



**FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE
INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**

**“ESTUDIO TÉCNICO, AMBIENTAL Y DE MERCADO DE LA INSTALACIÓN
DE UNA PLANTA DE VALORIZACIÓN ENERGÉTICA MEDIANTE CO-
INCINERACIÓN DE NEUMÁTICOS “OTR MINEROS” FUERA DE USO PARA
LA EMPRESA AMFFAL SPA, COPIAPÓ REGIÓN DE ATACAMA”**

Proyecto de Título II
Para Optar al Título de Ingeniero Civil Ambiental y al
Grado Académico de Licenciado en Ciencias de la Ingeniería

EMILIO NICOLAS ESTAY ROJAS

Profesor Guía:
Patricio Antonio Méndez Quinteros

Valparaíso, Chile

2022

DEDICATORIA

Dedicada a mi familia, en especial para mi madre, por ser mi ejemplo a seguir y mi motivación en convertirme en un gran profesional.

AGRADECIMIENTOS

Mi sueño de chico fue convertirme en ingeniero. En mi adolescencia no tenía claro en que rama de la ingeniería dedicarme, aunque con el tiempo supe que mi intención era contribuir al desarrollo de un mundo mejor, por esta razón decidí estudiar esta hermosa carrera. Hoy en día, ya finalizando un ciclo donde puedo disfrutar el cumplimiento de mi sueño, quisiera agradecer a todas las personas que fueron parte desde un comienzo, hasta la parte final de este maravilloso proceso.

Primero y lo más importante para mí, agradecer a mi madre Gloria Rojas Araya, una mujer ejemplar. Su entrega de amor infinito, ejemplo como persona, su enseñanza de valores y principios, me ayudó enormemente a desarrollarme como persona y en esta parte de mi vida adulta como profesional. A mi tío Marco Araya Araya, por siempre entregarme consejos y motivarme a crecer como persona y profesionalmente. A mi familia, por creer y confiar siempre en mí.

A Juan Pablo Trivique, mi mentor de pequeño y la persona que pulió mi espíritu competitivo y me incentivó a pensar y creer en grande. A mis amigos y amigas por siempre darme palabras de ánimo y motivarme cuando las cosas se ponían difíciles. A la empresa Amffal, por darme la oportunidad de trabajar en este proyecto, a los amigos y profesionales que he podido conocer en este tiempo. Sin duda su ejemplo como profesional y madurez me han impulsado a terminar este proyecto.

Finalmente, gracias a Dios, por todas las experiencias maravillosas que he contemplado en estos años de vida. Me siento realmente una persona afortunada y con deseos de crecer y entregar lo mejor de mi hoy y siempre.

Contenido

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTOS	3
RESUMEN.....	11
ABSTRACT	12
1. INTRODUCCIÓN	13
2. OBJETIVOS	15
Objetivo general	15
Objetivos específicos	15
CAPÍTULO I ANTECEDENTES GENERALES	16
1.1 Planteamiento del problema.....	17
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	19
2.1 Neumáticos	20
2.3 Neumáticos OTR.....	25
2.4 Generación de Neumáticos	25
2.5 Gestión de Neumáticos	27
2.5.1 Reciclaje a partir de la trituración del NFU	27
2.5.1.1 Trituración a temperatura ambiente	27
2.5.1.2 Trituración criogénica	28
2.5.2 Recauchaje	28
2.5.3 Valorización energética.....	29
2.5.4 Tratamiento térmico	29
2.5.5.1 Incineración	30
2.5.5.2 Coprocesamiento	30
2.5.5.3 Pirólisis	31
2.5.5.4 Gasificación.....	31
2.5.5.5 Proceso combinado de destilación y gasificación	32
2.5.5.6 Uso del caucho en combinación con el carbón en calderas.....	33
CAPÍTULO III MARCO NORMATIVO	34
3.1 Marco jurídico.....	35

CAPÍTULO IV METODOLOGÍA.....	40
4. Levantamiento de la información.....	41
4.1 Estudio Técnico.....	41
4.2 Estudio Ambiental	42
4.3 Estudio de Mercado	42
4.4 Formular los análisis y conclusiones del estudio de investigación.	43
CAPÍTULO V ESTUDIO TÉCNICO.....	44
5.1 Descripción del Proceso.....	45
5.2 Descripción General del Proceso de Pirólisis.....	48
5.2.1 Control de acceso vehicular	51
5.2.2 Descarga de NFU a Almacenar	51
5.2.3 Trituración Mecánica.....	52
5.2.4 Pirólisis	53
5.3 Productos del Proceso.....	53
5.3.1 Chatarra de Acero de Neumáticos Mineros	53
5.3.2 Carbón de Llanta	53
5.3.3 Aceite Pirolítco (Aditivo de Combustible).....	54
5.3.4 Gas Incondensable	55
5.3.4.1 Proceso de Separación de Petróleo Pesado y Gases No Condensables ..	55
5.3.4.2 Proceso de Limpieza y Enfriamiento del Gas	55
5.3.4.3 Enfriamiento y Acondicionamiento del Reactor	55
5.4 Localización del Proyecto	56
5.4.1 Ubicación del Proyecto	56
5.4.2 Coordenadas Geográficas	58
5.4.3 Superficie.....	58
5.5 Principales Partes y Obras.....	59
5.6 Personal	60
5.7 Características de la Maquinaria.....	60
5.8 Insumos	61
5.8.1 Agua potable.....	61
5.8.2 Energía eléctrica.....	62
5.8.3 Combustible.....	62

5.8.4 Productos Químicos.....	62
5.8.5 Neumáticos.....	62
CAPÍTULO VI ESTUDIO AMBIENTAL	63
6. Aspectos ambientales	64
6.1 Emisiones de gases	64
6.1.1 Emisiones de gases de escape por pirólisis	65
6.2 Residuos domiciliarios.....	66
6.3 Residuos industriales no peligrosos	66
6.4 Residuos industriales peligrosos	66
6.5 Aguas servidas.....	67
6.6 Instalaciones para el almacenamiento transitorio de los residuos generados por el proyecto	67
6.7 Bodega RESPEL.....	68
6.8 Patio de salvataje.....	68
6.9 Acopio de NFU.....	68
CAPÍTULO VII ESTUDIO DE MERCADO.....	69
7. Antecedentes y análisis del mercado de reciclado y valorización energética de neumáticos fuera de uso (NFU) OTR mineros en la tercera Región de Atacama	70
7.1 Neumáticos Mineros (Off the Road-OTR).....	72
7.2 Demanda estimada de neumáticos mineros.....	75
7.3 Producción de la gran minería.....	76
7.4 Mercado de Neumáticos Fuera de Uso	78
7.4.1 Consumidor, demanda del mercado de reciclado y disposición final de NFU ..	78
7.4.2 La competencia, ofertas del mercado del reciclado y disposición final de NFU	80
7.4.3 Exportación de trozos.....	81
7.4.4 Mecanizado.....	82
7.4.5 Valorización energética	82
7.5 Comercialización del servicio de disposición final de NFU y la venta de productos secundarios resultantes del proceso	84
7.5.1 EcoTasa o ingreso por servicios de disposición final.....	84
7.5.2 Productos secundarios	85
7.5.2.1 Aceite Pirolítico.....	85
7.5.2.3 Aceros chatarras	87

7.6	Comentarios sobre negociaciones de precios.	87
8.1	Análisis del estudio técnico del proyecto	91
8.2	Análisis del estudio ambiental del proyecto	92
8.3	Análisis del estudio de mercado del proyecto.....	94
GLOSARIO.....		95
BIBLIOGRAFÍA.....		99
ANEXOS.....		105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composición y estructura de un neumático.....	20
Figura 2. Ciclo de vida de un neumático.....	22
Figura 3. Esquema metodología de trabajo.....	41
Figura 4. Producción de la planta.	45
Figura 5. Planta de Pirolisis	47
Figura 6. Layout de las instalaciones de la Planta.	48
Figura 7. Flujo del proceso.....	49
Figura 8. Grúa horquilla	52
Figura 9. Retroexcavadora utilizando cizalla.	52
Figura 10. Vista general del terreno donde se instalará el Proyecto.	56
Figura 11. Ubicación de la Planta de Pirólisis en el terreno.	57
Figura 12. Esquema distribución de las instalaciones de la Planta.	57
Figura 13. Organigrama fase de operación de la Planta.....	60
Figura 14. Diagrama de flujo disposición final NFU mineros.....	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Componentes de un neumático (% en peso)	21
Tabla 2. Factores de desgaste en peso	26
Tabla 3. Toneladas NFU 2017	26
Tabla 4. Marco Jurídico.....	35
Tabla 5. Coordenadas Geográficas	58
Tabla 6. Superficies de las instalaciones de la Planta	58
Tabla 7. Cronograma de Actividades	59
Tabla 8. Cantidades máximas de partículas y gases permitidos en el efluente y frecuencia de mediciones. Artículo 3º, tabla N°3.....	65
Tabla 9. Parque automotriz de autos-camionetas y su relación con los neumáticos	70
Tabla 10. Parque automotriz de buses-camiones y su relación con los neumáticos	71
Tabla 11. Importación de neumáticos nuevos en unidades.....	71
Tabla 12. Neumáticos Fuera de Uso (NFU) en Toneladas, generadas por segmentación.....	72
Tabla 14. Producción de minerales metálicos por región en Chile	77
Tabla 15. Faenas y datos relevantes.....	78
Tabla 16. Plantas de Pirolisis en Chile.....	83
Tabla 17. Características del aceite pirolítico.	86
Tabla 18. Características del carbón de llanta.....	87
Tabla 19. Parámetros de emisiones planta de pirolisis	93

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Importaciones de neumáticos OTR por marca 2014-2018	77
Gráfica 2. Toneladas de caucho equivalente importadas 2014-2018	78
Gráfica 3. Demanda estimada de neumáticos de grandes dimensiones 2017-2026.	79

RESUMEN

La gran cantidad de neumáticos fabricados y las dificultades existentes para hacerlos desaparecer, han transformado a este residuo en uno de los problemas medioambientales más graves de los últimos años. En zona norte de Chile, este fenómeno toma mayor relevancia debido al tamaño de los neumáticos desechados por la Gran Minería del Cobre y por la creciente tasa de neumáticos que son abandonados en los diferentes vertederos de la región.

La solución al problema pasa necesariamente por la búsqueda de vías capaces de valorizar adecuadamente este residuo bajo condiciones económicas aceptables y en cantidades suficientes como para hacer frente al elevado número de toneladas que se generan anualmente. La pirólisis de neumáticos actualmente es la tecnología que ofrece una mejor alternativa para la solución del problema ambiental que la disposición de las mismas ocasiona en Chile. Es una alternativa más segura a los procesos de combustión de NFU en hornos cementeros porque no se producen emisiones peligrosas y se consigue la recuperación de materiales sólidos y líquidos.

Esta planta cumple con la ley 20.920 del Ministerio del Medio Ambiente, respecto a la disposición final de los productos prioritarios y además trabaja bajo el concepto de economía circular. Además, se concluye que existe espacio en el mercado, posibilidad de crecimiento y necesidad legal de la demanda.

ABSTRACT

The large number of tires manufactured and the existing difficulties in making them disappear have turned this waste into one of the most serious environmental problems in recent years. In the north of Chile, this phenomenon becomes more relevant due to the size of the tires discarded by the Great Copper Mining and the growing rate of tires that are abandoned in the different dumps in the region.

The solution to the problem, however, lies in the search for ways capable of adequately valuing this waste under acceptable economic conditions and in sufficient quantities to deal with the high number of tons generated annually. Tire pyrolysis is currently the technology that offers a better alternative for the solution of the environmental problem than the disposal of the same occasions in Chile. It is a safer alternative to NFU combustion processes in cement kilns because no hazardous emissions are produced and recovery of solid and liquid materials is achieved.

This plant complies with Law 20,920 of the Ministry of the Environment, regarding the final disposal of priority products and also works under the concept of circular economy. In addition, it is concluded that there is space in the market, the possibility of growth and the legal need for the demand.

1. INTRODUCCIÓN

En Chile se consumen aproximadamente 180.000 toneladas de neumáticos al año, de las cuales solo el 17 % es destinado a un proceso de reutilización o reciclaje. Por ello, los neumáticos fuera de uso (desde ahora “NFU”) son uno de los 6 productos priorizados en la Ley N°20.920 (desde ahora Ley REP) “Establece Marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje” Ministerio del Medio Ambiente. (Oportunidades para la industria del cemento, CINC 2017).

El marco de la Ley REP, obliga a los generadores de residuos prioritarios a pagar por su disposición final. Esta, junto a la Ley N°20.551 “Regula el Cierre de Faenas e Instalaciones Mineras” Ministerio de Minería, obligan a la mediana y gran minería a buscar soluciones que cumplan las necesidades de las obligaciones legales, estándar minero, economía circular y aquellas que impliquen un proceso ambientalmente amigable.

Como parte de la implementación de la Ley REP, ha entrado en vigencia el Decreto N°8/2019 del Ministerio del Medio Ambiente, que fija las metas de recolección y valorización de NFU, así como obligaciones asociadas para productores e importadores de esos productos en el país.

Dicho Decreto establece cuatro posibles opciones de valorización de los neumáticos: el reciclaje de material, que sería la opción más apropiada desde el punto de vista medioambiental, aunque el reciclaje del 100 % del material rara vez es posible; el recauchaje, que convierte los NFU en grano de caucho, un recurso con numerosas posibilidades como materia prima; la incineración en horno de cemento, que es la opción menos conveniente dado que determinadas sustancias presentes en los neumáticos, pueden generar riesgos

medioambientales si no se tratan las emisiones; y la pirólisis, una solución con menos riesgos ambientales para convertir los residuos de neumáticos en combustible fósil.

Los productos secundarios del proceso de pirólisis son: aceite pirolítico, carbón de llanta y acero chatarra usables en la economía circular regional.

Las soluciones que existen en el mundo son tecnologías probadas, sean mecánicas o de valorización energética. Este proyecto busca ayudar a eliminar estos residuos prioritarios de la región de Atacama, cumpliendo con las necesidades regionales. Lo diferente es que apunta a un sector específico que es la minería, con sus complejidades y características específicas.

Amffal SpA en su constante mejora de servicios a sus clientes, debe presentar solución a los residuos NFU “Off The Road” (desde ahora NFU OTR) mineros de grandes dimensiones mediante una disposición final que cumpla las condiciones de ser amigable con el medio ambiente, economía circular, precios de mercado, y que cumpla la Ley 20.920 y 20.551.

2. OBJETIVOS

Objetivo general

Presentar una propuesta de instalación de una planta de valorización energética (pirólisis) mediante co-incineración de NFU y NFU OTR mineros, mediante un estudio técnico, ambiental y de mercado.

