperatura ambiente, ya que depende del uso de refrigerante para disminuir la temperatura. Aun así, este costo se contrarresta con menor necesidad de equipos, ya que estos son más eficientes a bajas temperaturas, sufren menor deterioro y necesitan menos mantenimiento.

Las capacidades trabajo de este método permiten que operaciones de la categoría 5 o 6 puedan valorizar todos sus neumáticos mediante tratamiento mecánico y luego trituración criogénica.

Sin embargo, es posible que operaciones de la categoría 4, disminuyan las toneladas de caucho a partir de la venta de copos o gránulos obtenidos luego de la trituración a temperatura ambiente, (o algún otro método) para optar por la trituración criogénica con las capacidades de trabajo que actualmente maneja este método.



d. Pirolisis

Es el tratamiento térmico para valorización de neumáticos que ha tomado mayor relevancia en los últimos años. Luego de la promulgación de la ley REP, grandes empresas como KalTire y Michelin optaron por construir plantas de pirolisis en el país.

Este método cuenta con grandes capacidades de trabajo, sin embargo, para recibir neumáticos deben ser cortados o triturados a un menor tamaño para hacer más óptimo el proceso térmico.

La pirolisis utiliza calor y fricción para inducir una reacción que convierte a los neumáticos en sus elementos básicos (combustible, acero y negro de carbón o negro de humo), de tal forma que estas materias primas se puedan volver a utilizar.

El acero, al igual que en los otros métodos de valorización de neumáticos, se recupera y se prepara para la venta, ya que este material es 100% reciclaje y se puede obtener material de la misma calidad una y otra vez.

El combustible alternativo generado puede ser refinado y mezclado con petróleo para su uso en motores de combustión interna, mientras que el gas que genera el proceso se utiliza para alimentar al funcionamiento de la misma planta de pirolisis.

Por lo tanto, el principal desafío de aplicar este método térmico de manera continua en la valorización de neumáticos OTR se centra en la cantidad de negro de carbón generado. Michelin espera que los productos de su planta de pirolisis entreguen un negro de carbón de la calidad suficiente para ser utilizado en la confección de neumáticos nuevos.

Esta materia prima actualmente se utiliza como reforzante para mezclas de caucho, pigmentos u otros usos derivados de sus cualidades de conductividad eléctrica y estabilizante para rayos ultravioleta.

La capacidad de trabajo de este método permite que las operaciones de todas las categorías puedan valorizar sus neumáticos mediante pirolisis. Sin embargo, previo ingreso a la planta, los neumáticos deben disminuir su tamaño con algún tratamiento mecánico.

Se espera que en los próximos años el negro de carbón extienda sus usos posibles, como insumo para carreteras, neumáticos nuevos o se utilice como materia prima para suministros de reparación o recauchaje, de tal manera que el material valorizado tenga un potencial de mercado que lo mantenga en un ciclo de economía circular.



3.2.3 Calificación de métodos, ventajas y desventajas

A continuación, se calificarán los métodos de valorización a partir de la información entregada en el capítulo anterior, identificando los métodos aptos para cada categoría de operaciones mineras de superficie del país, además de las ventajas y desventajas que presenta la aplicación de estos procesos.

a. Calificación para métodos de valorización

En base a la información recopilada y las capacidades de los métodos de valorización, se establece la aplicación de los métodos en el desecho de NFU para cada categoría, para la calificación se utiliza la leyenda de la Tabla 24.

Tabla 24: Leyenda para calificación de métodos de valorización.

Leyenda	
Calificación	Significado
✓	Apto
✓	Condicionado
✗	No apto

Se identificará un método de valorización de neumáticos como apto para valorizar continuamente neumáticos OTR cuando la capacidad de dicho método sea superior a la cantidad de neumáticos que desecha una operación de cada categoría, ya sea en unidades de neumáticos o en toneladas de caucho equivalente.

Un método de valorización se identificará como condicionado, cuando una operación minera deba disminuir la cantidad de toneladas o unidades de neumáticos a valorizar (utilizando otro método), con el objetivo de disponer de una cantidad de neumáticos que sea inferior a la capacidad de trabajo del método.

Por otro lado, un método de valorización será no apto para la categoría, cuando las operaciones mineras contenidas en esa categoría tengan un desecho anual de toneladas o unidades de neumáticos que supere la capacidad de trabajo del método o este no sea viable para la valorización continua de neumáticos mineros OTR.



Finalmente, en la siguiente Tabla 25 se califican los métodos de valorización de neumáticos de acuerdo con la leyenda de la Tabla 24, para cada una de las categorías de operaciones mineras.

Tabla 25: Calificación para métodos de valorización de neumáticos.

Calificación para métodos de valorización de neumáticos							
Métodos de valorización		Categorías de operaciones mineras					
Familia	Método	1	2	3	4	5	6
Reutilización	Recauchaje	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Utilización directa	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Tratamiento mecánico Trituración	Temperatura ambiente	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Criogénica	✗	✗	✗	✓	✓	✓
Tratamiento Térmico	Incineración	✗	✗	✗	✗	✗	✗
	Pirolisis	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Gasificación	✗	✗	✗	✗	✗	✗

Es posible verificar que, de los siete métodos de valorización de neumáticos identificados en este trabajo de título, solo tres califican como aptos para la valorización continua de neumáticos mineros OTR en todas las categorías, mientras que uno de los métodos (trituration criogénica) califica como apto para operaciones de las categorías 5 y 6, y condicionalmente apto para operaciones mineras de la categoría 4.

b. Ventajas y desventajas

A continuación, se identifican las ventajas y desventajas de los métodos que calificaron como aptos para la valorización continua de neumáticos mineros OTR para las operaciones mineras categorizadas.

Las ventajas y desventajas contenidas en la Tabla 26 serán utilizadas para determinar cómo la aplicación de estos métodos de valorización puede contribuir en la actualización del actual manejo de residuos de neumáticos mineros OTR y apoyar en el cumplimiento de metas de la ley REP.



Tabla 26: Ventajas y desventajas de los métodos de valorización de neumáticos OTR.

Ventajas y desventajas métodos de valorización de neumáticos OTR			
Métodos de valorización		Ventajas	Desventajas
Familia	Método		
Reutilización	Recauchaje	- Recepción de neumáticos enteros. - Devuelve los neumáticos al rodaje a menor costo. - Genera menos residuos.	- Aplicación solo en carcasas en buen estado. - Límite de aplicaciones.
Tratamiento mecánico Trituración	Temperatura ambiente	- Recepción de neumáticos enteros. - Alta capacidad de trabajo.	- Dificultad de vender todo el producto generado. - Altas temperaturas de trabajo
	Criogénica	- Obtiene producto con alto valor comercial. - Trabajo eficiente a baja temperatura.	- Necesita disminuir de tamaño los neumáticos. - Baja capacidad de trabajo. - Necesidad de refrigerante.
Tratamiento Térmico	Pirolisis	- Alta capacidad de trabajo. - Obtiene 2 productos con alto valor comercial. - Se auto sustenta de energía con gas.	- Necesita disminuir de tamaño los neumáticos. - Dificultad de valorizar negro de carbón.

Este análisis será utilizado para incluir a los métodos de valorización de neumáticos mineros OTR en el siguiente capítulo, aportando en la etapa de valorización del ciclo de actividades que propuesto para una completa y correcta gestión de neumáticos.

3.3 Ciclo de actividades para la gestión de neumáticos OTR

En este capítulo se identificarán a gran escala las etapas que componen la gestión actual de neumáticos mineros OTR y los residuos generados luego de cumplir con su vida útil. Posteriormente, se realizará un análisis de brechas de estas etapas para determinar que procesos deberán actualizarse para cumplir con las imposiciones de la ley REP.

En base a la recopilación de antecedentes sobre los neumáticos en minería junto con el análisis desarrollado para las operaciones mineras y los métodos de valorización, se diseñará un ciclo de actividades que proponga una correcta gestión de neumáticos, considerando las etapas de la gestión actual y las actualizaciones que determine el análisis de brechas.



3.3.1 Gestión actual de neumáticos OTR

A gran escala, el manejo convencional de neumáticos mineros OTR se describe en 3 etapas sucesivas, adquisición uso y mantenimiento y finalmente desecho. A continuación, se describen los principales procesos que componen a estas etapas.

3.3.1.1 Adquisición

Se inicia con estudiar las características que debe tener el neumático para satisfacer los requerimientos de la operación. Para esto, se recopilan datos del equipo y datos de una ruta representativa (o crítica) en la cual el equipo cumplirá su ciclo de trabajo.

Los datos necesarios del equipo corresponden a:

- a) Carga útil.
- b) Tipo de neumáticos.
- c) Distribución del peso sobre los ejes o neumáticos (vacío y cargado).

Mientras que los datos que se necesitan de la ruta representativa corresponden a:

- a) Distancia total del tramo.
- b) Tiempo total del ciclo.
- c) Temperatura media de la zona.

Estos datos permitirán calcular de manera teórica el TKPH operacional del ciclo, para ser comparado con la oferta de neumáticos que presentan los proveedores.

Cabe destacar que los valores de TKPH pueden variar al sensibilizar los datos de entrada en las ecuaciones de cálculo. Además, cada proveedor puede disponer de sus propias ecuaciones para calcular TKPH operacional y comparar con el TKHP nominal de sus modelos de neumáticos.

Si los valores de TKPH operacional superan a los valores nominales de los modelos de neumáticos ofrecidos por los proveedores, deben modificarse las condiciones de transporte de materiales.

Se puede modificar cualquiera de los datos aportados a las ecuaciones de TKPH, sin embargo, la carga está asociada al modelo del equipo y tiene menor influencia en el desgaste de los neumáticos que la distancia del tramo, la temperatura o la velocidad. La distancia generalmente es un valor fijo (podría cambiar si se modifica la ruta) y la temperatura no es posible manejarla a gusto.



Por lo tanto, el dato a modificar suele ser el tiempo total de ciclo. Este valor se puede modificar agregando una actividad extra al ciclo de trabajo de los CAEX (actividad 7 de la Figura 25, retraso por TKPH) o disminuyendo la velocidad a la cual se traslada el equipo, impactando en la duración de las actividades 1 y 4 del ciclo mencionado en la Figura 25.

La actividad de retraso por TKPH, se considerará solo cuando se requiera de tiempo adicional para que el vehículo en estado de reposo disminuya la temperatura interna de los neumáticos, de tal manera que estos no alcancen temperaturas críticas de trabajo.

Luego de establecer el modelo de neumático requerido para las rutas donde los equipos cumplirán sus ciclos de trabajo, se realizan negociaciones con los proveedores para establecer contratos que aseguren abastecimiento y disponibilidad de neumáticos en faena, de acuerdo con la duración estimada de los neumáticos trabajando en la operación.

3.3.1.2 Uso y mantenimiento:

En esta etapa los neumáticos desempeñan su función principal, facilitar el movimiento de los CAEX a través de las actividades que componen su ciclo de trabajo. Se deben evitar daños o deterioros que disminuyan la vida útil del neumático, para esto, deben presentarse condiciones favorables en los factores que influyen en la duración de los neumáticos

Las actividades para el cuidado del neumático pueden separarse en tres grupos, operación del camión, mantenimiento de los neumáticos y condiciones de la ruta.

Los elementos que componen el conjunto operación del camión son la conducción y carga del equipo, donde se agrupan los siguientes factores que influyen en la duración de los neumáticos.

- a) Conducción:** El conductor del equipo debe prevenir que el neumático sufra un exceso de trabajo, evitando las siguientes acciones.
- Conducir a exceso de velocidad.
 - Conducir distancias que excedan la capacidad de trabajo de los neumáticos.
 - Realizar frenazos o aceleraciones bruscas y repetitivas.
 - Chocar con bermas, pretilos o elementos contundentes en la ruta.

De igual forma, el conductor debe disminuir la velocidad cuando el terreno se encuentre en mal estado, o presente muchas rocas en el suelo, en especial en las zonas de carga y descarga o en presencia de curvas cerradas.



b) Carga: El operador del equipo de carguío debe evitar que ocurran las siguientes situaciones cuando realiza la carga del camión.

- a. Equipo con sobrecarga.
- b. Equipo con carga descentrada.

El operador del equipo de carguío debe alertar cuando la sobrecarga está ocurriendo debido a la presencia de grandes rocas por una mala fragmentación post tronadura. También debe apoyar a los operadores de CAEX en el aculatamiento para la carga, de tal forma que estos puedan posicionarse de manera precisa y exacta evitando que la carga quede descentrada.

El conjunto mantenimiento de los neumáticos y componentes del camión se conforma de la presión de inflado de los neumáticos, la rotación de posiciones y el mantenimiento mecánico del camión.

a) Presión de inflado: Esta característica es esencial para el correcto funcionamiento de los neumáticos, la presión de inflado no debe ser excesiva ni insuficiente para que el desgaste de la banda de rodamiento sea uniforme.

Actualmente se utilizan dispositivos para monitorear activamente la presión y temperatura a la cual trabaja el neumático para alertar cuando se encuentran fuera de los rangos deseados.

b) Rotación de posiciones: Los proveedores recomiendan que los neumáticos se ubiquen en posiciones delanteras hasta el 30% de su uso (mayor tasa de desgaste), posteriormente se deben ubicar en las posiciones traseras 5 y 6 de la Figura 13, hasta el 60% de su vida útil, para terminar en las posiciones 3 y 4 de la Figura 13, donde se utilizarán aproximadamente hasta el 90% de desgaste, ya que estas posiciones están más propensas a chocar con bermas o pretilas.

La medición de la altura en las cocadas del neumático y las horas de rodado servirán para evaluar el desgaste y realizar las rotaciones cuando corresponda.

c) Mantenimiento mecánico del camión: Se debe evitar que los camiones presenten los siguientes defectos, ya que estos provocarán mayor deterioro o un desgaste incorrecto de los neumáticos.

- a. Frenos defectuosos que sobrecalientan las ruedas y por lo tanto a los neumáticos.
- b. Paralelismo incorrecto de las ruedas directrices (delanteras).
- c. Alineamiento y balanceo de los neumáticos inadecuado.
- d. Diferencia de diámetro en ruedas traseras gemelas.

Las condiciones de los neumáticos se deben examinar antes de comenzar con cada turno de trabajo, además de un análisis detallado cuando el camión ingresa a mantenimiento.



Por último, el conjunto condiciones de la ruta se compone del mantenimiento de las pistas, la longitud de los ciclos y en menor medida se considera el factor climático.

- a) Mantenimiento de pistas:** En las zonas de carga y descarga existe mayor probabilidad de encontrar objetos contundentes en el suelo, mientras que en las vías hay que prevenir agujeros, terrenos blandos y caminos con superficies ondulantes.

La operación debe disponer de equipos dedicados al retiro de elementos presentes en todo el camino (incluyendo zonas de carga y descarga), regado de pistas y tareas de relleno, nivelación o compactación que puedan ser requeridas en las vías.

- b) Longitud de los ciclos:** Extensas jornadas de rodaje continuo y ciclos con pistas largas que favorecen la alta velocidad aumentan la temperatura interna del neumático. Es importante que los equipos que retornan vacíos no excedan los límites de velocidad definidos por la operación.

Los trazados de las rutas deben evitar que los equipos circulen a alta velocidad a través de curvas cerradas de bajo radio, por sobre esfuerzo en los hombros del neumático, y cuando ingresan a zonas de carga o descarga, por riesgo de choque con objetos en el suelo.

Los neumáticos mineros OTR están confeccionados para soportar grandes cargas y no alta velocidad, por lo tanto, el exceso de velocidad provoca mayor deterioro que la sobrecarga.

El factor climático (lluvia, nieve o exceso de calor) influye en las condiciones que la ruta presenta para el desempeño de los neumáticos. Cuando no se indique lo contrario, la temperatura estándar para comparar valores de TKPH corresponde a 38 °C, reconocido como el caso menos favorable.

En la etapa de uso y mantención cuando el neumático falla o cumple con sus horas de trabajo se define si cuenta con las condiciones para ser reparado o recauchado, de tal manera que pueda volver a sus tareas cotidianas evitando o reduciendo la cantidad de material desechado.

a. Desecho y acumulación

Actualmente, cuando el neumático falla o termina su vida útil y no cumple con las condiciones para ser reparado o recauchado, es enviado a botadero de neumáticos.

En Chile existe una cantidad indeterminada de pilas de neumáticos que alojan desechos de años de trabajo por parte de las operaciones mineras. La siguiente Figura 27 muestra una pila actual de neumáticos ubicada en el norte del país captada a través de Google Earth.



Figura 27: Botadero de neumáticos División Radomiro Tomic.

La Figura 27 identifica dos puntos ubicados a 500 metros de distancia aproximadamente, para referenciar el tamaño de la pila de neumáticos que corresponde a la división de Codelco, Radomiro Tomic, ubicada en la comuna de Calama, región de Antofagasta.

3.3.2 Análisis de brechas al manejo actual

En este apartado se analizan las actividades que componen el manejo actual de neumáticos OTR, en busca de posibles mejoras o actualizaciones que marquen diferencias entre la gestión actual de neumáticos y la gestión deseada que cumpla con la ley REP.

3.3.2.1 Adquisición

La primera actualización al manejo de neumáticos dentro de los procesos de adquisición corresponde a decidir entre las alternativas que tendrán las operaciones mineras para cumplir con la ley REP.

Las operaciones mineras que adquieran sus neumáticos dentro del mercado nacional serán consideradas como consumidores industriales, deberán cumplir con las Obligaciones de los generadores de residuos (artículo 5).

La primera opción para los consumidores industriales será entregar los NFU a un sistema de gestión bajo las condiciones establecidas por este e informadas a todos los involucrados.



Los consumidores industriales también tendrán la opción de valorizar por sí mismos los NFU, para esto la ley les permite optar por una de las siguientes alternativas:

- a) Informar al ministerio sobre la valorización efectuada. Las toneladas de NFU valorizadas por este consumidor serán asignadas a todos los sistemas colectivos de gestión de forma proporcional a las toneladas introducidas por sus integrantes el año anterior al que ocurre esta valorización.

La valorización deberá informarse al ministerio a través del RETC en los mismos plazos y periodos que los sistemas de gestión entregan los Informes (artículo 17).

- a) Informe de avance, con actividades del 1 de enero al 30 de junio del mismo año en que se presenta, a más tardar el 30 de septiembre.
- b) Informe final, con actividades del 1 de enero al 31 de diciembre del año inmediatamente anterior al de su presentación, a más tardar el 31 de mayo.

El detalle del contenido de los informes lo dicta la superintendencia del medio ambiente, mediante resolución incluida en las referencias de este informe (Superintendencia del Medio Ambiente, 2021).

- b) Celebrar convenio con un sistema de gestión, para que este informe al ministerio en su nombre y representación. Las toneladas de NFU generadas y efectivamente valorizadas por el consumidor, se le imputarán al sistema de gestión con el que haya celebrado el convenio.

Se deberá informar al ministerio a través del RETC, el sistema de gestión que informará en su nombre y representación al momento de informar que valorizarán sus residuos mediante esta alternativa.

La opción de valorizar sus neumáticos y la alternativa seleccionada para hacerlo se deberá informar al ministerio a través de RETC antes del 30 de junio de cada año, se deberá informar que residuos valorizarán los consumidores, permaneciendo para el resto de los residuos la obligación de entregarlos a un sistema de gestión.

Los consumidores deberán permanecer gestionando sus residuos en el régimen escogido al menos durante un año luego de la fecha en que informaron al ministerio.

La ley establece que la responsabilidad extendida al productor se aplicará a quienes introduzcan neumáticos en el mercado nacional. Por lo tanto, si las operaciones mineras deciden importar sus neumáticos tendrán la obligación de acreditar ante el servicio nacional de aduana que forman parte de un sistema de gestión autorizado por el ministerio, además de cumplir con las Obligaciones de los productores (artículo 7).



Los productores tendrán 4 meses, desde la primera introducción para dar cumplimiento a las obligaciones que les corresponden. Estos deberán permanecer al menos un año de calendario en el sistema de gestión respectivo, debiendo informar cambios antes del 30 de junio del año anterior al que cumplirá sus obligaciones en un sistema de gestión distinto.

a. Uso y mantención

La ley REP no interviene sobre los métodos utilizados por los consumidores para el uso y mantención de los neumáticos. Sin embargo, desde el punto de vista de la sustentabilidad y la correcta gestión de residuos, hay que velar por el cuidado y óptimo rendimiento de los neumáticos para generar la menor cantidad de residuos, sin que esto influya en la seguridad de la operación.