Objetivos específicos

1. Identificar los residuos generados por el proyecto, definiendo la gestión de cada uno de estos, desde su generación, manejo y disposición final.
2. Identificar consumidores y la demanda del mercado del reciclado y disposición final de NFU; actuales y proyectadas.
3. Determinar la factibilidad económica del proyecto, mediante un estudio de mercado.
4. Describir técnicamente el proyecto, identificar etapa, caracterizar infraestructuras y maquinarias, definir nivel de producción, ubicación, consumo e insumos del proyecto.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES GENERALES

1.1 Planteamiento del problema

El tema a realizar contará con el apoyo de entrega de información por parte de la empresa Amffal SpA, sobre sus obras, proyectos, funcionamientos y servicios ambientales, los cuales están asociados al tema investigativo. Pretendiendo presentar una propuesta que beneficiaría a la empresa, y a la vez generar un impacto positivo en la implementación de nuevas tecnologías para alcanzar las futuras metas regionales que establece la Ley REP con respecto al producto prioritario específicamente los NFU y NFU OTR.

La generación y posterior disposición de los NFU y NFU OTR se ha convertido en un problema creciente en las últimas décadas, situación que nuestro país no desconoce. Los neumáticos descartados representan uno de varios residuos industriales no peligrosos que son difíciles de manejar para las industrias y municipios. Si se disponen enteros son difíciles de verter en rellenos sanitarios, ya que tienden a flotar a la superficie, por lo que las soluciones a la fecha terminan siendo bien la incineración indiscriminada con el consecuente daño al medioambiente, o la creación de grandes pilas resultando en consecuencias para la salud pública, o bien como último recurso, el volcado en el mar.

La industria de la minería no es ajena al problema, sino que lo experimenta amplificado debido a que las dimensiones de los neumáticos que desecha no permiten una disposición sencilla.

Paralelamente, Chile es un país con una generación energética deficitaria, que debe importar la mayor parte de sus insumos para cumplir con la demanda eléctrica debido a que su matriz energética es muy poco diversificada.

A pesar de ello, las tecnologías que en el mundo intentan darles valor energético a los residuos en general, en nuestro país son prácticamente

desconocidas. La madurez alcanzada por ellas, el espacio en el mercado chileno y la oportunidad de ser los primeros abre una atractiva opción para incursionar con un proyecto que trate de resolver ambos problemas.

El presente proyecto constituye una alternativa sustentable en la Región Atacama para dar respuesta real a la problemática regional y nacional de la valorización de NFU, logrando el cumplimiento de las metas regionales al 2023 que establece el DS N°8.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Neumáticos

Un neumático es una pieza toroidal de caucho que se coloca en las ruedas de diversos vehículos y máquinas, cuya función principal es permitir un contacto adecuado por adherencia y fricción con el suelo o pavimento, posibilitando el arranque, el frenado y la guía. Los neumáticos generalmente tienen hilos de acero que los refuerzan, dependiendo de la orientación de estos hilos, se clasifican en diagonales o radiales, siendo éstos últimos el estándar para casi todos los automóviles actuales. La Figura 1 muestra la composición y estructura general de un neumático.



Figura 1. Composición y estructura de un neumático.

Fuente: Extraído de Acuerdo de Producción Limpia Prevención y Valorización de Neumáticos Fuera de Uso”, CINC, diciembre 2013.

En forma general, los componentes de un neumático son las que se muestran en la Tabla 1:

Tabla 1. Componentes de un neumático (% en peso)

Componente	Tipo de vehículo	
	Automóviles y Camionetas	Camiones y Microbuses
Caucho natural	14%	27%
Caucho sintético	27%	14%
Negro de Humo	28%	28%
Acero	14%-15%	14%-15%
Libra textil, suavizantes, óxidos, antioxidantes, etc.	16%-17%	16%-17%
Peso promedio	8,6 kg	45,4 kg
Volumen promedio	0,06 m³	0,36 m³

Fuente. “Materiales y Compuestos para la industria del neumático”, Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, diciembre 2008 y en “Evaluación de Impacto: Acuerdo de Producción Limpia Prevención y Valorización de Neumáticos Fuera de Uso”, CINC, diciembre 2013.

2.2 Ciclo de vida del neumático

El Ciclo de Vida de un neumático y posteriormente sus residuos, se puede representar de la siguiente forma.

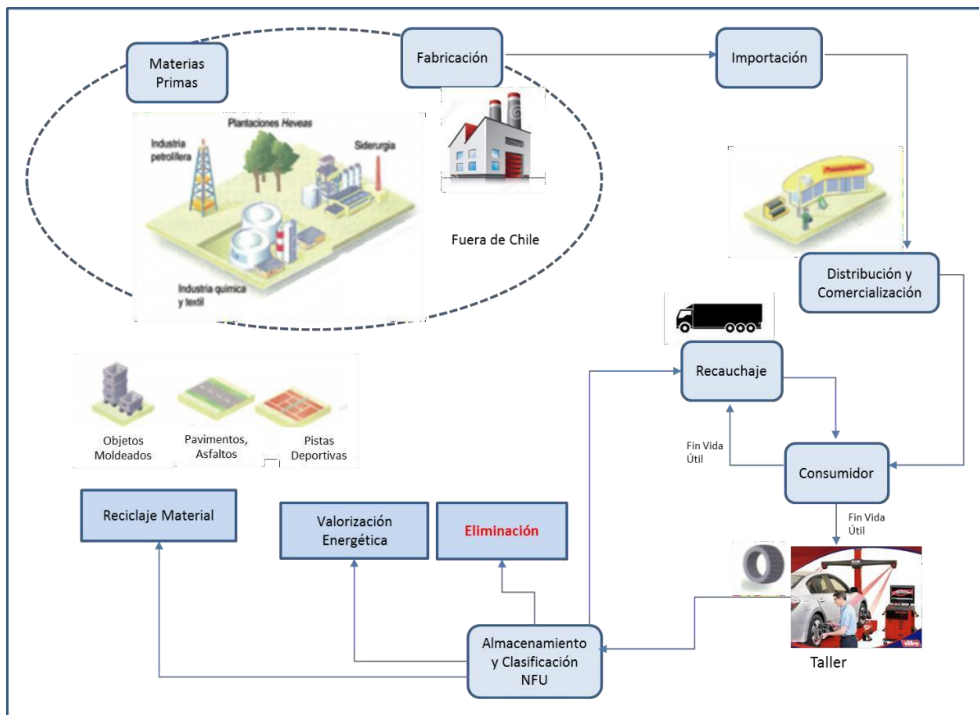


Figura 2. Ciclo de vida de un neumático.

Fuente: Extraído de Valorización proveniente de neumático fuera de uso, Valenzuela, 2013.

La Figura 2 presenta cada una de las etapas y actores que deben intervenir para la producción de un neumático y su posterior transformación en un residuo o NFU, convencional o minero, respectivamente.

El proceso se inicia con la fabricación de un neumático nuevo para lo cual se requiere de las materias primas e insumos necesarios. Luego de su fabricación o importación, el neumático se coloca en el mercado mediante los distribuidores mayoristas que venden directo a los grandes usuarios y el comercio minorista

que vende a pequeñas empresas y personas naturales que requieren neumáticos para sus vehículos particulares.

Una vez que el neumático alcanza el fin de su vida útil, las empresas del transporte de buses y camiones, si tienen el recauchaje entre sus políticas, pueden aplicar este tratamiento a sus neumáticos para extender la vida útil del mismo, en cuyo caso el neumático se repara y/o recaucha y vuelve a ser utilizado sin transformarse en un NFU, hasta que técnicamente ya no sea posible aplicar este procedimiento. En el caso de los consumidores particulares, cuyos neumáticos no son recauchables, los mismos se transforman en NFU al final de su vida útil (aproximadamente a los 100.000 km), pudiendo ser retirados normalmente en un taller mecánico el cual se encarga de su eliminación, o bien, quedan en poder del generador, sin un destino claro. (Diagnóstico fabricación, importación y distribución de neumáticos y manejo de NFU, 2008).

Actualmente las alternativas de valorización son muy escasas en Chile y la disponibilidad de NFU supera ampliamente la demanda de las empresas que procesan el caucho para la obtención de gránulo que permite fabricar productos post formados, o quienes lo valorizan energéticamente al utilizarlo como combustible alternativo en hornos de alta temperatura (cementeras). Se debe recordar, además, que los neumáticos usados no son recibidos en rellenos sanitarios, salvo excepciones, no existiendo alternativas legales de disposición final. (Diagnóstico fabricación, importación y distribución de neumáticos y manejo de NFU, 2008).

Mientras no exista demanda explícita para los subproductos del caucho reciclado o no se compensen las inversiones que son necesarias de realizar para reemplazar los combustibles tradicionales por NFU enteros o en gránulos, el mercado no se desarrollará a una velocidad suficiente que permita valorizar la gran cantidad de residuos de neumáticos que se generan anualmente.

Sin embargo, la ley REP que considera los neumáticos como un producto prioritario, permitirá resolver gradualmente esta problemática, imponiendo obligaciones a los productores e importantes incentivos de carácter económico y normativo para que realicen una gestión adecuada de sus residuos, posibilitando la generación de nuevos eslabonamientos productivos para avanzar en esta dirección y dar así cumplimiento a las metas de recolección y valorización que impondrá la Autoridad.

La última cuantificación de la generación de NFU es del 2016 (GESCAM, 2017), en la cual se estima que ese año se generaron 83,021 ton de NFU, donde el 46.7% son generadas por vehículos de transporte de carga y el 33.2% se origina a partir de vehículos livianos particulares. Del total de toneladas de NFU generadas para el 2016, el 85.9% terminará en un “destino desconocido”. Para los neumáticos mineros fuera de uso (NMFU) se estima que se generaron 47,861 toneladas el 2016, el 62% de los cuales se generaron en la región de Atacama (asociado a la minería del cobre y fierro) (GESCAM, 2017).

La caracterización del mercado actual indica que sólo se valoriza un 9,64% de los neumáticos del sector transporte y un 2% de los neumáticos mineros (sin considerar el recauchaje), esto implica la valorización de un 6,85% de todos los neumáticos generados (considerando NFU y NMFU). Los NFU del sector transporte no valorizados tendría destino desconocido, mientras que lo que no se valoriza del sector minero quedaría depositado en las propias faenas como pasivo ambiental (GESCAM, 2017).

2.3 Neumáticos OTR

Los neumáticos OTR están contruidos especialmente para actuar en terrenos anormales y severos, comúnmente en operaciones fuera de carretera y son llamados así por el significado de sus siglas en inglés (Off-The-Road).

Existen diferentes tipos de neumáticos usados en la gran minería. Los neumáticos de mayor tamaño corresponden a los utilizados en camiones, que normalmente pesan entre 2 y 3 toneladas, aunque ya se encuentra en el mercado un neumático que pesa 4 toneladas, el cual ya está siendo utilizado en algunas mineras del Norte Grande. Los neumáticos de cargadores, en tanto, varían desde 1 a 2 toneladas de peso. (Flores, 2015).

2.4 Generación de Neumáticos

Es necesario considerar, en primer lugar, que los neumáticos se fabrican con el único propósito de ser instalados en los vehículos o equipo rodante que los necesitan para desplazarse, por lo que se genera un NFU cada vez que un neumático se retira del eje de un vehículo, para ser reemplazado por un neumático nuevo o recauchado, siempre y cuando el neumático usado que sale de servicio no sea instalado nuevamente en el mismo u otro vehículo, luego de ser sometido a un proceso de reparación, redibujado o recauchado.

Los neumáticos deben ser reemplazados porque al rodar se desgasta la goma de su banda de rodamiento (el componente del neumático que está en directo contacto con la superficie sobre la que rueda) o porque sufre impactos o daños en su estructura que lo inutilizan para seguir operando con seguridad. En ambos casos, el neumático al final de su vida (NFU) pesará menos que el neumático nuevo original, debido a la pérdida de masa por desgaste.

Cámara de la Industria del Neumático de Chile (CINC) efectuó un estudio estadístico, pesando una muestra de 220 NFU de auto, camioneta y camión recibidos en la planta de Polambiente. El peso de la muestra se comparó con el peso de los neumáticos originales, estimado con base en las especificaciones de los fabricantes, según la medida de cada neumático. Las muestras fueron obtenidas seleccionando aleatoriamente los NFU de cada aro, en cantidades proporcionales a la participación de cada aro en el mercado nacional. De este modo, se determinaron factores de desgaste, calculados como el porcentaje de pérdida de peso promedio entre un neumático nuevo y el NFU generado (CINC, 2018), los cuales se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Factores de desgaste en peso

Tipo de Neumático	Unidades	Peso Total NFU, kg	Peso Total Neumáticos Nuevos	Factor de Desgaste
Auto y Camioneta	158	1.496,5	1.737,7	13,9%
Camión y bus	62	2.673,5	3.122,6	14,4%

Fuente. Antecedentes técnicos, económicos y sociales para la elaboración de los Decretos Supremos que establecerán las metas de recolección y valorización de Neumáticos Fuera de Uso (NFU).

Con los factores anteriores, aplicados sobre el peso original para cada medida de neumático, las toneladas de NFU generadas anualmente en Chile se pueden estimar directamente, a partir de las unidades ingresadas al mercado, para cada categoría de neumático. En la Tabla 3 se indican los valores para 2017.

Tabla 3. Toneladas NFU 2017

Tipo de Neumático	Ton NFU	%
Camión y Bus	42.155	33,8%
Auto y Camioneta	38.936	31,2%
Minería y Construcción	35.184	28,2%
Agrícola y Forestal e Industrial	6.732	5,4%
Bicicleta	847	0,7%
Motocicleta	587	0,5%
Otros	417	0,3%
Total	124.858	100,0%

Fuente. Antecedentes técnicos, económicos y sociales para la elaboración de los Decretos Supremos que establecerán las metas de recolección y valorización de Neumáticos Fuera de Uso (NFU).

2.5 Gestión de Neumáticos

La eliminación de los neumáticos ha demostrado ser extremadamente difícil de manejar y tratar, debido a sus propiedades químicas, biológicas y físicas altamente resistentes (Fiksel, 2010). Dentro de las alternativas a la eliminación de NFU se encuentran las aplicaciones con modificación física como el reciclaje a partir de trituración, enriquecimiento de asfalto para pavimentos o sustituto de parte del árido en la mezcla asfáltica y hormigón modificado. Por otra parte, entre las aplicaciones sin modificación física destacan barreras o defensas de caminos, edificaciones (construcción), uso en rellenos sanitarios, control de erosión, construcción de diques, muros o taludes de contención, relleno de terraplenes y uso en cementeras (C y V Medio Ambiente Ltda, 2008).

2.5.1 Reciclaje a partir de la trituración del NFU

Con el fin de utilizar el caucho en diversas aplicaciones, por ejemplo, como componente en asfaltos, alfombras, superficies deportivas y para juegos infantiles los neumáticos son triturados o molidos según lo requiera el proceso a emplear (Juma et al, 2010). Para reducir su tamaño existen dos tecnologías generales, el proceso de trituración a temperatura ambiente y la trituración criogénica.

2.5.1.1 Trituración a temperatura ambiente

La trituración a temperatura ambiente, como su nombre lo señala, tiene lugar a temperatura ambiente o cercana a ella, es decir, no se enfría el caucho para que se vuelva frágil. Corresponde a un proceso mecánico de trituración preliminar, granulado, remoción del acero y fibra textil, una secuencia de

trituration fina (dependiendo de la función de la molienda), una separación magnética secundaria del acero y finalmente una remoción de fibra y polvo.