Se recomienda utilizar sistemas de monitoreo de presión y temperatura de neumáticos para gestionar las condiciones de trabajo de los neumáticos y tomar acciones antes de que ocurra una falla.

Mantener un inventario activo sobre el desgaste y la disponibilidad de neumáticos permitirá una buena planificación para realizar reparaciones y recauchajes preventivos que aseguren el reforzamiento de las carcasas y aumenten las horas de uso de los neumáticos.

Los inventarios también deben controlar las rotaciones de los neumáticos en las posiciones del camión para que estas se realicen cuando corresponde y se optimice la vida útil de estos activos.

También se sugiere realizar capacitaciones y entrenamientos orientados al cuidado de neumáticos a los operadores de CAEX y equipos de carguío, como también al personal de mantenimiento de equipos y mantención de pistas.

b. Desecho

Las nuevas obligaciones de la ley no permitirán que los neumáticos sean desechados y acumulados luego de cumplir su vida útil. Estos deberán ser valorizados mediante recauchaje u otro método destinado para este fin.

Para esta función, la ley establece los sistemas de gestión de residuos que podrán ser individuales o colectivos y serán los encargados de dar cumplimiento a las metas de recolección y valorización establecidas en el decreto supremo de la ley REP.

La ley también permite que los consumidores valoricen sus propios residuos. Esta decisión deberá realizarse al momento de la adquisición de los neumáticos.



Los sistemas de gestión de residuos tendrán la obligación de informar la tarifa correspondiente al costo de gestión de residuos a los distribuidores, comercializadores, gestores y consumidores. Los montos serán establecidos en base a las operaciones que serán sometidos los NFU y los tipos de neumáticos.

Quien realice cualquier operación de manejo de NFU deberá inscribirse en el registro de gestores del RETC y cumplir con las Obligaciones de los gestores de residuos (artículo 6).

Los sistemas de gestión estarán integrados por productores y deberán cumplir las metas de valorización con los neumáticos importados por sus integrantes. Además deberán cumplir con las Obligaciones de los sistemas de gestión (artículo 15).

El ministerio tendrá un plazo de tres meses desde la recepción de documentos, para autorizar, rechazar o solicitar más información sobre la inscripción de sistemas de gestión.

Los gestores que realicen recauchaje deberán certificar que cumplen con la NCh3374.

Los gestores que realicen operaciones distintas del recauchaje deberán acreditar que al menos un 75% de los productos obtenidos tras la valorización de NFU ha sido aprovechado como materia prima o insumo en nuevos procesos productivos (acreditar mediante documentos de venta o venta futura).

Las actividades de valorización deberán acreditarse según las Reglas sobre acreditación del cumplimiento de metas de valorización (artículo 26).

3.3.3 Ciclo de actividades propuesto

Recopilando las actividades del manejo actual de neumáticos junto con las recomendaciones y actualizaciones identificadas luego del análisis de las fases respecto a la publicación de la ley REP, se propone un ciclo de actividades para una correcta gestión de neumáticos, de tal manera que las operaciones mineras cumplan con las obligaciones de la misma ley.

a. Adquisición

En la adquisición de neumáticos la operación minera debe proporcionar la información necesaria para establecer los requerimientos mínimos que esperan del neumático, a fin de evaluar dentro de la oferta que presentan los proveedores el neumático que cumple las necesidades de la operación.



Para esta tarea, se recomienda calcular el TKPH operacional de una ruta representativa y obtener una aproximación de la exigencia del ciclo de trabajo de los CAEX.

Si los ciclos son muy exigentes, con TKPH sobre 2.500 (máximo TKPH nominal en la oferta de neumáticos mineros Ultra Class), se deben optimizar los tramos, agregar la actividad de retraso por TKPH o bajar la velocidad de los camiones para disminuir la exigencia sobre los neumáticos.

Si el TKPH operacional se encuentra contenido en la oferta de neumáticos, se recomienda recalcular este valor con las ecuaciones de cada proveedor, destinadas para este fin. Luego, comparar los neumáticos que cumplen con las necesidades y seleccionar el neumático adecuado para la operación.

Conociendo las características del neumático se puede calcular la duración estimada de estos insumos y el consumo de neumáticos al año. Las compañías mineras deberán evaluar el manejo de residuos y optar por entregarlos a un sistema de gestión de residuos o valorizar por sí mismos los NFU.

No se recomienda que las operaciones mineras importen sus propios neumáticos ya que asumirán nuevas responsabilidades y costos extra en los sistemas de gestión.

b. Uso y mantención

Las actividades de uso y mantención de neumáticos deben comenzar con ciclos optimizados que permitan el buen funcionamiento de los neumáticos, es decir, ciclos cortos de trabajo, sin curvas cerradas ni zonas que presenten malas condiciones en el suelo.

La operación busca el óptimo rendimiento del neumático, para esto se deben presentar condiciones favorables en las 3 categorías que conforman el cuidado durante el uso y mantención de neumáticos. Operación del camión, mantenimiento del equipo y condiciones de la ruta.

Incluir actividades de entrenamiento a operadores de camiones, equipos de carguío, equipos auxiliares y mantenedores con foco en el cuidado de los neumáticos será esencial en esta etapa.

c. Recolección

La recolección de neumáticos se realiza por las operaciones mineras solo si optaron por valorizar los NFU. En caso de que los entreguen a un sistema de gestión de residuos, los productores serán encargados de financiar la recolección y los consumidores industriales deberán almacenarlos cumpliendo con las normas vigentes hasta que sean retirados.



Los consumidores que opten por esta vía finalizan la gestión de neumáticos cuando son retirados, el costo de estas actividades será determinado por el sistema de gestión de residuos.

Si las empresas mineras optan por valorizar los NFU, se recomienda que apenas determinen que el neumático no cuenta con las condiciones para recauchaje, se disminuya su tamaño mecánicamente. La recolección de neumáticos cortados permitirá disminuir las capacidades de almacenamiento y facilitará el transporte hacia la planta de valorización.

d. Valorización

Finalmente, a la gestión actual de neumáticos se incluye la etapa de valorización. Actividad que podrán realizar los gestores de residuos o los consumidores industriales.

Quienes valoricen NFU deberán acreditar la venta del 75% de sus productos, para esto, se propone un cadena de métodos de valorización que facilite el comercio de los productos obtenidos.

La ley REP reconoce el recauchaje como actividad válida para la valorización de neumáticos, por lo tanto, la primera opción es evaluar las condiciones del neumático y recauchar si es posible.

En caso contrario, se debe disminuir inmediatamente el tamaño de los neumáticos en la misma operación, utilizando tratamientos mecánicos de corte. De esta forma, se disminuye el volumen utilizado por los NFU, se reduce la capacidad necesaria para almacenamiento y se facilita el transporte hacia la planta de valorización.

La primera actividad para valorizar neumáticos cortados, es disminuir el tamaño de estos mediante trituración mecánica a temperatura ambiente, para extraer el acero y las fibras textiles. Los copos o gránulos de caucho que se puedan vender o utilizar a esta altura del proceso deben ser separados.

Con el caucho triturado se puede continuar hacia el proceso trituración criogénica u optar por el tratamiento térmico pirolisis. A este tamaño, el material de entrada es óptimo para ambos procesos.

La decisión del método de valorización utilizado al final del proceso dependerá de la cantidad de neumáticos y del producto que se desea obtener.



3.4 Metodología de adaptación al ciclo de actividades propuesto

En base al capítulo anterior Ciclo de actividades para la gestión de neumáticos OTR, se genera una propuesta metodológica que apoye a las operaciones mineras de superficie en la adaptación del actual manejo de residuos de neumáticos a un ciclo de actividades que cumpla con las imposiciones de la ley REP en Chile.

Este trabajo de título propone una metodología para estimar el desecho de NFU y utilizar este dato para optar por las alternativas que entrega la ley REP al momento de la adquisición de neumáticos. También, recopila buenas prácticas que contribuyen al cuidado y óptimo rendimiento del neumático durante su uso y mantención.

Se incluyen nuevas etapas en la gestión de neumáticos OTR, recopilación y valorización, donde se propone una cadena de métodos de valorización para la gestión de residuos que entregue alternativas a los consumidores o sistemas de gestión de tal manera que obtengan productos con mayor rentabilidad.

Esta metodología se entrega en los siguientes apartados en forma de diagramas de flujo simples que contienen todas las dimensiones a analizar para cumplir con una correcta y completa gestión de neumáticos OTR, desde antes de escoger un neumático hasta que llega el momento de la valorización.

3.4.1 Adquisición

En la Figura 28 se presenta el diagrama de flujo que contiene la propuesta metodológica para la etapa de adquisición de neumáticos mineros OTR.

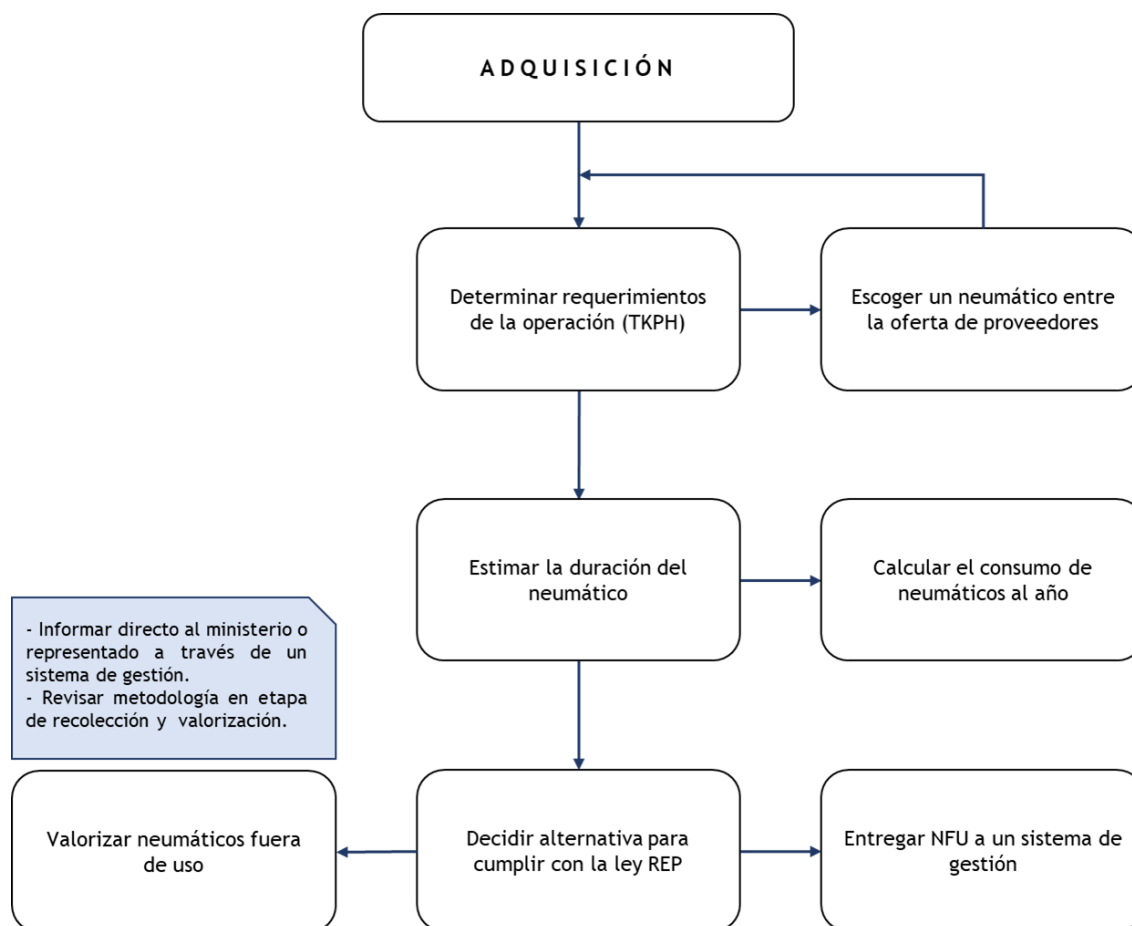


Figura 28: Propuesta metodológica para adquisición.

El detalle de las actividades que componen este diagrama de flujo se encuentra desarrollado en el capítulo Ciclo de actividades para la gestión de neumáticos OTR. Se destaca que en esta etapa todos los consumidores industriales deberán cursar las primeras actividades y tomar una decisión frente a las alternativas para cumplir con la ley REP.

Esta decisión condicionará futuras etapas. Se recomienda hacer una revisión completa de la metodología para conocer todas las dimensiones evaluadas antes de pensar en alguna alternativa.

3.4.2 Uso y mantención

En la Figura 29 se presenta el diagrama de flujo que contiene la propuesta metodológica para la etapa de uso y mantención de neumáticos mineros OTR.

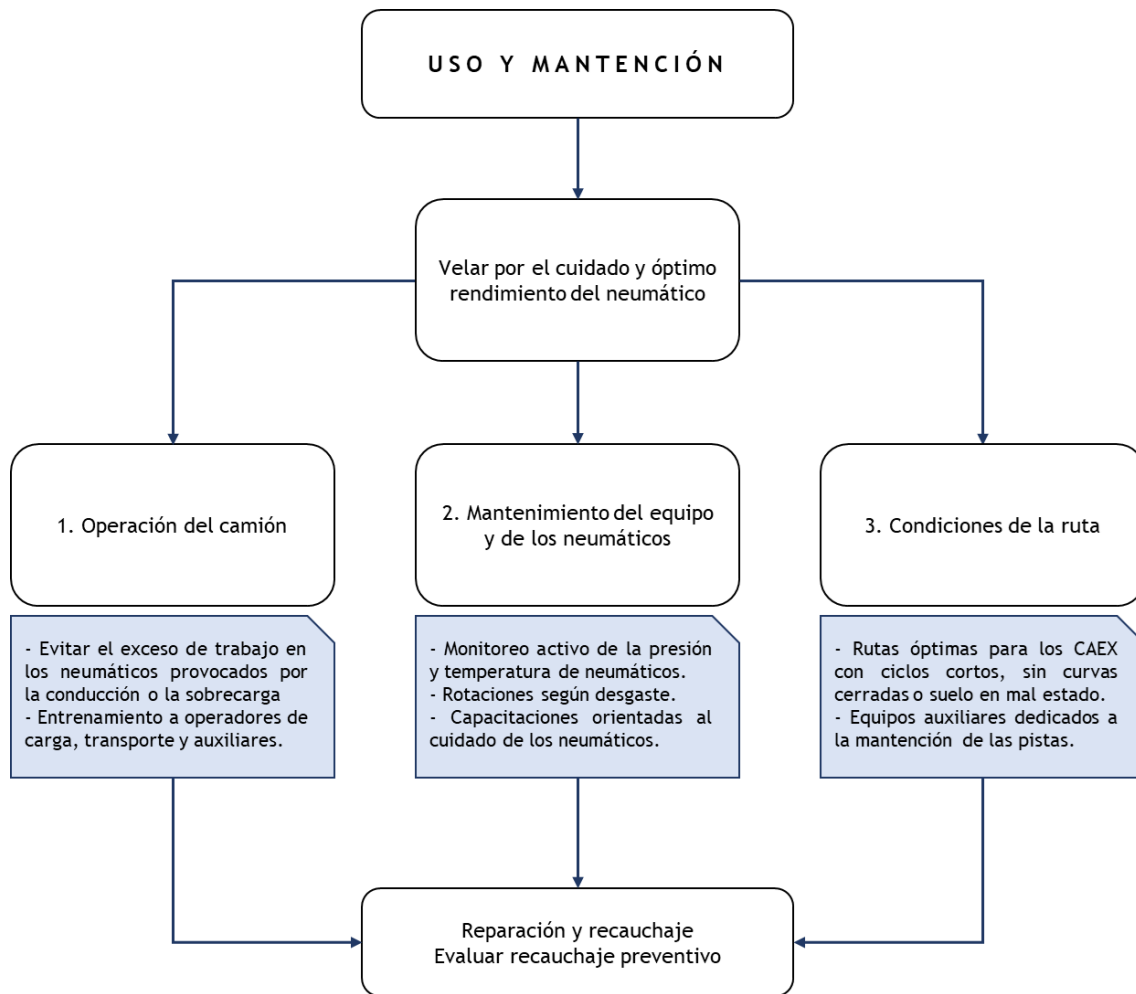


Figura 29: Propuesta metodológica para uso y mantención.

El detalle de las actividades que componen este diagrama de flujo se encuentra desarrollado en el capítulo Ciclo de actividades para la gestión de neumáticos OTR. Se destaca que esta etapa no sufre modificaciones con la aplicación de la ley REP.

El resultado de este diagrama se compone de la recopilación de buenas prácticas que reducen las consecuencias causadas por los factores que influyen en la duración de la vida útil de un neumático minero OTR.

3.4.3 Recolección

En la Figura 30 se presenta el diagrama de flujo que contiene la propuesta metodológica para la etapa de recolección de neumáticos mineros OTR.

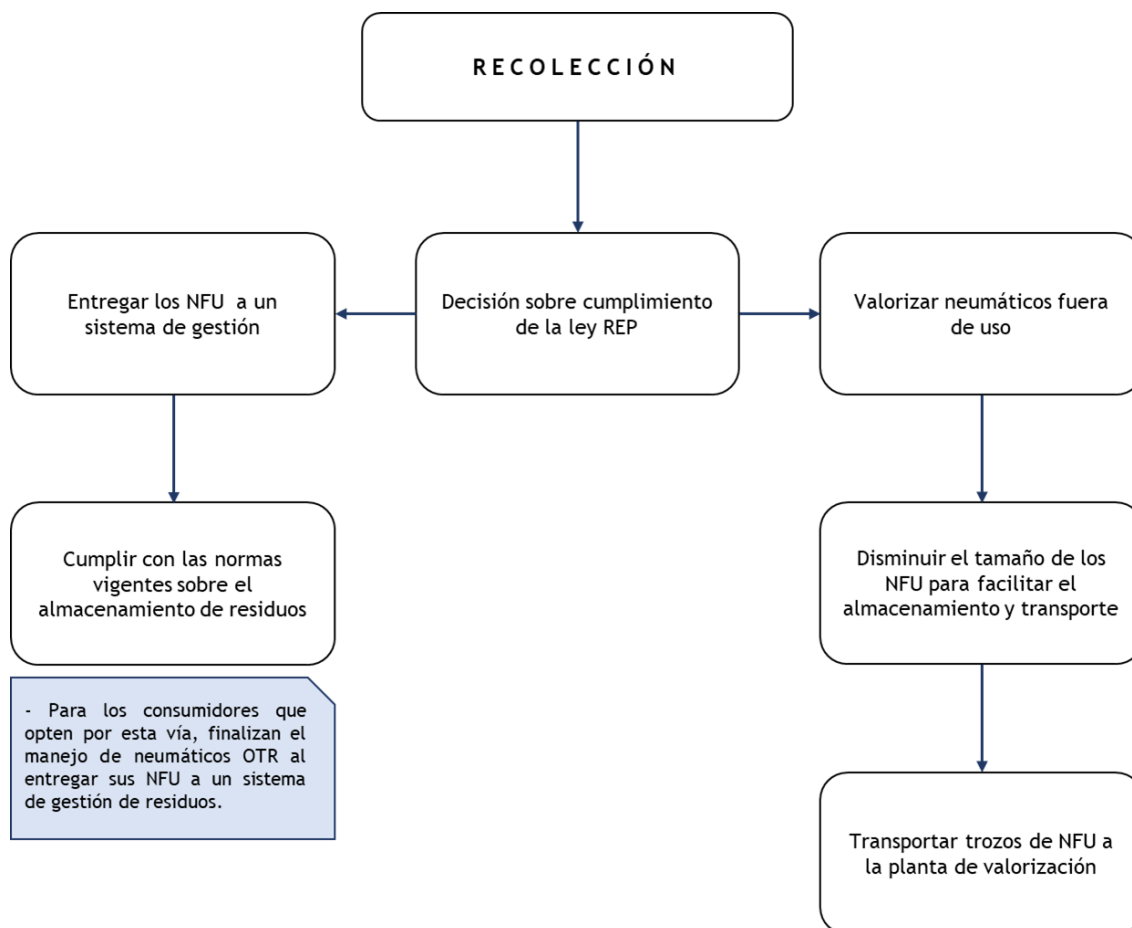


Figura 30: Propuesta metodológica para recolección.