2.5.1.2 Trituración criogénica

Este proceso se denomina criogénico, debido a que se emplea Nitrógeno líquido para congelar fragmentos de neumáticos o trozos de caucho antes de la reducción de tamaño, a temperaturas por debajo de -60° a -80°C . Cabe señalar, que el caucho por debajo de esta temperatura se vuelve casi tan frágil y quebradizo como el vidrio y la reducción de su tamaño se logra aplastándolo o moliéndolo. Este tipo de reducción del tamaño facilita su pulverización, extracción del acero y las fibras, con lo que se obtiene un producto más limpio. La principal desventaja de este método se atribuye al costo inicial de la molienda y los elevados costos asociados al Nitrógeno líquido. Además de la aplicación de procedimientos de seguridad y funcionamiento para prevenir accidentes laborales (Convenio de Basilea, 2011).

2.5.2 Recauchaje

El Recauchaje es una alternativa de reúso y es un proceso mediante el cual se reemplaza la banda de rodadura desgastada del neumático por una nueva, con características similares o superiores, alargando la vida útil del mismo. En Chile, la empresa BAILAC es líder en el recauchaje de neumáticos mineros en el país y en el mundo, recauchando los neumáticos OTR gigantes de aro 57" y 63". No obstante, Recauchajes Renova Chile Limitada ubicada en la II Región de Antofagasta también se encuentra operando con resolución de calificación ambiental 190/2013 en el proyecto "Planta de reparación y recauchaje de neumáticos gigantes de equipos mineros".

2.5.3 Valorización energética

Considerables autores (Levendis et al, 1996; Leung y Wang, 1999; Juma et al, 2006; Pipilikaki et al, 2005; S. Singh et al, 2009) destacan el elevado poder calorífico de los neumáticos. Este fluctúa entre los 7.800 a 8.600 (kcal/kg) o (32MJ/kg), es decir, aquellos poseen un valor comparable con el del carbón, el cual presenta una capacidad calorífica 30% menor. La EPA, por otra parte, señala que tienen bajo contenido de humedad, emisiones menos contaminantes que los combustibles fósiles, y bajo costo en comparación con ciertos tipos de carbón. Además, los residuos de cenizas provenientes de NFU contienen menos metales pesados y producen menos emisiones de NO₂ en comparación con la incineración de carbón (Beta Analytic, (s.f)).

En Estados Unidos, Europa y Japón han sido utilizados como un recurso energético complementario desde la década de los setenta, para expandirse significativamente durante los últimos 10 a 15 años. Dentro de sus aplicaciones, se incluyen hornos de cemento, calderas industriales, servicios públicos e instalaciones dedicadas a la generación de energía eléctrica bajo procesos de combustión apropiados (EPA, 2010). Para ello, se emplean métodos de incineración/combustión, combustión/coprocesamiento con otros combustibles, pirólisis, y gasificación (Leung y Wang, 1999).

2.5.4 Tratamiento térmico

El tratamiento térmico (o termoquímico) consiste en tomar el NFU entero o en forma granulada, y elevar la temperatura para generar materia prima y/o calor según el proceso. Existen tres tipos de tratamientos térmicos: la incineración, la pirólisis y la gasificación. (Tirel, 2017).

2.5.5.1 Incineración

La incineración, es un proceso exotérmico, de oxidación térmica a temperatura elevada, entre 800°C y 1.300°C. Esta combustión completa se realiza de forma directa, incluyendo la tela de acero para añadir hierro al cemento o sus trozos. Esto quiere decir que no es necesario un tratamiento previo, a diferencia de otras tecnologías que sí lo requieren. Se emplea para eliminar desechos orgánicos, reduciendo su volumen y toxicidad. Independientemente de los objetivos de la quema, debe aplicarse estrictamente el control de las emisiones, de conformidad con la legislación en vigor (Convenio de Basilea, 2011).

2.5.5.2 Coprocesamiento

Por su parte, el coprocesamiento consiste en la incorporación de residuos, que previamente han sido acondicionados, en procesos industriales, tales como la producción de cemento o acero, o en cualquier otra planta de combustión a gran escala. De esa forma, parte de los materiales de desecho se elimina, por medio de su combustión, y el resto pasa a ser ceniza o material mineral inocuo y con un volumen mucho menor. Al llevar a cabo el coprocesamiento en los hornos de las plantas productoras de cemento, los residuos son totalmente transformados, esto se debe a que la parte orgánica del material se combustiona completamente, convirtiéndose en combustible alternativo mientras que la parte mineral que queda, junto con el residuo sólido de la combustión (ceniza), pasan a formar parte del producto final como elemento constituyente del clinker (Proboste, 2014).

En Chile, desde el 2004 la empresa Cemento Melón ubicada en la comuna de la Calera, Valparaíso, utiliza los neumáticos como combustible alternativo en el horno N ° 9 en su proceso productivo, siendo el único proyecto de valorización energética de neumáticos que ha sido sometido al Sistema de Evaluación de

Impacto Ambiental con la resolución de calificación ambiental n°179/2002 (SEIA, 2002), hasta el momento. Esta resolución los faculta para realizar combustión de hasta 15.616 ton/año de NFU. (GESCAM, 2017).

2.5.5.3 Pirólisis

La pirólisis, es un proceso endotérmico, que induce la descomposición térmica en un ambiente libre de oxígeno. Se transfiere calor de forma indirecta a través de las paredes de un reactor en el cual se encuentra el material y se eleva la temperatura por sobre los 400°C (Martínez, et al 2013).

La materia orgánica volátil de los neumáticos (alrededor del 60% en peso) se descompone en productos de bajo peso molecular, líquidos o gases, que pueden utilizarse como combustibles o como fuente de productos químicos. El negro de humo no volátil y los componentes inorgánicos (alrededor del 40% en peso) permanecen como residuos sólidos y pueden reciclarse en otras aplicaciones (Juma et al, 2010). Cabe destacar que, a diferencia del recauchado, el caucho desvulcanizado y la producción de polvo de neumático, la pirólisis no depende del tipo o la calidad de los neumáticos. Lo anterior, significa que todos los neumáticos usados pueden ser tratados por pirólisis (Li, et al, 2010).

2.5.5.4 Gasificación

La gasificación, es un proceso de combustión incompleta de oxidación parcial, es decir, con la presencia de oxígeno parcialmente. Ocurre cuando se opera el secado de la materia prima, la pirólisis de ésta, y la oxidación del residuo sólido para calentar la reacción y proveer CO al gas. La diferencia entre pirólisis y gasificación se puede establecer en sus objetivos: mientras que la pirólisis pretende principalmente la obtención de un sólido carbonoso y a veces líquidos,

en el caso de la gasificación se busca un alto rendimiento en gases, fundamentalmente CO y H₂. Esta diferencia de objetivos determina las condiciones de operación, ya que la gasificación se lleva a cabo a temperaturas superiores y en presencia de agentes gasificantes como el aire, oxígeno, CO₂ o vapor de agua para aumentar la producción de H₂ y CO. (Céspedes, 2014, Bedia et al (s.f)).

2.5.5.5 Proceso combinado de destilación y gasificación

El proceso denominado GRAUTHERMIC Tyres, consiste en someter el granulado de neumático a un proceso combinado de destilación y gasificación. El granulado de neumático se debe someter a un calentamiento a baja temperaturas, del orden de (550 °C) en reactores verticales, obteniendo un gas que se condensa. En la condensación se obtienen unos aceites, similares a un fuel oil, compuestos por una compleja mezcla de hidrocarburos con un porcentaje elevado de compuestos aromáticos, que puede ser utilizado como combustible líquido, mezclado con el gas-oil y un gas no condensable, constituido por hidrocarburos con un contenido muy alto de n-butano (26-45 vol.%), metano (14-19 vol.%) e hidrógeno (11-16 vol.%) y un poder calorífico muy elevado, comprendido entre 64-83 MJ/Nm³, que se convierte en electricidad en una turbina Totem . De esta primera etapa, se obtiene un residuo sólido, denominado “char”, compuesto fundamentalmente por carbón de llanta, que inmediatamente después de la destilación, se gasifica en el mismo reactor, a una temperatura de unos 1.000 ° C, dando lugar a un gas que se convierte en electricidad mediante una turbina (López, et al, 2012).

2.5.5.6 Uso del caucho en combinación con el carbón en calderas

Un estudio elaborado por Singh et al en el año 2010, llamado “Waste tyre rubber as secondary fuel for power plants” (Residuos de neumáticos como combustible secundario para plantas de energía)” demuestra que se puede utilizar carbón pulverizado en combinación con caucho reciclado. Este estudio fue elaborado en centrales eléctricas a base de carbón, a gran escala. Los resultados demostraron una reducción en los residuos y emisiones producidos durante la generación de energía. Sin embargo, se comprobó que el TDF (tire derive fuel) podía ser utilizado con eficiencia, solo en un tipo de calderas, principalmente calderas de lecho fluidizado circulante y unidades de rejilla de cocción que ofrecen un tiempo de retención adecuado para la combustión completa del TDF, usando una granulometría de 1 a 2 pulgadas (Singh, et al, (s.f).

CAPÍTULO III

MARCO NORMATIVO

3.1 Marco jurídico

En la Tabla 4 (páginas desde la 39 hasta la 43), se presentan las principales normativas relacionadas directa o indirectamente con los NFU.

Tabla 4. Marco Jurídico.

NORMA	NORMATIVA MARCO	COMO LA LEY LO APLICA
Ley N°19300/1994 Modificada N°20417/2010	Sobre Bases Generales del Medio Ambiente	La ley establece un marco general de regulación del derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental.
Ley N°20920/2016	Establece Marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento Al Reciclaje	La presente ley tiene por objeto 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.
Decreto N°95/2001 Supremo	Ministerio Secretaría General de la Republica	Fija el texto refundido, coordinado y sistematizado del Reglamento Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.
Resolución N°1.108/1994 Exenta	Ministerio de Salud	Aprueba plan nacional para evitar la introducción de mosquito <i>Aedes albopictus</i> en el país, que, entre otras materias, prohíbe la importación al territorio nacional de

NORMA	NORMATIVA MARCO	COMO LA LEY LO APLICA
		neumáticos fuera de uso, cualquiera sea su país de origen.
Decreto N°148/2004	Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos	Este Reglamento establece las condiciones sanitarias y de seguridad mínimas a que deberá someterse la generación, tenencia, almacenamiento, transporte, tratamiento, reúso, reciclaje, disposición final y otras formas de eliminación de los residuos peligrosos.
Norma Chilena 2829 Of.2009	Acuerdos de Producción Limpia (APL)	Requisitos para los auditores y procedimiento de la auditoria de evaluación de la conformidad
Decreto con Fuerza de Ley N°1/1990	Determina Materias que Requieren Autorización Sanitaria Expresa	Decreto que determina las materias que requieren autorización sanitaria expresa.
Decreto con Fuerza de Ley N°725/1967	Código Sanitario	El Código Sanitario rige todas las cuestiones relacionadas con el fomento, protección y recuperación de la salud de los habitantes de la República, salvo aquellas sometidas a otras leyes.
Decreto Supremo N°59/1998	Norma de Calidad Primaria para material particulado respirable MP10, Ministerio secretaria general de la Republica.	Establece norma de calidad primaria para material particulado respirable MP ₁₀ en especial de los valores que definen situaciones de emergencia.
Ley N°20.551	Ministerio de Minería	Regula el cierre de faenas e instalaciones mineras
Decreto Supremo N°594/1999	Reglamento sobre las condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo	Que la acumulación, tratamiento y disposición final de los residuos industriales dentro del predio industrial, local o lugar de trabajo, deberá

NORMA	NORMATIVA MARCO	COMO LA LEY LO APLICA
		contar con una autorización sanitaria. Que las empresas que realicen tratamiento o disposición final de sus residuos industriales fuera del predio, sea directamente o a través de la contratación de terceros deberán contar con autorización sanitaria, previo al inicio de tales actividades.
Decreto N°189/2008 Supremo	Reglamento sobre condiciones sanitarias y de seguridad básicas en los rellenos sanitarios	En este reglamento se prohíbe la disposición final de los NFU en los rellenos sanitarios, se prescribe su prohibición en su artículo 57 letra c.
Decreto N°112/2002 Supremo	Ministerio secretaria general de la Republica	Establece norma primaria de calidad de aire para el Ozono (O₃).
Decreto N°136/2000 Supremo	Ministerio secretaria general de la Republica	Establece norma primaria de calidad de aire para el Plomo (P_b).
Decreto N°114/2002 Supremo	Ministerio secretaria general de la Republica	Establece norma primaria de calidad de aire para Dióxido de Nitrógeno (NO₂).
Decreto N°104/2019 Supremo	Ministerio de Medio Ambiente	Establece norma primaria de calidad de aire para Dióxido de Azufre (SO₂).
Decreto N°12/2011 Supremo	Ministerio del Medio Ambiente	Establece norma primaria de calidad ambiental para material particulado fino MP_{2.5}
Decreto N°1/2013 Supremo	Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC)	Regula naturaleza, caudal y concentración de emisiones de contaminantes que sean objetos de una norma de emisión, declaración o estimación de emisiones. Asimismo, residuos y transferencias de aquellos contaminantes que no se encuentran regulados en

NORMA	NORMATIVA MARCO	COMO LA LEY LO APLICA
		una norma de emisión, plan de descontaminación, u otra regulación vigente. En ese sentido, la regulación del NFU bajo el DS 1 del 2013 MMA está dado en ventanilla única (plataforma del RETC) por la declaración de Residuos No Peligrosos, ley REP y por último el Impuesto Verde.
Decreto Supremo N°29/2013	Ministerio del Medio Ambiente	Establece norma de emisión para incineración y co-incineración y co-procesamiento. Su objetivo es prevenir los efectos negativos sobre la salud de la población y los recursos naturales, derivados de las emisiones tóxicas provenientes de los procesos de incineración, coprocesamiento y coincineración regulados por este decreto
Decreto Supremo N°8/2019	Metas de recolección y valorización y otras obligaciones asociadas a los neumáticos	Establece metas de recolección y valorización y otras obligaciones asociadas a los neumáticos. Tiene por objeto establecer metas de recolección y valorización de residuos de neumáticos y otras obligaciones asociadas, a fin de prevenir la generación de tales residuos y fomentar su reutilización, reciclaje u otro tipo de valorización.
Decreto N°8/2017	Reglamento que regula el procedimiento de elaboración de Decretos	El procedimiento para la elaboración de los decretos supremos que

NORMA	NORMATIVA MARCO	COMO LA LEY LO APLICA
	Supremos establecidos en la Ley N°20.920	establecen instrumentos destinados a prevenir la generación de residuos o promover su valorización, así como el procedimiento para la elaboración de los decretos supremos que establecen metas y otras obligaciones asociadas, de conformidad a la Ley 20.920.
Decreto N°40/2013 Supremo	Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental	Establece el “Sistemas de tratamiento, disposición y/o eliminación de residuos industriales sólidos con una capacidad igual o mayor a treinta toneladas día (30 t/día) de tratamiento o igual o superior a cincuenta toneladas (50 t) de disposición”.
Decreto N°115/2002 Supremo	Ministerio secretaria general de la Republica	Establece norma primaria de calidad de aire para monóxido de carbono (CO).
Ley N°20.780/2014	Reforma tributaria que modifica el sistema de tributación de la renta e introduce diversos ajustes en el sistema tributario	Establece un impuesto que grava las emisiones al aire de material particulado (MP), óxidos de nitrógeno (NO _x), dióxido de azufre (SO ₂) y dióxido de carbono (CO ₂).