El detalle de las actividades que componen este diagrama de flujo se encuentra desarrollado en el capítulo Ciclo de actividades para la gestión de neumáticos OTR. Se destaca que esta etapa estará condicionada frente a la decisión que toman los consumidores de neumáticos al momento de la adquisición.

Algunos consumidores industriales podrán terminar la gestión de neumáticos en esta etapa, sin embargo, esta decisión tendrá un costo adicional asociado al sistema de gestión de residuos.

3.4.4 Valorización

En la Figura 31 se presenta el diagrama de flujo que contiene la propuesta metodológica para la etapa de valorización de neumáticos mineros OTR.

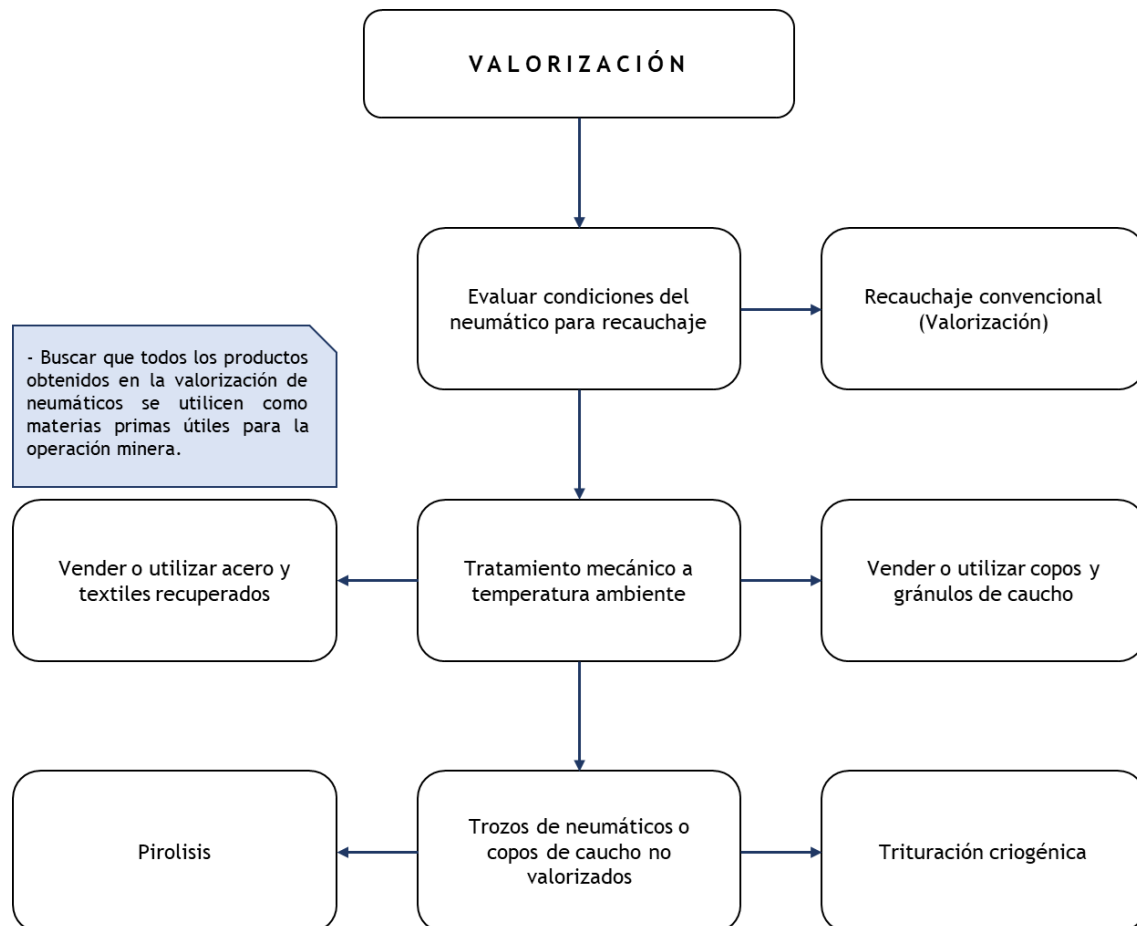


Figura 31: Propuesta metodológica para la valorización.

El detalle de las actividades que componen este diagrama de flujo se encuentra desarrollado en el capítulo Ciclo de actividades para la gestión de neumáticos OTR. Se destaca de esta etapa la importancia del recauchaje, ya que se reconoce en la ley REP como método de valorización.

Quienes deseen valorizar neumáticos y optar por esta metodología, tendrán la opción de terminar el proceso con 2 alternativas de métodos de valorización. Esto dependerá de la cantidad de neumáticos y afectará a las operaciones de las categorías 1, 2 y 3. Las cuales desechan más neumáticos que la capacidad actual de los procesos de trituración criogénica.



Conclusiones

El consumo anual de neumáticos por cada camión minero Ultra Class equivale a 38 toneladas de caucho u 8,5 neumáticos OTR al año. Chile cuenta con 24 operaciones mineras de superficie, principalmente productoras de cobre, que trabajan con este tipo de camiones.

Las operaciones de superficie consideradas en este informe suman cerca de 1.100 CAEX operando en el país, los cuales, en total consumen alrededor de 9.400 unidades de neumáticos al año, equivalente a 42 mil toneladas de caucho.

De acuerdo con la ley REP, al año 2030, se deberá valorizar el 100% de los neumáticos mineros OTR, mediante metas progresivas que comienzan el 2023. Esta actividad podrá ser realizada por los mismos consumidores industriales o por sistemas de gestión de residuos autorizados para esta labor.

Para que las operaciones mineras den respuesta a la ley REP deberán modificar la gestión actual de neumáticos mineros OTR, incluyendo nuevas evaluaciones, decisiones e incorporando nuevas etapas como la recolección y la valorización.

Si las operaciones mineras optan por importar sus neumáticos serán calificadas como productores y tendrán que cumplir con más obligaciones. Tomar esta decisión implica mayor cantidad de responsabilidades e incorpora nuevas tarifas en los sistemas de gestión de residuos.

El primer objetivo del principio de jerarquía de la gestión de residuos es evitar la generación de estos, por ende, obtener el máximo rendimiento de los neumáticos y carcasas con la capacidad de ser reutilizadas a través de recauchaje, cumplirá con este principio de sostenibilidad y reducirá la cantidad de neumáticos para las etapas de recolección y valorización.

Se deduce que los operadores y mantenedores tienen gran responsabilidad en los principales factores que influyen en la duración y el desempeño de los neumáticos en minería.

Actualmente, existen métodos de valorización de neumáticos con capacidades de tratamiento equivalentes a los desechos producidos en el país. Sin embargo, el principal desafío de la valorización de neumáticos consiste en la venta de los productos generados.

Finalmente, se concluye que la industria de los neumáticos se ha visto detenida en innovaciones tecnológicas durante los últimos años, estos activos, hoy significan un alto costo, cuentan con duración limitada y además producen gran cantidad de residuos al término de su uso.



Recomendaciones

Las operaciones mineras deberán incluir en la gestión actual de neumáticos OTR las actividades del ciclo propuesto para cumplir con la ley REP, a través de una metodología que incorpore todas las dimensiones que conforman una correcta y completa gestión de neumáticos.

Esta propuesta metodológica para la gestión de neumáticos mineros OTR se separa en cuatro fases, adquisición, uso y mantención, recolección y valorización.

En la fase de adquisición se sugiere estimar el consumo anual a partir de las características del neumático que cumpla con los requerimientos de la operación. De esta forma, se podrá evaluar entre los costos de contratar gestores de residuos o valorizar los NFU.

Se recomienda que las operaciones mineras adquieran sus neumáticos dentro del mercado nacional, ya que, si importan estos activos serán calificadas como productores.

En cuanto a la fase de uso y mantenimiento, se sugiere promover talleres de capacitación y entrenamiento a los operadores de equipos de carguío, transporte y auxiliares, como también a los mantenedores de camiones, con foco específico en el cuidado de los neumáticos.

Se recomienda evaluar la implementación de camiones autónomos ya que estos presentan mejores rendimientos en el uso de neumáticos que los camiones manuales.

El recauchaje se posiciona como buena opción para reutilizar neumáticos y cumplir con las metas de valorización de la ley REP. Evaluar nuevas tecnologías en recauchajes preventivos y reparaciones sumarán horas de trabajo al neumático y asegurarán carcasas en buen estado.

Para la recolección, se aconseja disminuir inmediatamente el tamaño de los neumáticos no reutilizables, mediante tratamientos mecánicos de corte a temperatura ambiente, así se disminuye la capacidad de almacenamiento y se facilita el transporte de NFU hacia la planta de valorización.

En la etapa de valorización, se propone una cadena de métodos que permita retirar productos cuando estos tengan opción de venta o seguir avanzando hacia procesos que obtienen resultados con mayor rentabilidad. Operaciones que desechen sobre 320 toneladas de NFU deberán optar por pirolisis.

Por último, ingresar tecnologías innovadoras de neumáticos al mercado minero permitirá avanzar hacia la adopción de neumáticos más sostenibles y convenientes para los consumidores, un ejemplo de estas tecnologías son los *Global Air Cylinder Wheels* o *Air Suspension Wheels (ASW)*.



Ruedas mecánicas que trabajan sin aire, construidas principalmente de acero, con un sistema de suspensión neumática en su interior. Diseñadas para CAEX, cargadores y otros vehículos industriales. Este sistema reemplaza llanta, neumático y cadena con un peso total que se encuentra dentro de las pautas del fabricante del vehículo.

Los ASW pueden reemplazar sus bandas de rodadura sin necesidad de quitar la rueda, están diseñados para replicar el tamaño del neumático, la capacidad de carga (o superior) y la desviación del vehículo, soportando un 50% extra de carga lateral, otorgando más estabilidad y seguridad que un neumático de goma en las curvas cerradas.

Se recomienda realizar evaluaciones técnicas y económicas entre las tecnologías disponibles en el mercado para reemplazar neumáticos y el sistema de neumáticos convencionales.



Referencias

Aduana de Chile. (12 de diciembre de 2018). *Aduana de Chile, Customs, Gobierno de Chile*.

Obtenido de ¿Cuándo debo pagar impuestos?: <https://www.aduana.cl/cuando-debo-pagar-impuestos/aduana/2018-12-12/233227.html#>

Alvarado, Y. (2019). *Sistema de gestión de mantenimiento para la durabilidad de los neumáticos OTR para camiones de acarreo en mina con soporte informático. Marcona 2018*. Huánuco - Perú: Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Facultad de Ingeniería Industrial y Sistemas, Escuela profesional de Ingeniería Industrial.

Blanco, J. R. (2016). *Incremento de la vida útil de neumáticos para reducir costos de operación en camiones caterpillar 797F en Toromocho - Chinalco Perú*. Huancayo - Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería Mecánica.

Cajavilca, G. J. (2015). *Implementación del Sistema Michelin Earthmover Management System (MEMS) Evolución 2 en flota de volquetes en Mina Cuajone*. Arequipa, Perú: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Facultad de Geología, Geofísica y Minas, Escuela Profesional de Ingeniería de Minas.

Cámara de Diputados. (14 de agosto de 2013). *Proyecto de ley marco para la gestión de residuos y responsabilidad extendida del productor*. Santiago: Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Obtenido de Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.

COCHILCO. (2019 - 2021). *Análisis del mercado de insumos críticos en la minería del cobre*. Santiago de Chile: Comisión Chilena del Cobre, Ministerio de Minería, Gobierno de Chile.

Consejo Minero. (02 de Mayo de 2022). *Mapa Minero*. Obtenido de Mapa Minero de Chile: <https://consejominero.cl/nosotros/mapa-minero/>



- Cortez, D. (2018). *Modelo de negocio para una empresa recicladora de neumáticos mineros en Chile*. Santiago de Chile: Universidad de Chile, Facultad de ciencias físicas y matemáticas, Departamento de Ingeniería Industrial.
- Horizonte Minero. (24 de julio de 2019). *Horizonte Minero, Revista Internacional de Minería y Energía*. Obtenido de Una vista cercana al mercado de neumáticos mineros: <https://www.horizonteminero.com/una-vista-cercana-al-mercado-de-neumaticos-mineros/>
- KalTire Mining. (15 de Marzo de 2021). *Reciclaje de neumáticos de Minería*. Obtenido de Planta de reciclaje de neumáticos: <https://www.kaltiremining.com/es/reciclaje-de-neumaticos-de-mineria/>
- López, M. (2008). *Análisis y gestión de costos en explotación minera a cielo abierto*. Santiago de Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería de Minas.
- Ministerio del Medio Ambiente. (01 de 06 de 2016). *Ley N°20.920 Establece marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y el fomento al reciclaje*. Santiago de Chile: Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Obtenido de Ley N°20.920 Diario Oficial: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=1090894&f=2016-06-01>
- Ministerio del medio ambiente. (2020). *Ley de fomento al reciclaje*. Obtenido de <https://mma.gob.cl/economia-circular/ley-de-fomento-al-reciclaje/>
- Ministerio del Medio Ambiente. (20 de 01 de 2021). *Decreto Supremo - Establece metas de recolección y valorización y otras obligaciones asociadas de neumáticos*. Santiago de Chile: Diario Oficial de la Republica de Chile, Ministerio del Interior y Seguridad Pública. Obtenido de Decreto supremo establece metas de recolección y valorización y otras obligaciones asociadas de neumáticos.



Morales, J. I. (2020). *Aumento de vida útil de los neumáticos para la flota de transporte de minera centinela*. Santiago de Chile: Universidad de Chile, Facultad de ciencias físicas y matemáticas, Departamendo de ingeniería de minas.

Prieto, A. (16 de 06 de 2021). *Autonoción*. Obtenido de Partes de la rueda de coche:

<https://www.autonocion.com/partes-de-una-rueda-de-coche/>

Superintendencia del Medio Ambiente. (2021). *Dicta instrucción de carácter general que precisa el contenido de los informes que deben presentar los sistemas de gestión de neumáticos, en conformidad al artículo 17 del decreto supremo N°8, de 2019, del Ministerio del Medio Ambiente*. Santiago de Chile: Diario Oficial de la Republica de Chile.

Tirel, K. (2017). *Ingeniería de perfil de modernas plantas para reciclaje de neumáticos fuera de uso (NFU)*. Santiago de Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Mecánica.



Anexos

A. Marco regulatorio previo al proyecto de ley REP

El marco regulatorio que, al 14 de agosto de 2013 día de la emisión del proyecto de Ley REP, hacía referir al manejo de residuos sólidos estaba compuesto por las normas indicadas en el siguiente listado.

- a. **Código Sanitario:** establece la obligación de las municipalidades de recolectar, transportar y eliminar por métodos adecuados las basuras, residuos y desperdicios que se depositen o produzcan en la vía urbana (artículo 11 letra b).
- b. **Decreto ley N°3.063/1979, Ley de Rentas Municipales:** se refiere al cobro del servicio municipal de extracción de residuos sólidos domiciliarios.
- c. **Ley N°18.695, Orgánica de Municipalidades:** establece como función privativa de las municipalidades el aseo y ornato de la comuna (artículo 3 letra f).
- d. **Decreto supremo N°685/1992 en que Chile ratifica el convenio de Basilea:** regula el movimiento transfronterizo de desechos peligrosos.
- e. **Ley N°19.300:** exige evaluación ambiental a ciertos proyectos vinculados al manejo de residuos (artículo 10 letras i, ñ y o). Asimismo, establece como función del Ministerio de Medio Ambiente proponer políticas y formular normas, planes y programas en materias de residuos (artículo 70 letra g).
- f. **Decreto supremo N°594/2000 del MINSAL:** establece condiciones sanitarias y ambientales en los lugares de trabajo,
- g. **Decreto supremo N°148/2004 del MINSAL:** establece el Reglamento Sanitario sobre el Manejo de residuos peligrosos.
- h. **Decreto supremo N°45/2007 del MINSEGPRES:** establece la norma de emisión para la incineración y co-incineración.
- i. **Decreto supremo N°189/2008 del MINSAL:** regula condiciones sanitarias y de seguridad básica en los rellenos sanitarios.
- j. **Decreto supremo N°6/2009 del MINSAL:** regula el manejo de residuos generados en establecimientos de atención de salud.
- k. **Decreto supremo N°4/2009 del MINSEGPRES:** reglamenta el manejo de lodos generados en plantas de tratamientos de aguas servidas.



- l. Decreto supremo N°2/2010 del MINSAL:** regula la autorización de movimientos transfronterizos de residuos peligrosos consistentes en baterías de plomo usadas.
- m. Decreto supremo N°3/2012 del Ministerio del Medio Ambiente:** reglamenta el manejo de lodos provenientes de plantas de tratamiento de efluentes de la industria procesadora de frutas y hortalizas.

B. Principios que inspiran la ley REP

Los principios que inspiran la Ley N°29.920 o ley REP son los siguientes:

- 1. El que contamina paga:** el generador de un residuo es responsable de éste, así como de internalizar los costos y las externalidades negativas asociados a su manejo.
- 2. Gradualismo:** Las obligaciones para prevenir la generación de residuos y fomentar su reutilización, reciclaje y otro tipo de valorización serán establecidas o exigidas de manera progresiva, atendiendo a la cantidad y peligrosidad de los residuos, las tecnologías disponibles, el impacto económico y social y la situación geográfica, entre otros.
- 3. Inclusión:** Conjunto de mecanismos e instrumentos de capacitación, financiación y formalización orientados a posibilitar la integración plena de los recicladores de base en la gestión de los residuos, incluidos los sistemas de gestión en el marco de la responsabilidad extendida del productor.
- 4. Jerarquía en el manejo de residuos:** Orden de preferencia de manejo, que considera como primera alternativa la prevención en la generación de residuos, luego la reutilización, el reciclaje de los mismos o de uno o más de sus componentes y la valorización energética de los residuos, total o parcial, dejando como última alternativa su eliminación, acorde al desarrollo de instrumentos legales, reglamentarios y económicos pertinentes.
- 5. Libre competencia:** El funcionamiento de los sistemas de gestión y la operación de los gestores en ningún caso podrá atentar contra la libre competencia.
- 6. Participativo:** La educación, opinión y el involucramiento de la comunidad son necesarios para prevenir la generación de residuos y fomentar su reutilización, reciclaje y otro tipo de valorización.
- 7. Precautorio:** la falta de certeza científica no podrá invocarse para dejar de implementar las medidas necesarias para disminuir el riesgo de daños para el medio ambiente y la salud humana derivado del manejo de residuos.



8. **Preventivo:** Conjunto de acciones o medidas que se reflejan en cambios en los hábitos en el uso de insumos y materias primas utilizadas en procesos productivos, diseño o en modificaciones en dichos procesos, así como en el consumo, destinadas a evitar la generación de residuos, la reducción en cantidad o la peligrosidad de los mismos.
9. **Responsabilidad del generador de un residuo:** El generador de un residuo es responsable de éste, desde su generación hasta su valorización o eliminación, en conformidad a la ley.
10. **Transparencia y publicidad:** La gestión de residuos se efectuará con transparencia, de manera que la comunidad pueda acceder a la información relevante sobre la materia.
11. **Trazabilidad:** Conjunto de procedimientos preestablecidos y autosuficientes que permiten conocer las cantidades, ubicación y trayectoria de un residuo o lote de residuos a lo largo de la cadena de manejo.