Fuente. Elaboración Propia.

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1 Metodología

La metodología de la presente investigación se llevará a cabo mediante un marco estratégico secuencial, el cual brindará cumplimiento de los objetivos planteados.



Figura 3. Esquema metodología de trabajo.

Fuente: Elaboración propia.

4. Levantamiento de la información

Se efectuará un levantamiento de información a través de fuentes bibliográficas primarias y secundarias, esto es, tesis, artículos científicos, artículos de prensa, revistas, informes y plataformas, para determinar el tipo de planta de valorización energética a instalar, realizando un análisis a la industria de conversión de residuos y profundizando en el proceso de pirólisis.

4.1 Estudio Técnico

Se realizará un estudio técnico donde se analizará:

- La descripción del proceso, descripción general del proceso de pirólisis, identificación de etapas del proceso mediante diagrama de flujo.

- Procedimiento operacional de la planta, seleccionando equipos e Ingeniería aplicar en las etapas de construcción y operación del proyecto.
- Productos del proceso, descripción de principales partes y obras.
- Localización del proyecto y ubicación de instalaciones.

4.2 Estudio Ambiental

Se realizará un estudio ambiental del proyecto donde se analizará:

- Los residuos generados por el proyecto.
- Caracterización de emisiones, descargas y residuos del proyecto.
- Establecer un sistema de gestión de residuos, determinando el manejo, almacenamiento transitorio y disposición final de los residuos.

4.3 Estudio de Mercado

Se realizará un estudio económico del proyecto donde se analizará:

- El consumidor y la demanda del mercado del reciclado y disposición final de NFU; actuales y proyectadas.
- La competencia y ofertas del mercado del reciclado y disposición final de NFU; actuales y proyectadas.
- La comercialización del servicio de disposición final de NFU y la venta de productos secundarios resultantes del proceso; actuales y proyectadas.
- Los proveedores, disponibilidad y precios de los insumos del proyecto.
- Se realizará un análisis del mercado del proyecto.

4.4 Formular los análisis y conclusiones del estudio de investigación.

Finalmente, luego de haber realizado el estudio técnico, económico y ambiental que conlleva la instalación de la planta, se efectuarán las conclusiones respectivas, las recomendaciones y los riesgos asociados al proyecto.

- Se entregará una propuesta de instalación de una planta de valorización energética mediante co-incineración de NFU.
- Se realizarán análisis y conclusiones de los estudios de investigación.
- Se analizarán los costos asociados a la instalación de la planta.

CAPÍTULO V

ESTUDIO TÉCNICO

5.1 Descripción del Proceso

Planta marca Doing Group de origen chino, con alto estándar para una producción de disposición final de 2.640 toneladas de NFU OTR por año. La que genera productos secundarios como son aceros chatarra en 528 toneladas, carbón de llanta (negro de humo) 924 toneladas y 1.000 metros cúbicos de aceite pirolítico (aditivo combustible). La producción de la planta se muestra en la Figura 4.

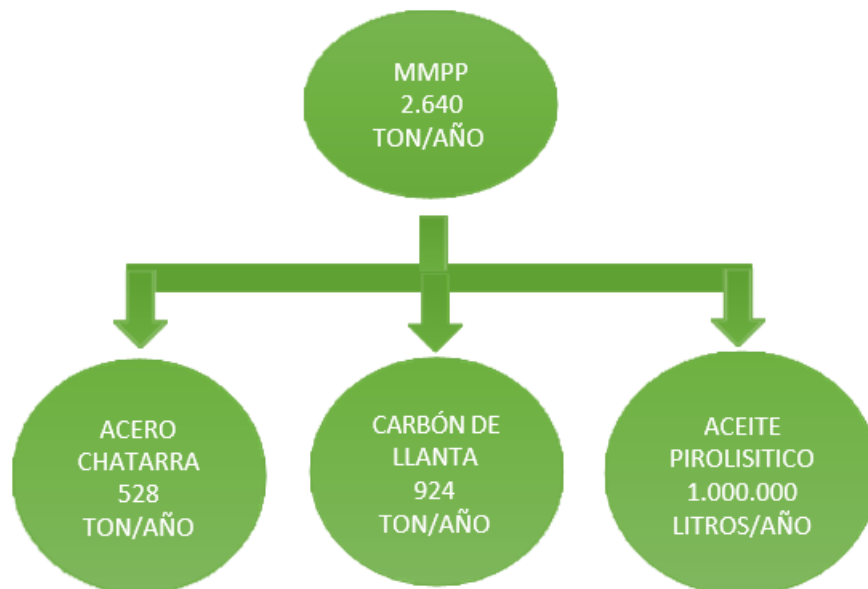


Figura 4. Producción de la planta Doing Group.

Fuente: Ficha técnica planta marca Doing Group.

El proceso consiste en la disminución del tamaño del neumático minero de grandes dimensiones (R57-R63) desde los 4 metros de diámetro y 4.000 kilos de peso, a trozos de 120 kg con un metro de largo y 80 cm de ancho aproximadamente.

Los trozos ingresan al sistema pirolítico por batch (reactor pirolítico) de 10 toneladas por día de producción. Los productos secundarios se acumulan en estanques especiales para su almacenamiento.

Una vez que los productos secundarios están almacenados se puede dar valor agregado al carbón de llanta mediante un horno y vapor, para obtener un carbón activado de calidad industrial y usable en procesos de filtrado de RILes de la minería.

Opcionalmente se puede ingresar el aceite pirolítico a la destiladora para obtener un producto de mejor calidad, un aditivo combustible similar al diésel 6.

El proyecto comprende la construcción, el montaje y la operación de las instalaciones necesarias para recibir un máximo de 25 ton/día de NFU, los cuales serán triturados mecánicamente en su totalidad, para luego pirolizar como máximo 10 ton/día.

Las Figuras 5 y 6 muestran lo que se describe a continuación.

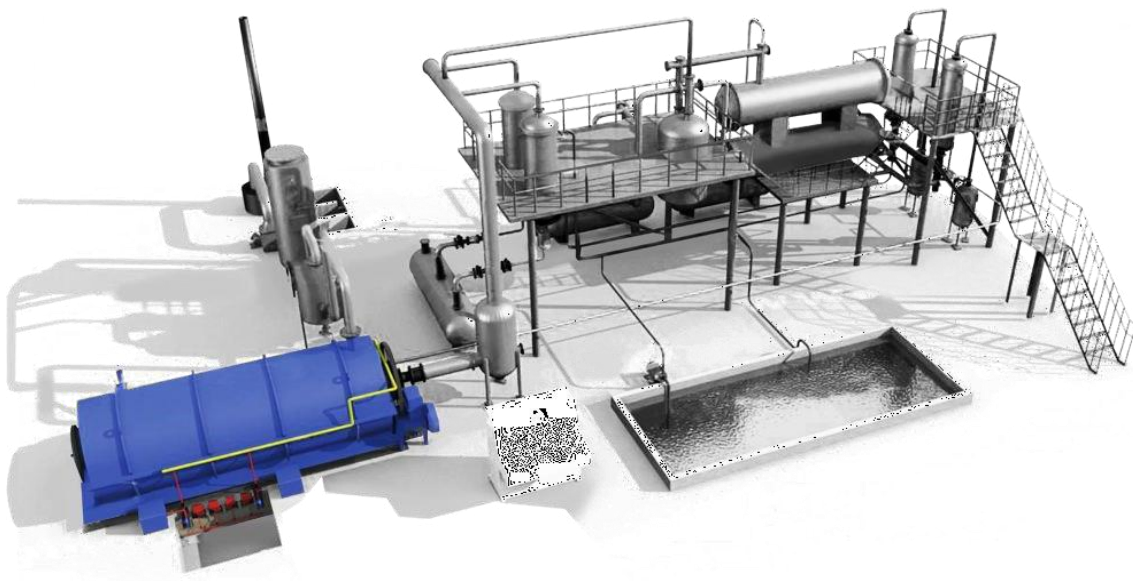
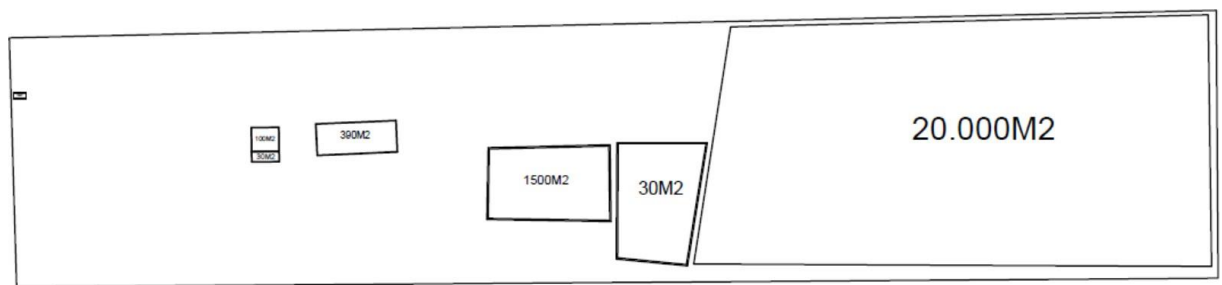


Figura 5. Planta de Pirólisis (Doing Group).

Fuente: Ficha técnica planta marca Doing Group.

Las instalaciones del Proyecto consisten en:

- zona de acopio temporal para los neumáticos fuera de uso (NFU),
- galpón de producción, donde se ubicará la Planta
- patio de salvataje,
- bodega de residuos peligrosos (RESPEL),
- lugar de corte de neumáticos y almacenamiento de éstos
- oficinas
- baños
- comedor
- portería



EMPLAZAMIENTO
ESCALA 1:1000

Figura 6. Layout de las instalaciones de la Planta.

Fuente: Elaboración propia.

5.2 Descripción General del Proceso de Pirólisis

El Proceso pirolítico es una descomposición de los residuos de hidrocarburo hacia sus componentes originales. Los residuos a pirolizar pueden ser todos materiales de cauchos y plásticos, como correas transportadoras, neumáticos fuera de uso, bolsas plásticas, mangueras, etc. Todos estos residuos mantienen el mismo comportamiento durante el proceso, que generan diferentes tipos de calidades de los productos secundarios. El diagrama de flujo del proceso se muestra en la Figura 7.

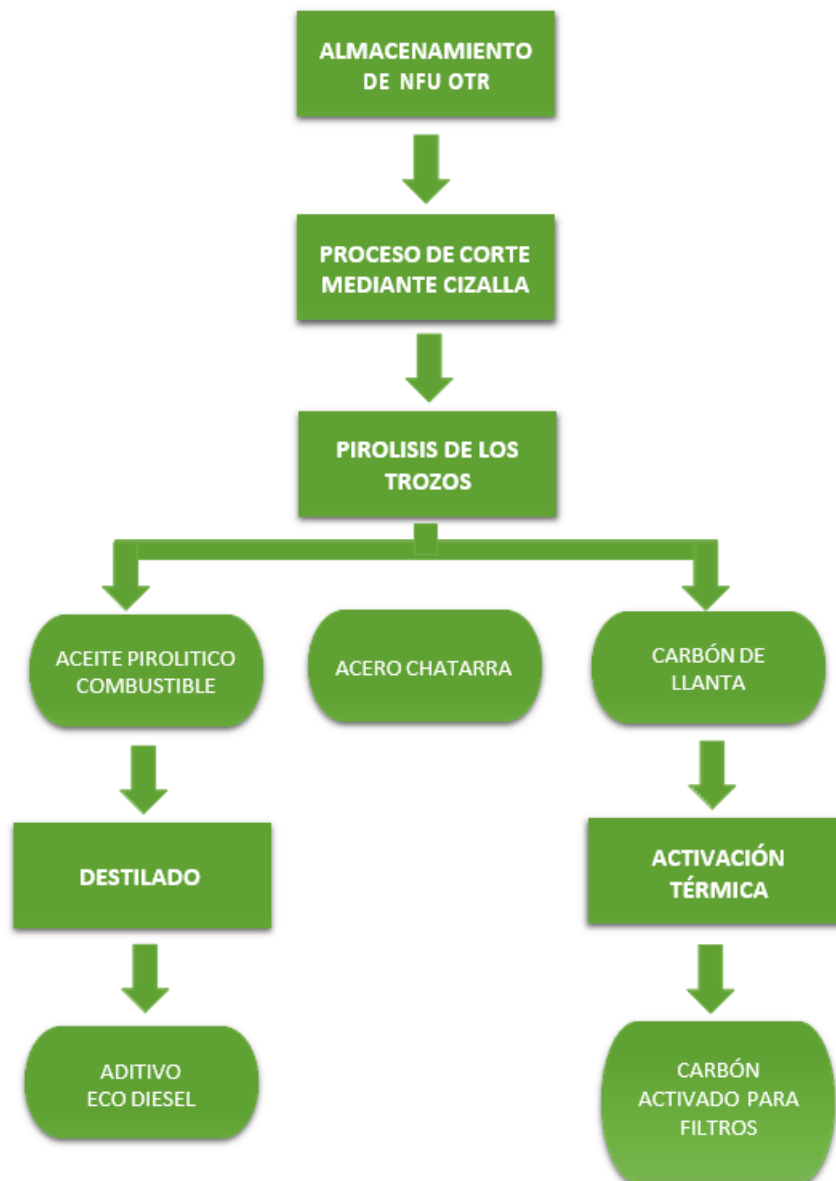


Figura 7. Flujo del proceso.

Fuente: Elaboración propia, a partir de ficha técnica de la planta.

El objetivo de este proyecto es entregar una solución a la disposición final de neumáticos mediante la valorización de subproductos mediante co-incineración.

Es importante señalar que, en su etapa de construcción y su etapa de implementación, la planta se instalará en terrenos utilizados por AMFFAL.

La etapa de construcción en su obra gruesa considera la ejecución de las siguientes partes:

- Construcción de fundaciones y radieres de galpón principal.
- Construcción oficinas y espacios comunes de personal (baños, camarines, comedores)
- Armado de galpón
- Instalación de generador de 200 kVA
- Recepción de etapa de construcción.

En esta segunda etapa o de implementación, tendremos las siguientes actividades.

- Instalación de maquinaria de producción
- Acometida de equipos eléctricos
- Condicionamiento y puesta en marcha de planta.
- Recepción de etapa de implementación
- Comienzo de operaciones y producción.

Para el diseño de la planta de valorización energética de neumáticos se ha establecido, las siguientes operaciones que se detallan en las subsecciones siguientes:

5.2.1 Control de acceso vehicular

Todo vehículo que tenga como objetivo ingresar a las instalaciones deberá ser previamente controlado y registrado en una bitácora que se administrará por personal de guardia o de operaciones de la planta. Dicho registro deberá informar fecha, patente, hora e identificación del chofer. Se incluyen los vehículos menores que ingresen con motivos administrativos, provisiones u otros.

Los NFU provenientes de los sitios generadores serán recibidos, debidamente trincados y estibados en el vehículo de carga. El transportista deberá facilitar toda la documentación necesaria que acredite el origen de los NFU.

El jefe de planta o quien lo subroge deberá proceder al ingreso de los datos a las planillas de seguimiento interno de NFU, una vez aceptada la carga y corroborado los pesajes.

5.2.2 Descarga de NFU a Almacenar

Consiste en el conjunto de operaciones que comienza al finalizar la inspección de recepción de los NFU y una vez que se autorice el ingreso a planta. Dicha descarga se realizará por medios mecánicos o grúa horquilla (Figura 8).

Para que lo antes mencionado sea posible, se debe contar con el espacio de maniobras y tránsito suficiente para que estas labores se realicen de manera rápida y segura.



Figura 8. Grúa horquilla

Fuente: Extraído de Valenzuela, F. 2013.

5.2.3 Trituración Mecánica

Se considera trozar los neumáticos de gran magnitud (R63-R57-R53) mediante una cizalla de doble pistón (Figura 9), operada por una excavadora con cuarta función que le permite movilidad. Esta cizalla corta el NFU en trozos de 100 cm aproximadamente a una velocidad de un NFU por hora (4.000 kilos por hora), con una capacidad de 25 ton por día en turno simple. Estos trozos serán transportados mediante una grúa horquilla de 7-10 toneladas sobre receptáculo.



Figura 9. Retroexcavadora utilizando cizalla.

Fuente: Extraído de Valenzuela, F. 2013.

5.2.4 Pirólisis

Los trozos de NFU son ingresados al reactor de pirólisis marca Doing Group China. Tiene una capacidad de producción de 10 toneladas por día, sistema de batch, 17-22 horas de producción. El tiempo de proceso se divide en 2 horas de carga, 4 horas de calentamiento, 5 horas de pirólisis, 4 horas de enfriamiento y 2 de descarga. En total son aproximadamente 17 – 22 horas dependiendo de las condiciones externas. Se incluye un controlador lógico programable (PLC) para las condiciones de temperatura, presión y flujo. En el anexo 1 se adjunta la ficha técnica de la Planta de pirólisis.

5.3 Productos del Proceso

5.3.1 Chatarra de Acero de Neumáticos Mineros

El acero de los neumáticos mineros representa el 25% del peso de los NFU reciclados, las dos marcas dominantes del mercado son Michelin® y Bridgestone® que mantienen una fabricación con materiales de alta calidad bien valorados en el mercado. La chatarra de acero previo a su comercialización, será almacenada temporalmente en el patio de salvataje. Este contará con las exigencias del DS 594/1999 “Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo” y sus modificaciones, además de la resolución sanitaria correspondiente. (Tirel, 2017).

5.3.2 Carbón de Llanta

El carbón de llanta en polvo tiene una alta capacidad calórica y se utiliza como generador de calor en hornos cementeros, industrias metalúrgicas, etc. Este producto secundario se puede valorizar añadiendo un proceso de activación, para el mercado de filtros de aguas industriales (carbón de llanta hacia carbón

activado, mediante un horno de activación térmica, con 800°C e inyección de vapor de agua.). Este producto no se clasifica como sustancia propensa al calentamiento espontáneo de la División 4.2 tal como se define en las “Recomendaciones de la ONU relativas al transporte de mercancías peligrosas” (basado en una muestra cubica de 100mm). De acuerdo con la información de proveedor de equipo de pirólisis, se certifica que el carbón de llanta no es inflamable través de Certificado de Seguridad de Transporte Aéreo, donde se declara lo siguiente: El carbón de llanta es un polvo negro, inodoro, no explosivo, no está clasificado como solido inflamable, no es una sustancia susceptible de combustión espontánea, no está clasificada como sustancia oxidante, no es un peróxido orgánico, no es tóxico, ni sustancia infecciosa, no corrosivo. De acuerdo con Disposición especial A3 IATA es clasificado como “no restringido según Disposición especial A3”. En el anexo 2 se adjunta Hoja de Seguridad (HDS) del Carbón de Llanta.

5.3.3 Aceite Pirolítico (Aditivo de Combustible)

Este líquido aditivo de características combustibles se utiliza mezclado con diésel como alimento de generadores de electricidad y/o mezclado con aceite lubricantes usados como parte del ANFO en explosivos mineros. Al destilarlo se puede generar una mejor calidad de aditivo símil diésel, usable en generadores de electricidad y/o alimentación de hornos industriales. Este aditivo se almacenará en estanques de 24.000 litros, para su posterior venta. Cabe destacar que esta sustancia no está catalogada como una sustancia peligrosa. En el anexo 3 se adjunta Hoja de Seguridad de este aceite.

5.3.4 Gas Incondensable

El gas incondensable producto del proceso de pirólisis se devolverá al proceso para mantener la temperatura en el reactor.

5.3.4.1 Proceso de Separación de Petróleo Pesado y Gases No Condensables

El gas al salir del reactor ingresa a un primer estanque (recolector), en el cual se separa el aceite pirolítico y las partículas de carbón que pudiesen ser arrastradas. Posteriormente ingresa a un segundo estanque de separación donde los gases no condensables son separados y enviados al reactor para ser utilizado como combustible.

5.3.4.2 Proceso de Limpieza y Enfriamiento del Gas

El gas se enfría por medio de un intercambiador de calor, el que utiliza un ciclo cerrado de agua (industrial reciclada de lavado de camiones) para refrigeración. El agua no tiene contacto con el producto reciclado, siendo solo de enfriamiento. El aceite pirolítico ya condensado es dirigido al estanque de almacenamiento temporal.

5.3.4.3 Enfriamiento y Acondicionamiento del Reactor

Una vez finalizado el proceso de pirólisis, se deja enfriar el reactor, luego de las cuales se realiza su acondicionamiento para el proceso siguiente.

5.4 Localización del Proyecto

5.4.1 Ubicación del Proyecto

La ubicación de la planta se encuentra en la Ruta 31 Ch, entre el km 17 y km 18, Sector Quebrada Cinchado, Tercera región, Atacama. A 9 km desde el ingreso por Paipote por la Ruta 31 Ch. Junto a la planta de INACAL. Corresponde a una zona industrial alejada de la población en un lugar central de la minería en Atacama (Figuras de la 10 a la 12).

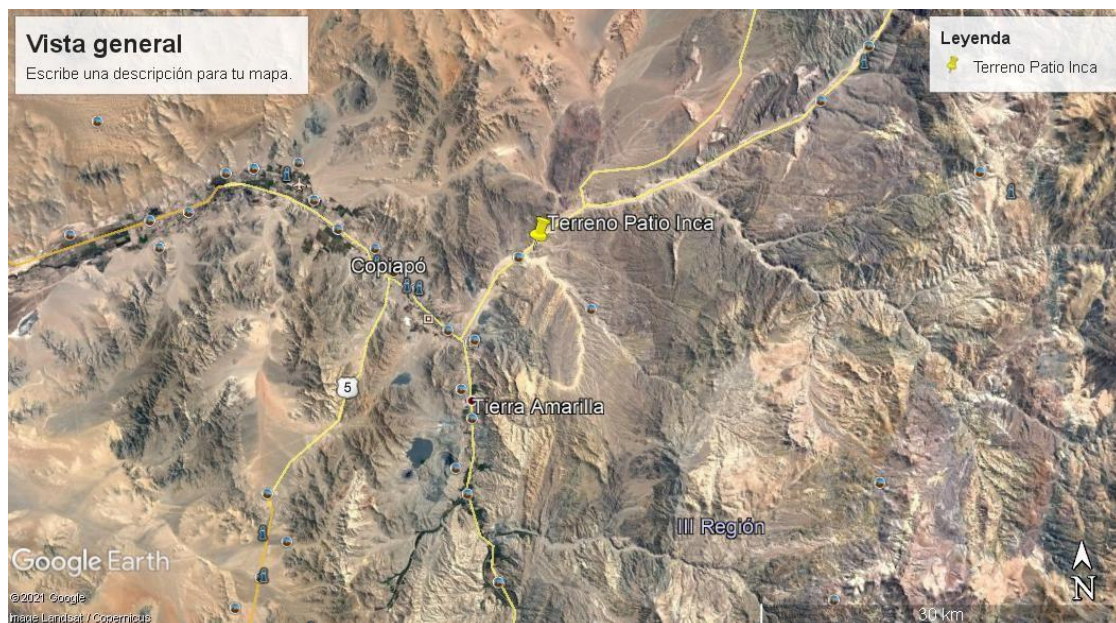


Figura 10. Vista general del terreno donde se instalará el Proyecto.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 11. Ubicación de la Planta de Pirólisis en el terreno.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 12. Esquema distribución de las instalaciones de la Planta.

Fuente: Elaboración propia.

5.4.2 Coordenadas Geográficas

A continuación, en Tabla 5, se presentan las coordenadas geográficas en UTM Datum WGS 19 Sur del punto medio del terreno donde se emplazará el Proyecto.

Tabla 5. Coordenadas Geográficas

NORTE	ESTE
6.974.226,59 m	380.448,88 m

Fuente: Elaboración propia

5.4.3 Superficie

Para el desarrollo de las actividades señaladas, se contempla una zona de acopio temporal para los neumáticos fuera de uso (NFU), galpón de producción, patio de salvataje, bodega RESPEL, lugar de picado y almacenamiento, y sectores destinados a las actividades complementarias, oficinas, baños, comedor, portería tal como se indica en la Tabla 6.

Tabla 6. Superficies de las instalaciones de la Planta

Recinto o Instalación	Superficie [m ²]
Terreno General	50.000
Galpón Planta de producción NFU	1.500
Oficinas y comedor	100
Vestidores y baños	30
Almacenamiento NFU cortados	20.000
Portería	2
Acopio temporal de NFU	20.000
Bodega RESPEL	18
Patio de Salvataje	80

Fuente: Elaboración propia

5.5 Principales Partes y Obras

En la Tabla 7 se describen las etapas de construcción de la obra y comienzo de operación de la planta, con una proyección de 6 meses de trabajo.

Tabla 7. Cronograma de Actividades

	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Construcción de fundaciones y radieres de galpón principal.						
Construcción oficinas y espacios comunes de personal (baños, camarines, comedores)						
Armado de galpón						
Instalación del generador						
Recepción de etapa de construcción						
Instalación de maquinaria de producción						
Acometida de equipos eléctricos						
Comisionamiento y puesta en marcha de planta.						
Recepción de etapa de implementación						
Comienzo de operaciones y producción						

Fuente: Elaboración propia

5.6 Personal

Se requiere un total de 14 personas en la parte operativa, considerando un administrador (Ingeniero (e) industrial con experiencia en procesos industriales), un prevencionista de riesgos, dos supervisores (sea por turno o por zona de trabajo), siete operarios capacitados y tres volantes. En la Figura 13 se muestra el organigrama de la fase de operación de la planta.

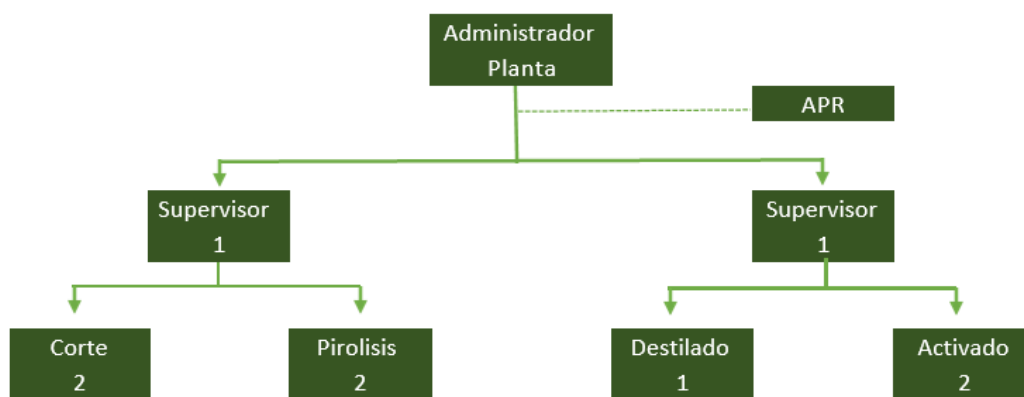


Figura 13. Organigrama fase de operación de la Planta.

Fuente: Elaboración propia.

5.7 Características de la Maquinaria

Las maquinarias relevantes del proyecto son: cizalla hidráulica (para corte de los NFU OTR), planta de pirolisis, planta de destilado y el horno de activación de carbón.

Cizalla hidráulica (para corte de los NFU OTR):

- Cizalla Ana (Ana Engineering) Modelo AR 340.
- Peso 3.400 kilos Presión de 350 kg.

- Capacidad de corte 450x150x10x20 [mm].

Planta de pirólisis DOING GROUP:

- 10 TPD Doing Pyrolysis plant.
- Capacidad de 10 toneladas por día de NFU

Planta de destilado o refinado DOING GROUP:

- 5 TPD Doing Destillated plant.
- Capacidad de procesar 15 .000 litros por cada dos días, de aceites pirolíticos.

Kiln de activación XKJ Solution (horno de activación de carbón):

- Equipo de procesamiento de carbón activado 3 T/D
- Polvo pirolítico de neumáticos fuera de uso
- Uso en filtración de agua industrial.

5.8 Insumos

5.8.1 Agua potable

Con respecto al agua potable, se contará con red de agua potable particular, la cual será debidamente autorizada por la SEREMI de Salud y cumplirá con el D.S 594/2000 “Sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo” (D.S 594 MINSAL, 2000). Cabe mencionar que el proyecto dependerá de la disponibilidad de este recurso, para consumo humano y servicios higiénicos.

5.8.2 Energía eléctrica

La empresa utilizará un generador 200 kVA para proveer de energía el proyecto. Es importante señalar que, una vez realizada la instalación, el generador será inscrito en la SEREMI de Salud Atacama para cumplir con el DS 138/2005 “Establece Obligación de Declarar Emisiones que Indica” (D.S 138 MMA, 2005).

5.8.3 Combustible

Para la realización del primer ciclo del reactor, se considera la utilización de diésel, posterior a esto se utilizará el aceite pirolítico, producido por el proceso de pirolisis.

5.8.4 Productos Químicos

Se contempla el almacenamiento temporal del aditivo producido mediante la pirólisis (aceite pirolítico) hasta su comercialización. Para este almacenamiento se considera dos (2) estanques de almacenamiento de 24 m³.