C. Definiciones de la ley REP

Para los efectos de la Ley N°20.920 o ley REP, se entenderá por:

- A. **Almacenamiento:** Acumulación de residuos en un lugar específico por un tiempo determinado.
- B. **Ciclo de vida de un producto:** Etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema productivo, desde la adquisición de materias primas o su generación a partir de recursos naturales, hasta su eliminación como residuo.
- C. **Comercializador:** Toda persona natural o jurídica, distinta del productor, que vende un producto prioritario al consumidor. En el caso de envases y embalajes, el comercializador es aquel que vende el bien de consumo envasado o embalado al consumidor.
- D. **Consumidor:** Todo generador de un residuo de producto prioritario
- E. **Consumidor industrial:** Todo establecimiento industrial, de acuerdo con la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, que genere residuos de un producto prioritario.
- F. **Distribuidor:** Toda persona natural o jurídica, distinta del productor, que comercializa un producto prioritario antes de su venta al consumidor. En el caso de envases y embalajes, el distribuidor es aquel que comercializa el bien de consumo envasado o embalado antes de su venta al consumidor.
- G. **Ecodiseño:** Integración de aspectos ambientales en el diseño del producto, envase, embalaje, etiquetado u otros, con el fin de disminuir las externalidades ambientales a lo largo de todo su ciclo de vida.



- H. Eliminación:** Todo procedimiento cuyo objetivo es disponer en forma definitiva o destruir un residuo en instalaciones autorizadas.
- I. Generador:** Poseedor de un producto, sustancia u objeto que lo desecha o tiene la obligación de desecharlo de acuerdo con la normativa vigente.
- J. Gestor:** Persona natural o jurídica, pública o privada, que realiza cualquiera de las operaciones de manejo de residuos y que se encuentra autorizada y registrada en conformidad a la normativa vigente.
- K. Gestión:** Operaciones de manejo y otras acciones de política, de planificación, normativas, administrativas, financieras, organizativas, educativas, de evaluación, de seguimiento y fiscalización, referidas a residuos.
- L. Instalación de recepción y almacenamiento:** Lugar o establecimiento de recepción y acumulación selectiva de residuos, debidamente autorizado.
- M. Manejo:** Todas las acciones operativas a las que se somete un residuo, incluyendo, entre otras, recolección, almacenamiento, transporte, pretratamiento y tratamiento.
- N. Manejo ambientalmente racional:** La adopción de todas las medidas posibles para garantizar que los residuos se manejen de manera que el medio ambiente y la salud de las personas queden protegidos contra los efectos perjudiciales que pueden derivarse de tales residuos.
- O. Mejores prácticas ambientales:** La aplicación de la combinación más exigente y pertinente de medidas y estrategias de control ambiental.
- P. Mejores técnicas disponibles:** La etapa más eficaz y avanzada en el desarrollo de los procesos, instalaciones o métodos de operación, que expresan la pertinencia técnica, social y económica de una medida particular para limitar los impactos negativos en el medio ambiente y la salud de las personas.
- Q. Ministerio:** Ministerio del Medio Ambiente.
- R. Preparación para la reutilización:** Acción de revisión, limpieza o reparación, mediante la cual productos o componentes de productos desechados se acondicionan para que puedan reutilizarse sin ninguna otra transformación previa.
- S. Pretratamiento:** Operaciones físicas preparatorias o previas a la valorización o eliminación, tales como separación, desembalaje, corte, trituración, compactación, mezclado, lavado y empaque, entre otros, destinadas a reducir su volumen, facilitar su manipulación o potenciar su valorización.
- T. Producto prioritario:** Sustancia u objeto que una vez transformado en residuo, por su volumen, peligrosidad o presencia de recursos aprovechables, queda sujeto a las obligaciones de la responsabilidad extendida del productor, en conformidad a esta ley.



U. Productor de un producto prioritario o productor: Persona que, independientemente de la técnica de comercialización:

- a. enajena un producto prioritario por primera vez en el mercado nacional.
- b. enajena bajo marca propia un producto prioritario adquirido de un tercero que no es el primer distribuidor.
- c. importa un producto prioritario para su propio uso profesional.

En el caso de envases y embalajes, el productor es aquél que introduce en el mercado el bien de consumo envasado y/o embalado.

El decreto supremo que establezca las metas y otras obligaciones asociadas de cada producto prioritario sobre la base de criterios y antecedentes fundados determinará los productores a los que les será aplicable la responsabilidad extendida del productor, previa consideración de su condición de micro, pequeña o mediana empresa, según lo dispuesto en la ley N°20.416.

V. Reciclador de base: Persona natural que, mediante el uso de la técnica artesanal y semi industrial, se dedica en forma directa y habitual a la recolección selectiva de residuos domiciliarios o asimilables y a la gestión de instalaciones de recepción y almacenamiento de tales residuos, incluyendo su clasificación y pretratamiento. Sin perjuicio de lo anterior, se considerarán también como recicladores de base las personas jurídicas que estén compuestas exclusivamente por personas naturales registradas como recicladores de base, en conformidad al artículo 37.

W. Reciclaje: Empleo de un residuo como insumo o materia prima en un proceso productivo, incluyendo el coprocesamiento y compostaje, pero excluyendo la valorización energética.

X. Recolección: Operación consistente en recoger residuos, incluido su almacenamiento inicial, con el objeto de transportarlos a una instalación de almacenamiento, una instalación de valorización o de eliminación, según corresponda. La recolección de residuos separados en origen se denomina diferenciada o selectiva.

Y. Residuo: Sustancia u objeto que su generador desecha o tiene la intención u obligación de desechar de acuerdo con la normativa vigente.

Z. Reutilización: Acción mediante la cual productos o componentes de productos desechados se utilizan de nuevo, sin involucrar un proceso productivo.

AA. Sistema de gestión: Mecanismo instrumental para que los productores, individual o colectivamente, den cumplimiento a las obligaciones establecidas en el marco de la responsabilidad extendida del productor, a través de la implementación de un plan de gestión.

BB. Superintendencia: Superintendencia del Medio Ambiente.



CC. Tratamiento: Operaciones de valorización y eliminación de residuos.

DD. Valorización: Conjunto de acciones cuyo objetivo es recuperar un residuo, uno o varios de los materiales que lo componen y/o el poder calorífico de los mismos. La valorización comprende la preparación para la reutilización, el reciclaje y la valorización energética.

EE. Valorización energética: Empleo de un residuo con la finalidad de aprovechar su poder calorífico.

D. Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes

El Título V de la ley N°29.920 (Sistemas de información) contiene solo el artículo 37, que hace referencia al registro en la ley REP. Todo registro se realizará a través del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC), a que se refiere el artículo 70, letra p), de la ley N° 19.300, este contendrá y permitirá gestionar información sobre:

- a) Los productores de productos prioritarios.
- b) Los sistemas de gestión autorizados y sus integrantes.
- c) Los distribuidores o comercializadores de productos prioritarios, cuando corresponda.
- d) Las instalaciones de recepción y almacenamiento.
- e) Los gestores autorizados, incluyendo a las municipalidades y asociaciones de municipalidades que tuvieren convenios vigentes con un sistema de gestión, relativos al manejo de residuos de productos prioritarios, y a los recicladores de base, de conformidad con el artículo 32.
- f) El cumplimiento de metas de recolección y valorización.
- g) Toda otra información que establezca el respectivo reglamento.

El reglamento establecerá el contenido y funcionamiento del Registro, el que deberá asegurar la confidencialidad comercial e industrial.

El Ministerio procurará que la información contenida en el registro sea difundida en un lenguaje de fácil comprensión a través de su sitio electrónico.

E. Consideraciones del Decreto Supremo de ley REP asociado a neumáticos

- a) Es deber del Estado de Chile garantizar el derecho de las personas a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, así como el derecho a la protección de la salud.



- b) El crecimiento económico ha generado tanto un aumento en el uso y la extracción de recursos naturales como un incremento en la generación de residuos, por lo que se vuelve fundamental contar con un adecuado marco normativo que pueda propiciar avances hacia una economía circular, que ayude a disminuir la generación de residuos y aumentar la valorización de estos.
- c) En Chile se desechan, anualmente, alrededor de 6,6 millones de neumáticos, los que corresponden a cerca de 180 mil toneladas. Considerando el desgaste por el uso, la generación anual de residuos de neumáticos se estima que bordea las 140 mil toneladas.
- d) De esas toneladas, sólo un 17%, aproximadamente, se maneja de forma ambientalmente racional. Del porcentaje restante, una fracción termina siendo depositada de forma ilegal en basurales y vertederos clandestinos, desconociéndose con exactitud el destino de la gran mayoría de los residuos de neumáticos.
- e) Estos residuos contienen recursos que pueden ser aprovechados, como el caucho y el acero.
- f) Buscando potenciar la prevención en la generación de los residuos y promover su valorización, se promulgó y publicó el año 2016 la ley N°20.920, marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje. Dicha ley crea el instrumento “responsabilidad extendida del productor”, un régimen especial de gestión de residuos, conforme al cual los productores de productos prioritarios son responsables de la organización y financiamiento de la gestión de los residuos de los productos prioritarios que comercialicen en el país, debiendo organizar y financiar la recolección y la valorización de estos.
- g) Considerando que cada producto prioritario tiene un mercado que reviste características particulares y específicas, la ley contempla que las metas de recolección y valorización de aquellos sean determinadas mediante decretos supremos elaborados especialmente para estos efectos, delegando, además, en un reglamento el establecimiento del procedimiento para dicha elaboración.
- h) Dicho reglamento se materializó a través del decreto supremo N°8, del año 2017, del Ministerio del Medio Ambiente. El procedimiento en él contenido contempla diversas etapas, entre las que se incluyen la dictación de una resolución que dé inicio al procedimiento; la apertura de un plazo para recibir antecedentes técnicos, económicos y sociales sobre la materia a regular; la elaboración de un análisis general del impacto económico y social (AGIES); la elaboración de un anteproyecto del decreto supremo respectivo y la convocatoria y conformación de un Comité Operativo Ampliado, al que se le debe consultar el citado anteproyecto.
- i) Dicho procedimiento se llevó a cabo de conformidad con lo indicado en el reglamento referido, comenzando con la resolución exenta N°1.491, de 22 de diciembre de 2017, del



Ministerio del Medio Ambiente, que da inicio al proceso de elaboración del decreto supremo que establece metas de recolección y valorización y otras obligaciones asociadas de neumáticos, y continuando con un período en el que se recibieron diversos antecedentes aportados por los interesados.