5.8.5 Neumáticos

Para la operación del Proyecto se requerirán 10 toneladas diarias de neumáticos, que serán transportados a la Planta.

CAPÍTULO VI

ESTUDIO AMBIENTAL

6. Aspectos ambientales

La planta de disposición final de NFU mineros debe realizar una serie de solicitudes a las autoridades de Salud y Ambientales de Chile.

En este caso, como la empresa Amffal SpA ya cuenta con una RCA N°34 / 2003 favorable, del proyecto denominado “Planta de transferencia Inca de Oro”. El cual consta de la instalación y funcionamiento de una planta de tratamiento de aguas servidas, situada en el mismo terreno donde se pretende construir la planta de pirólisis. Lo mejor sería elaborar e ingresar una Carta de pertinencia al SEIA (Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental) donde se justifique que la producción de la planta de pirólisis se encuentra bajo lo requerido por el MMAA para no realizar una DIA (Declaración de Impacto Ambiental) o un EIA (Estudio de Impacto Ambiental).

Posteriormente a al pronunciamiento del SEA, se debe presentar proyecto de reciclado y disposición final al SEREMI de Salud de Atacama, solicitando una Resolución Sanitaria Sectorial.

6.1 Emisiones de gases

Se entiende como co-incineración toda instalación fija o móvil cuya finalidad principal sea la generación de energía o la fabricación de productos materiales. Utilizando residuos como combustible habitual o complementario, en los procesos de tratamiento térmico, tales como pirolisis, gasificación y proceso de plasma. (Valenzuela, 2013).

La Norma de emisión de gases según la DS 29 del MMAA, establece las normas de emisión para incineración, co-incineración y co-procesamiento. En la Tabla 8 se indican los parámetros máximos permitidos por esta norma.

Tabla 8. Cantidades máximas de partículas y gases permitidos en el efluente y frecuencia de mediciones. Artículo 3º, tabla N°3

CONTAMINANTE	Valor límite de emisión (mg/ Nm ³)
Material Particulado (MP)	30
Monóxido de carbono (CO)	50
Carbono Orgánico Total (COT)	20
Mercurio y sus compuestos como metal (Hg)	0,1
Cadmio y sus compuestos, indicado como metal (Cd)	0,1
Berilio y sus compuestos como metal (Be)	0,1
Plomo y sus compuestos indicados como metal (Pb)	1,0
Arsénico (As)+Cobalto (Co)+Níquel (Ni)+Selenio (Se)+Telurio (Te) y sus compuestos	1,0
Antimonio (Sb) + Cromo (Cr) + Manganeso (Mn) + Vanadio (V)	5,0
Compuestos inorgánicos clorados gaseosos indicados como ácido clorhídrico (HE)	30
Compuestos inorgánicos fluorados gaseosos indicados como ácido fluorhídrico (HF)	5,0
Benceno (C ₆ H ₆)	5,0
Dioxinas y Furanos	0,2

Fuente. Decreto Supremo N°29/2013 Establece norma de emisión para incineración y procesamiento.

6.1.1 Emisiones de gases de escape por pirólisis

Después de la desulfuración, la eliminación del polvo y el tratamiento de adsorción de carbón activado de los gases de escape del proceso de pirólisis y combustión del proyecto, la tasa de eliminación de SO₂ en el gas de escape puede alcanzar el 85%, la tasa de eliminación de polvo puede alcanzar el 90%, la eficiencia de eliminación de VOC es del 85%, la eficiencia de eliminación de sulfuro de hidrógeno es del 80% y la eficiencia de desodorización es 80%, la concentración de emisión y la tasa de emisión de cada contaminante cumplen con los requisitos del estándar de la norma chilena.

6.2 Residuos domiciliarios

Se generarán residuos sólidos domésticos tanto durante la implementación del Proyecto, como durante su operación. Los RSD estarán principalmente constituidos por materia orgánica, papeles, cartones, entre otros. Considerando un factor de generación de 1 kg/persona/día, se estima que se generarán como máximo alrededor de 14 kg/día de residuos domésticos durante la implementación y de 11 kg/día durante la operación. Estos residuos serán almacenados temporalmente en contenedores adaptados para ello, para posteriormente ser trasladados por el Servicio de Recolección Municipal desde la faena hasta el sitio de disposición final autorizado.

6.3 Residuos industriales no peligrosos

Durante la implementación y construcción, se generarán residuos sólidos como despuntes de fierro, materiales de embalaje, despuntes de madera, restos de polietileno de alta densidad (HDPE), entre otros. Estos serán almacenados de forma temporal en el patio de salvataje y serán retirados periódicamente por una empresa especializada en el rubro, la cual estará debidamente autorizada por la Autoridad Sanitaria para realizar el transporte de residuos industriales y dispuestos en un sitio autorizado.

6.4 Residuos industriales peligrosos

Durante la implementación del Proyecto se generarán Residuos Industriales Peligrosos tales como equipos de protección personal contaminados con aceites, guantes y paños con aceites, envases de pintura usados, aerosoles, etc.; los cuales serán almacenados en tambores metálicos con tapa, rotulados, indicando las características de peligrosidad del residuo, según lo establece la NCh 2190 Of. 03 dentro de la bodega de acopio temporal de residuos

peligrosos, para ser manejados según lo indica el D.S. N° 148/03 del Ministerio de Salud. Su retiro se realizará antes de cumplir 6 meses de almacenamiento temporal, a través de una empresa autorizada por la Autoridad Sanitaria a un sitio de disposición final autorizado. Se estima que se generarán 50 kg mensuales. (D.S 594 MINSAL, 2000).

Los Residuos Industriales Peligrosos generados producto de la operación del Proyecto corresponden a tubos fluorescentes, aerosoles (desodorantes ambientales), paños, guapos y elementos de protección personal contaminados con aceites, y envases de pintura y diluyentes utilizados en la mantención de los equipos. Se estima una generación de 10 kg/mes de residuos peligrosos, los que serán manejados de acuerdo con normativa vigente y dispuestos en la bodega de RESPEL debidamente aprobada por la Seremi de Salud Atacama.

6.5 Aguas servidas

Para la etapa de construcción se utilizarán baños químicos, por lo tanto, no se generarán aguas servidas. Como se ha indicado en la etapa de operación se generarán 800 l/día de aguas servidas, éstas serán tratadas en una Planta de Tratamiento aguas servidas que se encuentra aprobada por SEREMI de Salud Atacama mediante la Resolución Exenta N°695 del 27 de marzo 2008. (Anexo 4).

6.6 Instalaciones para el almacenamiento transitorio de los residuos generados por el proyecto

Cabe mencionar, que los residuos domiciliarios en todas las etapas del proyecto, se almacenaran en contenedores de basura de 240 lts, en las cantidades que se estimen, según, el número de trabajadores en las diferentes etapas.

6.7 Bodega RESPEL

La instalación contará con bodega RESPEL, donde se almacenarán los residuos obtenidos durante la producción, la cual dará cumplimiento con lo estipulado en el D.S. 148/03 del Ministerio de Salud y se presentará a la SEREMI de Salud Atacama para su posterior aprobación. (D.S 148 MINSAL, 2005).

6.8 Patio de salvataje

La instalación contará con un patio de salvataje, donde se almacenarán los residuos a tratar durante la producción, mayoritariamente chatarra de acero. El almacenamiento se realizará en espacios diferenciados según residuos, claramente identificados, señalizados y separados por clase, consignando además todas las indicaciones establecidas en los criterios de incompatibilidad señalados en la norma, cumpliendo con la normativa aplicable. Esta instalación será presentada a la SEREMI de Salud para su posterior Resolución de aprobación.

6.9 Acopio de NFU

Consiste en la labor de almacenar los neumáticos que ingresen a la planta para posteriormente ingresarlo al proceso de valorización. Se utilizará un encapsulador de hidrocarburos (HCs) y retardante de incendios F-500, un producto orgánico sin impacto sobre el terreno que trabaja mediante encapsulamiento del HC, generando retardo en posibles incendios, control de fuego y evitando humos contaminantes, además de la norma.

CAPÍTULO VII

ESTUDIO DE MERCADO

7. Antecedentes y análisis del mercado de reciclado y valorización energética de neumáticos fuera de uso (NFU) OTR mineros en la tercera Región de Atacama

En las Tablas de la 9 a las 12, se presentan antecedentes del mercado de neumáticos en desuso, para luego ir a los puntos específicos del segmento de mercado del proyecto que es la mediana y gran minería de la tercera región, en sus OTR 57 y 63 que son de grandes dimensiones.

Tabla 9. Parque automotriz de autos-camionetas y su relación con los neumáticos

AÑO	Parque automotor Unidades	Parque de neumáticos Unidades	Vida útil de neumático Años	Tasa de reemplazo
2011	3.299.810	16.472.435	6,16	0,75
2012	3.585.001	17.897.353	6,39	0,72
2013	3.848.196	19.209.022	5,99	0,78
2014	4.117.601	20.553.500	6,12	0,76
2015	4.288.985	21.407.585	5,91	0,81
2016	4.490.104	22.411.157	5,64	0,85
2017	4.709.031	23.503.574	5,63	0,85
2018	4.994.964	24.930.413	6,53	0,72

Fuente. CINC 2020

Tabla 10. Parque automotriz de buses-camiones y su relación con los neumáticos

AÑO	Parque automotor Unidades	Parque de neumáticos Unidades	Vida útil de neumático Años	Tasa de reemplazo
2011	219.799	1.914.979	2,48	3,29
2012	231.127	2.021.147	2,32	3,57
2013	241.527	2.114.026	2,37	3,53
2014	255.996	2.237.854	2,75	3,00
2015	261.472	2.289.708	2,40	3,57
2016	267.814	2.347.431	2,44	3,50
2017	274.780	2.412.012	2,63	3,25
2018	284.694	2.500.366	2,67	3,17

Fuente. CINC 2020

Cabe destacar que la rotación de neumáticos de buses y camiones es de 3,36 anuales como promedio de los últimos ocho años. Para cálculo asumimos una tasa de recambio de 3 por año.

Tabla 11. Importación de neumáticos nuevos en unidades

AÑO	Autos y camionetas	Camiones y buses	Minería y construcción	Forestal y agrícola
2016	3.798.633	938.602	28.047	141.537
2017	3.980.395	892.766	32.822	138.146
2018	3.598.486	903.137	35.124	130.840
2019	3.248.542	912.880	37.957	141.552

Fuente. CINC 2020, Aduanas

Tabla 12. Neumáticos Fuera de Uso (NFU) en Toneladas, generadas por segmentación

AÑO	Autos y camionetas	Camiones y buses	Minería y construcción	Forestal y agrícola	Otros
2011	26.557	34.027	34.591	6.135	1.266
2012	27.499	42.923	37.746	6.756	1.807
2013	33.069	45.751	47.696	5.705	1.558
2014	35.502	39.057	36.897	5.568	1.683
2015	40.994	51.350	33.308	6.088	1.734
2016	40.788	48.406	25.081	6.819	1.663
2017	44.846	46.257	35.184	6.732	1.840
2018	41.545	47.074	38.098	6.864	1.548

Fuente. CINC 2020

La importación de neumáticos mineros y construcción aumentó un 15,6% los últimos cuatro años, junto con un aumento en la generación de neumáticos fuera de uso de 51,8%

El mercado de la minería mantiene un aumento de consumo de neumáticos.

7.1 Neumáticos Mineros (Off the Road-OTR)

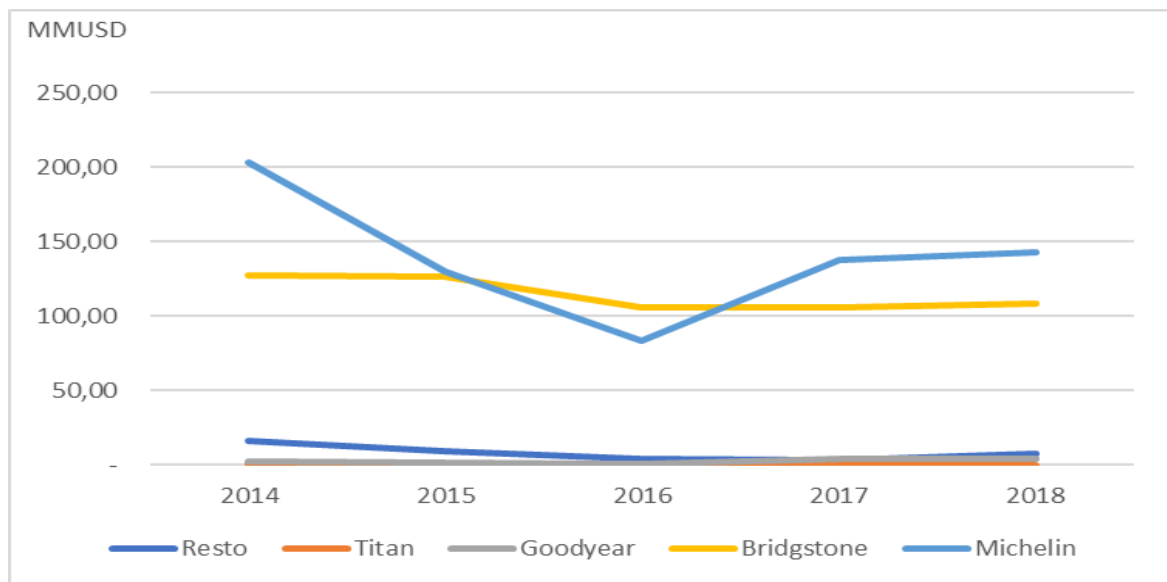
El análisis se centra en los neumáticos para camiones “Off The Road”, utilizados en minas a rajo abierto, principalmente en operaciones de la gran minería. Los tamaños analizados corresponden a los especificados por los fabricantes de los camiones de alto tonelaje en sus catálogos, es decir, los siguientes tamaños:

- _ 27.00 R49
- _ 33.00 R51
- _ 37.00 R57
- _ 42/90 R57

- _ 40.00 R57
- _ 46/90 R57
- _ 53/80 R63
- _ 56/80 R63
- _ 59/80 R63

Chile no cuenta con plantas para la fabricación de neumáticos de los tamaños analizados, por lo que importa el 100% de ellos. El detalle de los volúmenes importados (millones de US\$ CIF) por marca y para los tamaños analizados, es mostrado en la Gráfica 1.