- j) Luego se convocó y conformó el Comité Operativo Ampliado, el que sesionó en seis ocasiones, aportando valiosos insumos a la regulación propuesta.
- k) A su vez, se elaboró el AGIES respectivo y arrojó como resultado que los beneficios económicos y sociales de la regulación propuesta son 1,7 veces superiores a sus costos.
- l) Se sometió el anteproyecto de decreto supremo a consulta pública y se recibieron más de 100 observaciones de distintos actores. Además, se escuchó la opinión del Consejo Consultivo del Ministerio del Medio Ambiente.
- m) Además de los antecedentes técnicos, económicos y sociales aportados en el plazo correspondiente, y de las opiniones rescatadas en las seis sesiones del Comité Operativo Ampliado, se tuvieron en consideración los estudios señalados en la resolución exenta N°1.491, de 2017, ya señalada.
- n) Analizados los estudios, las observaciones recibidas al anteproyecto y los insumos aportados por los diversos incumbidos, con fecha 8 de febrero de 2019, se aprobó una propuesta de decreto supremo, mediante la resolución exenta N°102.
- o) Esta propuesta de decreto supremo fue remitida al Consejo de Ministros para la Sustentabilidad para su conocimiento. El Consejo sesionó el día 26 de marzo y se pronunció favorablemente sobre la propuesta, según consta en el acta de la sesión ordinaria N°3/2019.
- p) En consecuencia, habiéndose verificado los hitos descritos precedentemente, corresponde dar curso al procedimiento, dictando el decreto supremo que establece metas de recolección y valorización y otras obligaciones asociadas de neumáticos.
- q) Los neumáticos, aun siendo productos prioritarios, siguen estando sometidos a la regulación sectorial que corresponda, especialmente aquella relativa a las exigencias de seguridad para el transporte.
- r) Para la elaboración del decreto supremo, se tuvieron en consideración los principios que informan la ley N°20.920 y, especialmente, el principio “el que contamina paga”, el principio de gradualismo, el de jerarquía en el manejo de residuos, el de libre competencia y el principio participativo.



- s) Asimismo, se busca incentivar la descentralización, potenciando la recolección en todas las regiones del país, mediante el establecimiento de metas de recolección que deben cumplirse dentro de un territorio determinado.
- t) Por otra parte, atendido el riesgo que existe de que se produzcan distorsiones de mercado por la existencia de sistemas individuales de gestión, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 19 de la ley N°20.920, se ha restringido su aplicación permitiendo que estos sistemas sólo puedan cumplir sus metas de recolección y valorización con los residuos de los neumáticos que han introducido al mercado, de forma tal de impedir que un productor que no se asocia con otros en un sistema colectivo, pueda dar cumplimiento a sus metas con los residuos de los neumáticos que otro productor introduce al mercado.
- u) Mediante dicha restricción, se incentiva que los productores deban internalizar en su función de costos el valor que tiene gestionar los residuos en los que se transforman los productos que introducen en el mercado, cuestión que es fundamental para el éxito de la responsabilidad extendida del productor y para la efectividad de sus objetivos ambientales.
- v) En consecuencia, la restricción a los sistemas individuales de gestión cumple el objetivo de evitar distorsiones de mercado que pongan en riesgo la efectividad de la responsabilidad extendida del productor. En este contexto, no se estima necesario restringirlos del todo, ya que puede haber casos en los que se justifique que algún productor actúe de forma individual o que asociándose unos pocos productores puedan dar cumplimiento a las metas de recolección y valorización únicamente con los residuos en que devienen los productos que ellos mismos introducen al mercado, como ocurre cuando tienen contacto directo con los consumidores a los que enajenan sus productos. En estos casos excepcionales, la restricción no los afecta, pues no se pone en peligro la efectividad del instrumento, según demuestra la experiencia comparada.

F. Definiciones del Decreto Supremo de Ley REP asociado a neumáticos.

1. **Categoría:** Cada una de las clases de neumáticos que presentan características similares y en virtud de las cuales reciben un trato idéntico para efectos de dar cumplimiento a las obligaciones establecidas en el presente decreto.
2. **Coprocesamiento:** Operación de tratamiento de neumáticos fuera de uso en un proceso industrial, en el que existe un aprovechamiento tanto de la energía como del material presente en estos residuos.



3. **Gestor autorizado y registrado:** Gestor que cumple con los requisitos necesarios para realizar el manejo de residuos, de conformidad con la normativa vigente, y que se encuentra inscrito en el RETC, según lo dispuesto en el artículo 6°, inciso segundo, de la ley y el artículo 29 de este decreto. En adelante, indistintamente también denominado como "gestor".
4. **Introducir en el mercado nacional:** Enajenar un producto prioritario por primera vez en el mercado nacional; enajenar bajo marca propia un producto prioritario adquirido de un tercero que no es el primer distribuidor; o importar un producto prioritario para el propio uso profesional.
5. **Ley:** Ley N°20.920, marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje.
6. **Ministerio:** Ministerio del Medio Ambiente.
7. **NCh3374:** NCh3374:2015 Neumáticos - Requisitos para el proceso de recauchaje.
8. **Neumático:** Pieza toroidal fabricada con un compuesto constituido principalmente por caucho, natural o sintético, y otros aditivos, con cámara de aire o sin ella, que suele montarse sobre la llanta de una rueda.⁶
9. **Neumático fuera de uso o NFU:** Neumático que su generador desecha o tiene la intención u obligación de desechar, de acuerdo a la normativa vigente.
10. **Recauchaje:** Operación de reacondicionamiento de neumáticos usados mediante el cual se reemplaza la banda de rodadura de un neumático, con o sin la goma de los laterales del mismo, con el objeto de prolongar su vida útil.
11. **Reciclaje material:** Conjunto de acciones que tienen por objeto recuperar uno o varios de los materiales que componen un residuo de neumático, excluyéndose aquellos procesos que lo utilizan, total o parcialmente, como fuente de energía o para la producción de combustible.
12. **Reglamento:** Decreto supremo N°8, de 2017, del Ministerio del Medio Ambiente, Reglamento que regula el procedimiento de elaboración de los decretos supremos establecidos en la ley N°20.920.
13. **RETC:** Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes.
14. **Uso profesional:** Utilización del neumático por su importador, en tanto dicho uso corresponda a cualquier proceso en virtud del cual éste desarrolle su objeto, giro o fin. Se excluyen de este uso, expresamente, los neumáticos que, cumpliendo con la definición anterior, han sido enajenados o han sido adquiridos con la intención de ser enajenados

G. Importaciones de equipos e insumos críticos para la minería del Cobre en Chile

Importaciones de equipos e insumos 2005-2020 (MUS\$ CIF)																
AÑO	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Neumáticos OTR	86	112	140	189	190	184	249	353	422	354	268	196	252	265	341	319
Bolas de Molienda	16	16	16	13	36	68	63	69	97	140	153	164	158	188	208	185
Cal	18	25	26	32	31	32	38	50	58	56	75	92	73	74	61	56
Extractantes SX	23	46	39	48	41	42	38	46	40	54	51	36	31	36	35	29
Floculantes	6	4	8	10	2	7	7	12	10	13	12	9	2	7	8	9
Camiones de extracción	134	170	177	326	231	342	357	675	388	309	95	60	129	199	173	216
Palas de carguío	40	74	124	90	112	155	259	253	210	83	61	39	66	51	24	120
Perforadoras	36	25	54	83	50	74	138	169	115	64	65	21	30	49	87	54
Precio del CU (US\$/lb)	167.1	305.3	323.2	315.3	234.2	342	399.7	360.6	332.1	311.3	249.2	220.6	279.7	295.9	272.1	280.3



H. Operaciones mineras de superficie en Chile

Id	Nombre Operación	Compañía	Región ubicación	Producción 2021 [kton Cu fino]	Clasificación	Rango de CAEX	N° de CAEX	N° de Neumáticos	Ton. Caucho Eq.
1	Cerro Colorado	BHP Pampa Norte	Tarapacá	57	5	15 - 30	26	221	995
2	Doña Inés de Collahuasi	Cía. M. Doña Inés de Collahuasi	Tarapacá	630	1	70 - 100	87	740	3330
3	Quebrada Blanca	Cía. Quebrada Blanca	Tarapacá	12	6	5 - 20	10	85	383
4	El Abra	Sociedad C. Minera El Abra	Antofagasta	73	4	20 - 50	42	357	1607
5	Radomiro Tomic	Codelco	Antofagasta	326	2	50 - 80	65	553	2489
6	Chuquibambilla	Codelco	Antofagasta	319	2	50 - 80	65	553	2489
7	Ministro Hales	Codelco	Antofagasta	182	3	30 - 60	52	442	1989
8	Antucoya	Antucoya	Antofagasta	79	4	20 - 50	42	357	1607
9	Spence	BHP Pampa Norte	Antofagasta	200	3	30 - 60	52	442	1989
10	Sierra Gorda	Sierra Gorda SCM	Antofagasta	198	3	30 - 60	52	442	1989
11	Centinela	Minera Centinela	Antofagasta	151	3	30 - 60	52	442	1989
12	Gabriela Mistral	Codelco	Antofagasta	101	4	20 - 50	42	357	1607
13	Lomas Bayas	Cía. Minera Lomas Bayas	Antofagasta	74	4	20 - 50	42	357	1607
14	Zaldívar	Cía. Minera Zaldívar	Antofagasta	44	5	15 - 30	26	221	995
15	Escondida	Minera Escondida Ltda.	Antofagasta	984	1	70 - 100	87	740	3330
16	Franke	KGHM	Antofagasta	11	6	5 - 20	10	85	383
17	Salvador	Codelco	Atacama	53	5	15 - 30	26	221	995
18	Candelaria	Cía. C. Minera Candelaria	Atacama	152	3	30 - 60	52	442	1989
19	Caseros	SCM Minera Lumina Copper Chile	Atacama	110	4	20 - 50	42	357	1607
20	Carmen de Andacollo	Cía. M. Teck Carmen Andacollo	Coquimbo	45	5	15 - 30	26	221	995
21	Los Pelambres	Minera Los Pelambres	Coquimbo	324	2	50 - 80	65	553	2489
22	El Soldado	Anglo American Sur	Valparaíso	42	5	15 - 30	26	221	995
23	Andina	Codelco	Valparaíso	177	3	30 - 60	52	442	1989
24	Los Bronces	Anglo American Sur	Santiago	328	2	50 - 80	65	553	2489
Total de neumáticos								9404	42326