Gráfica 1. Importaciones de neumáticos OTR por marca 2014-2018



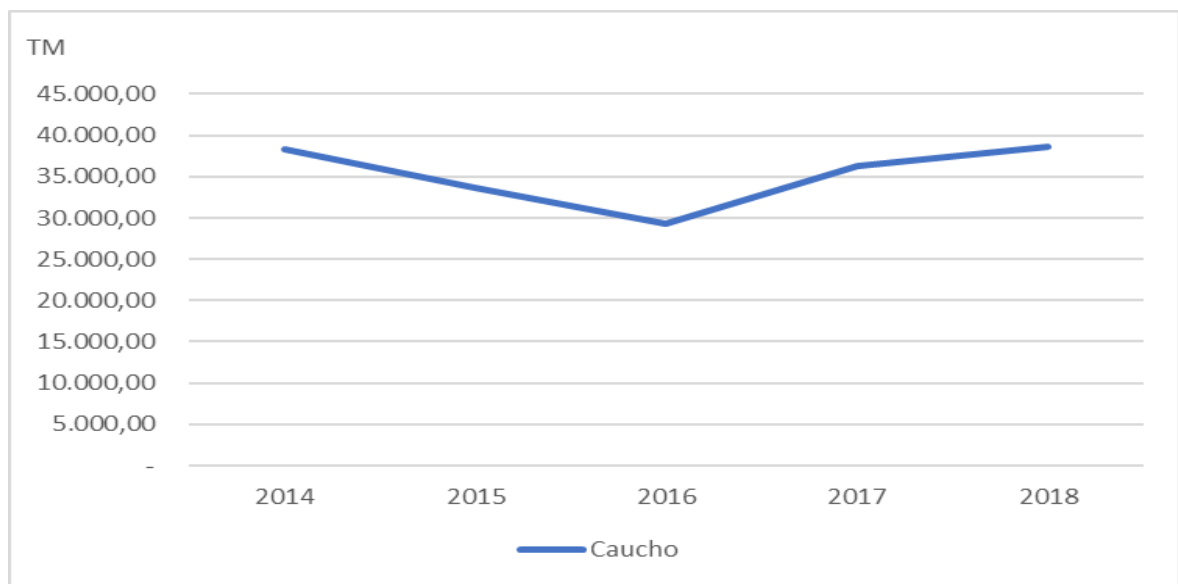
Fuente: Cochilco en base a información de Ecomex (Thomson Reuters)

Los neumáticos de 49" y 51" han perdido presencia a partir del año 2014. Una situación distinta se observa con los neumáticos aro 63", los cuales han superado las 5.000 unidades importadas los últimos dos años. Finalmente, los

neumáticos aro 57”, luego de experimentar un descenso, en el año 2018 alcanzaron las 3.000 unidades anuales (Comisión Chilena del Cobre, 2018).

Michelin® y Bridgestone® son los principales fabricantes de neumáticos utilizados en camiones de alto tonelaje en la minería a cielo abierto. En el periodo 2014- 2018, los neumáticos importados marca Michelin® alcanzaron aproximadamente las 21.600 unidades y Bridgestone® las 17.400 unidades, representando el 53% y 43% del total de unidades importadas para los tamaños analizados, respectivamente. Las toneladas de caucho equivalente se muestran en la Gráfica 2.

Gráfica 2. Toneladas de caucho equivalente importadas 2014-2018

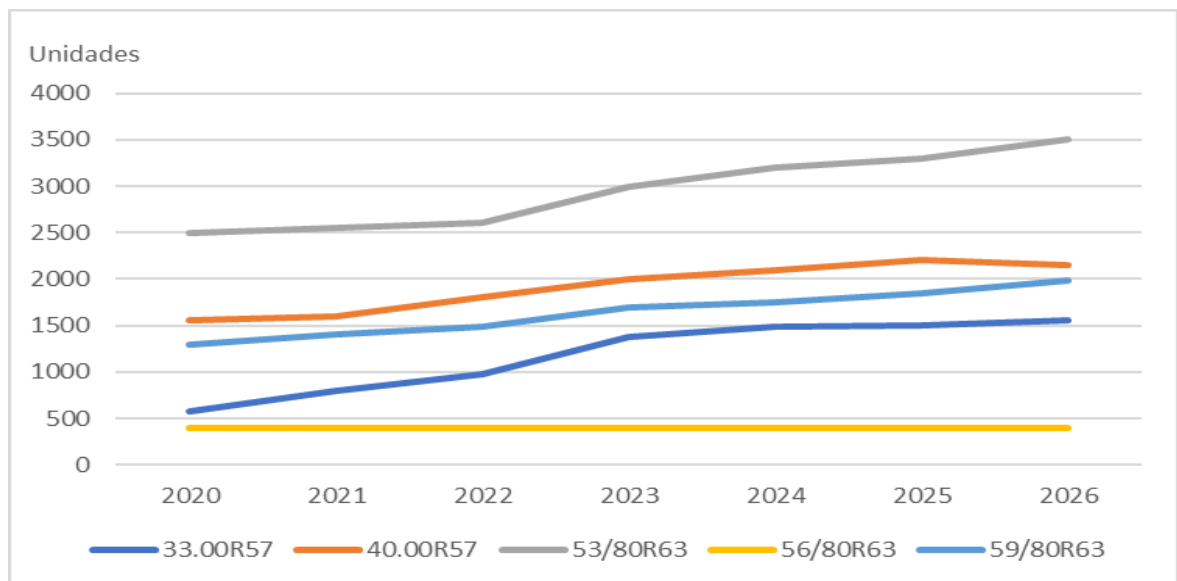


Fuente: Cochilco, Insumos críticos de la gran minería en Chile.

7.2 Demanda estimada de neumáticos mineros

El análisis sólo considera aquellos neumáticos aro 57” y 63”, correspondientes a los camiones de extracción cuya capacidad supera las 150 toneladas. Por lo tanto, dicha demanda está ligada al tamaño del parque de camiones que estaría en operación durante el periodo 2017-2026 (flota actual de camiones y requerimiento de nuevos camiones por reemplazo y aumentos capacidad por expansiones y nuevos proyectos). La demanda estimada de neumáticos se presenta en la Gráfica 3.

Gráfica 3. Demanda estimada de neumáticos de grandes dimensiones 2017-2026.



Fuente. Cochilco, Insumos críticos de la gran minería en Chile.

Los neumáticos analizados corresponden a los requeridos por los camiones modelos 789, 793, 797 de Caterpillar® y 730E, 830E, 930E de Komatsu®. La demanda de dichos neumáticos en otro tipo de maquinaria no forma parte de la proyección.

7.3 Producción de la gran minería

En el análisis regional, a pesar de que la región de Antofagasta sigue siendo la más importante productora de cobre del país, su aumento porcentual es levemente superior al aumento de producción esperado, destacándose como aquella región con más aumento la de Atacama, con un crecimiento de un 69%, seguida en segundo lugar por Tarapacá con un 33% de crecimiento. Luego les siguen, Antofagasta en tercer lugar con un 30%, y la región Metropolitana y Coquimbo con 25% cada una compartiendo el cuarto lugar. (Cochilco, Proyección de la producción esperada de cobre en Chile 2018 – 2029). Las Tablas 13 y 14 muestran datos relevantes de producción minera en Chile.

Tabla 13. Producción nacional (TMF) de minería metálica

	2017	2018	%Variación
Cobre	5.557.964	5.872.027	5,7
Molibdeno	62.454	60.248	-3,5
Oro	37.911	37.066	-2,2
Plata	1.318.582	1.370.237	3,9
Hierro	9.549.357	8.942.638	-6,4
Plomo	1.562	712	-54,4
Cinc	29.008	26.810	-7,6

Fuente. Sernageomin 2019

Tabla 14. Producción de minerales metálicos por región en Chile

Tarapacá	636.284 TM
Antofagasta	4.123.057 TM
Atacama	20.684.740 TM
Coquimbo	3.465.030 TM
Valparaíso	357.021 TM
Metropolitana	461.314 TM
O'Higgins	571.408 TM
Aysén	24.315 TM

Fuente. *Sernageomin 2018*

La región de Atacama representa la tercera zona de importancia de la gran minería en Chile, pero la que tiene mayor crecimiento.

Empresas mineras de la pequeña, mediana y gran minería en la tercera región de Atacama.

El mercado del proyecto está definido en la mediana y gran minería de la tercera región de Atacama. Principalmente camiones CAEX con neumáticos R51, R57 y R63.

La masa crítica del proyecto se calcula en base a las faenas mineras, cantidad de camiones operativos y tasa de recambio, además de los inventarios acumulados de cada faena.

La ley 20.920 MMAA obliga a disponer los NFU OTR en porcentajes aumentativos cada año y la ley 20.551 de Minería obliga al cierre de faenas tener las zonas limpias de contaminantes. (GESCAM,2017).

En la Tabla 15, se presentan datos relevantes de las faenas mineras de la región de Atacama.

Tabla 15. Faenas y datos relevantes

Grupo		Camiones	Cantidades NFU/AÑO	NFU Inventario	Tasa de recambio
Pucobre			50	150	3
Carola			80	100	3
Atacama Kozan			87	300	3
Las cenizas			-	-	3
Francke			-	-	3
El salvador		33	100	1200	3
Mantoverde	Mantos Copper Mitsubishi	45	150	3500	3
CNN		12	40	300	3
Candelaria		13 2	396	5000	3
Maricunga	Kinross	-	-	475	3
Coipa	Kinross			600	3
Caserones	Lumina Copper	31	93	350	3
Los colorados	CAP	36	120	800	3

Fuente. Antecedentes y análisis del mercado de reciclado y valorización energética de neumáticos fuera de uso (NFU) OTR mineros en la tercera región de Atacama

7.4 Mercado de Neumáticos Fuera de Uso

7.4.1 Consumidor, demanda del mercado de reciclado y disposición final de NFU

El consumidor del servicio de disposición final es la mediana y gran minería de la Tercera Región a Atacama, usuarios de los camiones CAEX con neumáticos R51- R57-R63, principalmente. Este nicho específico representa un consumo de más de 1.000 unidades gigantes por año, correspondientes a 4.000 toneladas año. Además, se consideran los inventarios acumulados por más de

9.000 toneladas. El mercado proyecta un incremento en el uso de NFU gigantes pues al bajar la ley del mineral, se requiere mayor esfuerzo de tonelaje, más camiones, y por lo tanto, más neumáticos. Este aumento se proyecta en un 70%, lo que incidirá en la tasa de generación de residuos de la minería.

Para una planta de disposición final de NFU de la minería, se considera un universo en cinco años de 30.000 toneladas aproximadamente, con un posible aumento a 40.000 toneladas con las nuevas necesidades del sector extractivo. Esta producción es eliminada en 14 años con una planta de producción de 10 toneladas de NFU por día en 24 días por mes (2.880 toneladas de NFU al año).

Nuestro objetivo es captar el 35% del mercado oferente de la tercera región, de sus neumáticos fuera de uso consumidos en el año más sus inventarios, con 16.000 toneladas por los próximos 5 años.

El factor de seguridad por abastecimiento de la masa crítica del proyecto considera los NFU de vehículos menores, correspondientes a 92.455 toneladas al año, de los cuales el 3,2% corresponde a la tercera región, o sea, 3.000 toneladas al año.

La demanda del servicio de disposición final de los residuos de NFU viene de la obligación de la ley REP 20.920 (Ministerio del Medio Ambiente), que responsabiliza al generador del residuo por su eliminación mediante una disposición final legal, que transforme al residuo de caucho en un producto diferente. Por este motivo y junto a la ley de desmovilización 20.551 (Ministerio de Minería) se hace factible la valorización energética de los residuos NFU generados en el año, más los inventarios de la gran minería. (GESCAM,2017).

Si bien la ley entrega metas anuales que van creciendo cada año (del 25 al 100% en cinco años), la industria tiene interés de generar soluciones que

cumplan la eliminación del inventario acumulado. La gran y mediana minería entiende que una solución requiere de masa crítica, la cual debe considerar el stock.

7.4.2 La competencia, ofertas del mercado del reciclado y disposición final de NFU

La oferta del mercado de reciclados y disposición final de neumáticos mineros fuera de uso, se restringe a dos actores del mercado, KalTire® y Bailac®, ambas grandes compañías dedicadas a la mantención y reparación de los NFU mineros desde hace más de 20 años. Si bien Bailac® tiene el 65% del mercado a lo largo de Chile, KalTyre® tiene presencia internacional y grandes capitales de sustento.

Para explicar las ofertas de disposición final de NFU mineros, primero debemos conocer las alternativas de disposición final descritas en la Figura 14

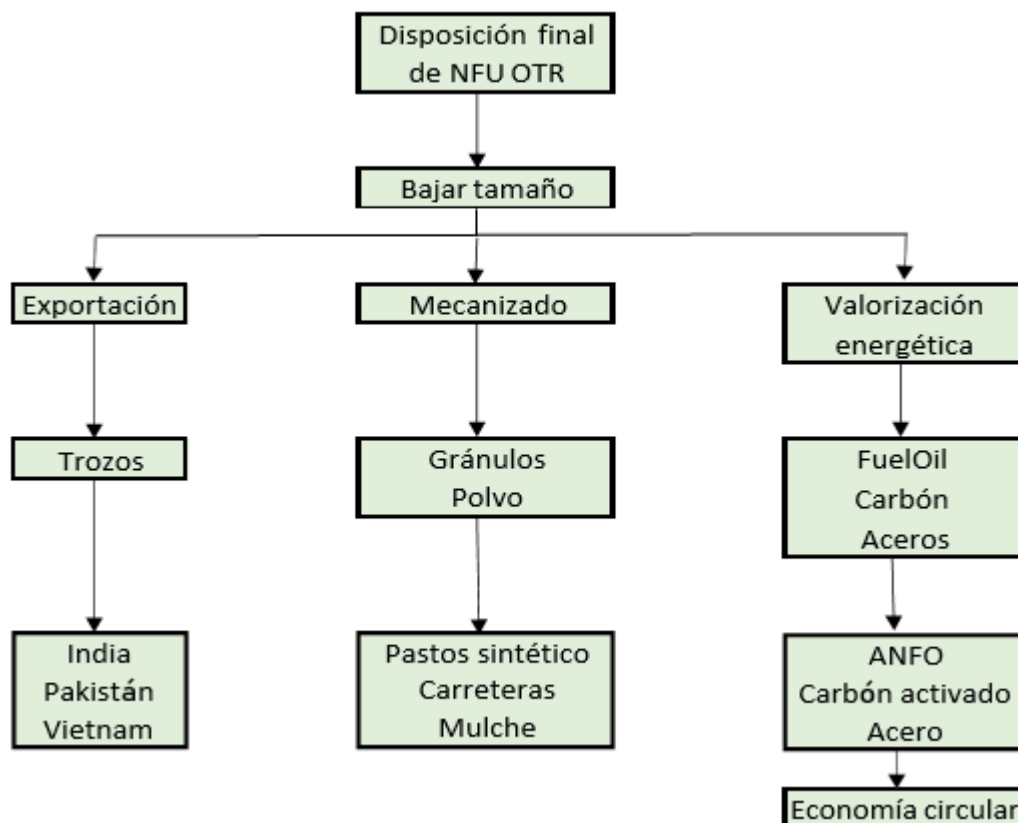


Figura 14. Diagrama de flujo disposición final NFU mineros.

Fuente: Antecedentes y análisis del mercado de reciclado y valorización energética de neumáticos fuera de uso (NFU) OTR mineros en la tercera región de Atacama.

Toda oferta de servicio considera el bajar el tamaño del neumático, luego vienen las opciones de disposición final.

7.4.3 Exportación de trozos

Mediante sistema de corte (cizalla, water jet, cortadora hidráulica) se bajan los tamaños a trozos de 120 kilos cada uno, los cuales se embarcan hacia la India, Pakistán o Vietnam en contenedores de 40' y 25 toneladas de capacidad. Este proceso considera cobrar una ecotasa de USD 300 a USD 500 por tonelada y el servicio se puede prestar en la mina o en planta.

7.4.4 Mecanizado

Este sistema como el anterior, disminuye el tamaño del residuo y luego pasa por una serie de desbastadores o molinos que disminuyen el tamaño hasta una pulgada, y posteriormente puede pasar a otro molino que bajará más aun dicho tamaño para poder separar el acero del caucho.

Para NFU mineros no es la mejor opción, pues sus subproductos son pasto sintético, polvo y otros productos de caucho que tienen baja colocación en el mercado, precios bajos y un mercado competitivo (China y África tienen precios más bajos y volúmenes mayores). (Tirel, 2017).

Se han realizado experiencias, pero el mercado es reducido y los costos muy altos respecto al mercado. No es sustentable en el tiempo.

7.4.5 Valorización energética

Esta opción presenta la mejor relación disposición final y productos secundarios, al ser aprovechados por la minería en sus procesos productos y generar además beneficios de economía circular, bajar la huella de carbono y avanzar en la generación de cobre verde.

El proceso consiste en bajar el tamaño del residuo NFU OTR minero, para un tamaño de ingreso a la puerta del reactor pirolítico. La pirolisis es un sistema de cracking molecular que transforma al neumático en sus componentes originales; carbón 35% - FuelOil (caucho gasificado) en 40% y aceros chatarras en 20%, además de un gas que se reutiliza en los quemadores Tailgas 5%. En proceso de batch diario, los reactores pirolíticos pueden procesar 10 toneladas de NFU OTR por día. Una vez terminadas esta etapa, se puede hacer refinado del

FuelOil o aceite pirolítico para que pueda ser utilizado en un generador de electricidad o FuelOil sin refinar, como el utilizado para el ANFO (Ammoniac Nitrate Fuel Oil) que es un explosivo para la minería (fabricado por ENAEX, ORICA, MAXAM, etc.). El carbón se puede utilizar como ANCO (Ammoniac Nitrate Carbon) o como carbón activado para filtros de aguas industriales, filtros de relaves o desalinizadoras que se utilizan en los procesos mineros. (Valenzuela, 2013).

En resumen, este proceso es lo más atractivo para las grandes compañías mineras. Pueden usar los productos secundarios resultantes de la valorización energética de los NFU OTR.

La oferta en Chile, para un sector altamente marcado por el estándar, como es la minería se reduce a tres empresas, que poseen planta de pirólisis en Chile, como se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16. Plantas de Pirolisis en Chile

BAILAC SAN	Planta de pirolisis de NFU en Tierra Amarilla Producción 2.500 ton al año. Tierra Amarilla - Copiapó Operación 2020 diciembre
KalTyre	Planta de pirolisis de NFU en Antofagasta Producción 2.600 - 4000 ton al año. La Negra - Antofagasta 2020 Octubre
Kona Fuel	Planta de pirolisis de NFU en V Región Producción 3.000 Ton año Lugar sin determinar 2021 - sin determinar
Morgan	Corte y exportación
Otros menores	

Fuente. Antecedentes y análisis del mercado de reciclado y valorización energética de neumáticos fuera de uso (NFU) OTR mineros en la tercera región de Atacama

Las plantas de KalTire® y Bailac® están copadas con compromisos (BHP y Kinross), por lo tanto, sólo pueden tomar clientes desde el año 2023.

La opción de Morgan es para urgencias operacionales, no representa una amenaza en el mediano plazo.

La oferta actual de disposición final de NFU OTR con estándar minero sólo cubre un 30% aproximadamente de las necesidades del mercado. Hay espacio para más plantas de valorización con estándar minero. (Flores, 2016)

La proyección de nuevos actores en el mercado no está clara aun, los proyectos que se discuten son para neumáticos pequeños, que tiene un coste operacional más bajo y no necesitan un estándar alto. (Flores, 2016).

7.5 Comercialización del servicio de disposición final de NFU y la venta de productos secundarios resultantes del proceso

Los ingresos del proyecto tienen dos vías. Una es la venta del servicio de disposición final y la segunda vía es la venta de los productos secundarios.

7.5.1 EcoTasa o ingreso por servicios de disposición final

Este valor representa lo que tiene que pagar el generador del residuo por la eliminación del mismo. Originalmente el Ministerio del Medio Ambiente consideraba un 7% del valor del bien (un NFU R63 tiene un valor desde USD 45.000 referencial) y, por lo tanto, se estimaba un valor cercano a los CL\$ 670 kg más IVA.

La libre competencia del mercado tiene valores desde USD 400 Tonelada más IVA (CL\$ 350 kilo más IVA T/C 850) y USD 600 tonelada más IVA (CL\$ 510 más IVA T/C 850). Las diferencias de precio corresponden a ubicación, costos de mano de obra y costo de energía. Estos valores son establecidos con el producto puesto en planta y los valores mayores consideran un flete cercano (menos de 300 km). (Flores, 2016).

7.5.2 Productos secundarios

El proceso tiene un rendimiento mensual de ingreso de materias primas (NFU trozado) al reactor de 240 toneladas y de este proceso produce 84 toneladas de carbón, 108 toneladas de Aceite Pirolítico y 48 toneladas de acero chatarra.

El proceso de pirólisis varía de acuerdo a ciertos parámetros en la maquinaria de proceso, aunque el producto resultado siempre tiene las mismas características. Por lo tanto, podemos considerarlos parejos en calidad de lo que sale en cada reactor. No existirá variación importante de los parámetros medibles.

7.5.2.1 Aceite Pirolítico

En la Tabla 17 se describen las principales características del aceite pirolítico.

Tabla 17. Características del aceite pirolítico.

Descripción	Unidad	Método	Especificación	Resultados	Diesel Marino
Gravedad API	API	ASTM D 4552.16		21.8	
Densidad a 15°C	Kg/l	ASTM D 4052-16	Max 0.994	0.92	0.89
Viscosidad Cinemática a 50°C		ASTM D 445-18 ^a		3.89	
Punto de inflamación	°C	ASTM D 93/A-16 ^a	Min 60	<40	43 – 60
Azufre	% peso	ASTM D 4294-16e	Min 3.0	0.38	1.00
Ceniza	% peso	ASTM D 482-13		0.008	0.010
Carbón residual	% peso	ASTM D 4530-15		0.4	0.3
Agua por destilación	% vol	ASTM D 95-13e	Max 2.0	0.8	0.3

Fuente. Antecedentes y análisis del mercado de reciclado y valorización energética de neumáticos fuera de uso (NFU) OTR mineros en la tercera región de Atacama

Este aceite pirolítico tiene características combustibles similares a un diésel marino, diésel 5. El Ministerio de Energía recomienda venderlo como aditivo. (Tirel, 2017).

7.5.2.2 Carbón de llanta

En la Tabla 18 se describen las principales características del carbón de llanta.

Tabla 18. Características del carbón de llanta.

Descripción	Unidad	Método	Resultados	Carbón mineral
Poder calorífico	BTU		7.000	10.000 - 12.000
Humedad total	% peso	ASTM D 3302	0.22	5.00
Humedad residual	% peso	ASTM D 1373/7582	< 0.27	
Cenizas	% peso	ASTM D 3174/7582	29.69	8.00
Material volátil	% peso	ASTM D 3175/7582	7.59	30.00
Carbono fijo	% peso	ASTM D 3172	62.50	50.00
Azufre	% peso	ASTM D 4239	2.92	0.80

Fuente. Antecedentes y análisis del mercado de reciclado y valorización energética de neumáticos fuera de uso (NFU) OTR mineros en la tercera región de Atacama

7.5.2.3 Aceros chatarras

El acero chatarra es de calidad pareja, pues las dos marcas de neumáticos dominantes de la minería (Michelin® y Bridgestone® con un 90% del mercado aproximadamente), tiene metales de alta calidad. Se venden a Gerdau Aza a un 45% del valor del Scrap Steel de la bolsa de metales de Londres (LME). Gerdau lo compacta y retira de planta por ese valor más IVA.

7.6 Comentarios sobre negociaciones de precios.

El precio del combustible lo designa el cliente (la mina), de acuerdo a sus contratos de abastecimiento. Usualmente se considera un 80-90% del precio del diésel puesto en mina. También se ha determinado el uso de combustible como aditivo a valores de USD 50 barril petróleo como base (SCL 267 litro en puerto), puesto en mina se llega a los CL\$ 300 litro. Por lo tanto, consideramos el valor más bajo CL\$ 300 litro y el más alto CL\$ 480 litro, para la evaluación económica. (Pino, 2020).

Los clientes de este combustible alternativo o aditivo combustible, son los generadores de ANFO como ENAEX, ORICA, empresas dominantes del sector y con presencia de la totalidad de la minería en Chile.

El uso del aditivo combustible debe ser solicitado por la faena minera, pues usualmente la mina entrega el combustible al fabricante del explosivo. El ANFO se fabrica con aceite quemado, diésel y nitrato de amonio. La mina la asigna el valor al combustible, por lo tanto, en la negociación inicial se determina el precio. Los volúmenes utilizados para estos efectos son mayores a la capacidad de producción de una planta de 10 toneladas por día. (Pino, 2020).

El uso del aditivo combustible como generación de energía suple el diésel normal. Por lo tanto, hay que calcularlo como un 90% del valor normal. El problema de esta opción es que se necesitan generadores aptos para un diésel grueso, no se puede utilizar cualquiera. Sin embargo, si se presta el servicio de generación de energía como respaldo o en faenas lejanas, con los equipos apropiados es un valor diésel 6.

El carbón es un producto que tiene muchas opciones de comercialización. A diferencia del fuel oil, puede llegar a precios altos. No es un precio estático, con un proceso extra puede llegar a valor altos.

La primera opción de venta de carbón de llanta en polvo a las cementeras, cal, energía a precios bajos de CL\$ 40 kilo más IVA. Es una posibilidad utilizada cuando se necesita desocupar inventarios molestos, no es recomendable desde el punto de vista financiero. Otra opción es la briqueta de carbón de llanta para fundiciones medianas y pequeñas que utilizan carbón coke. Este producto por sacos de 50 kilos tiene un precio de venta de CL\$ 200 a 300 kg neto, según sea mayoristas o consumidor final. Se factura entre CL\$ 16.8 millones hasta 25.2 millones netos mes. Es un mercado pequeño, de 200 toneladas al mes

aproximadamente según experiencias propias. Requiere un esfuerzo de venta o trabajar con mayoristas regionales que pueden absorber el volumen producido (84 toneladas por mes). La tercera alternativa es la activación para utilizar el carbón como filtro de gases, filtro de aguas industriales o relaves. Desde el punto de vista, ambiental y financiero es la mejor opción. Los precios que se alcanzan con este producto son mucho mayores que los otros dos descritos, pero requiere de un post proceso de activación mediante calor (900°C) e inyección de vapor de agua. Este proceso tiene un rendimiento del 33% generando en una planta de 10 toneladas día, una cantidad de 28 toneladas de carbón activado por mes, valorizado entre CL\$ 22,4 millones y CL\$ 33,6 millones. (Pino, 2020).

CAPÍTULO VIII

ANÁLISIS Y CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN

8.1 Análisis del estudio técnico del proyecto

La planta de disposición final de neumáticos mineros mediante valorización energética por medio de co-incineración, constará de una etapa de corte mediante cizalla sobre retroexcavadora para bajar el tamaño del OTR y poder ingresar los trozos al reactor pirolítico, el cual separará y/o transformará el residuo en productos secundarios como acero chatarra, aceite pirolítico y carbón de llanta. El nivel de producción será de 10 toneladas por día de materias primas (NFU) con un resultante de 4.000 litros de aceite, 2 toneladas de acero chatarra y 3,5 toneladas de carbón por día. Éstos serán vendidos a clientes y empresas cercanas para su economía circular propia y regional en contexto nacional y vulnerable tanto socialmente, económicamente y con una salud en riesgo. En el anexo 5 se adjunta una guía operacional de la planta de pirólisis.

Esta planta cumple con la ley 20.920 del Ministerio del Medio Ambiente, respecto a la disposición final de los productos prioritarios y además trabaja bajo el concepto de economía circular, al disponer los residuos generando productos utilizables en la minería e industria de la región de Atacama.

Se cumple con la oferta de servicios de disposición final requeridos por la obligada demanda de la minería de la región de Atacama.

8.2 Análisis del estudio ambiental del proyecto

Durante la fase de construcción y operación, se generarán residuos sólidos domésticos principalmente constituidos por materia orgánica, papeles, cartones, entre otros, estimándose una generación máxima de 10 kg/día aprox., durante la construcción y de 5 kg/día durante la fase de operación. Estos residuos serán almacenados temporalmente en contenedores adaptados para ello, para posteriormente ser trasladados por servicio autorizado a sitio de disposición final autorizado. Adicionalmente, durante la fase de construcción se generarán residuos sólidos industriales no peligrosos como despuntes de fierro, materiales de embalaje, despuntes de madera, restos de HDPE, entre otros, los que serán almacenados de forma temporal en el Patio de Salvataje para luego ser retirados periódicamente por empresa autorizada por la Autoridad Sanitaria y dispuestos en un sitio autorizado.

Se espera la generación de 50 kg mensuales de residuos industriales peligrosos durante la fase de construcción, tales como equipos de protección personal contaminados con aceites, guantes y paños con aceites, envases de pintura usados, aerosoles, etc., los que serán almacenados en tambores metálicos con tapa, rotulados, indicando las características de peligrosidad del residuo, los que quedarán al interior de la bodega de RESPEL, para ser manejados según lo indica el D.S. N° 148/03 del Página 6 de 11 Ministerio de Salud. Su retiro se realizará antes de cumplir 6 meses de almacenamiento temporal, a través de una empresa autorizada, para ser llevado a sitio de disposición final autorizado. Además, durante la fase de operación se generarán RESPEL provenientes de tubos fluorescentes, aerosoles (desodorantes ambientales), paños, guantes, elementos de protección personal contaminados con aceites, envases de pintura y diluyentes utilizados en la mantención de los equipos. Se estima una generación de 10 kg/mes, los que serán manejados de

acuerdo con normativa vigente y dispuestos en la Bodega de RESPEL debidamente aprobada por la SEREMI de Salud, Región de Atacama.

En cuanto a las emisiones, estas se generarán por los quemadores del reactor que se alimentarán con diésel y un 3% a 5% de gas que es similar al diésel. Todas las emisiones pasarán por el lavador de gases, para cumplir con la norma de co-incineración vigente D.S N ° 29/2013 del Ministerio de Medio Ambiente. Para estimar las emisiones, el Proponente consideró una temperatura de salida de 173°, velocidad de 5,55 m/s y una tasa de 10,5551 Nm³/h, cuyo resultado arrojó la siguiente concentración de salida, como se muestra en la Tabla 19.

Tabla 19. Parámetros de emisiones planta de pirolisis

Emisiones D.S N° 29/2013 del MMA	Parámetros permitidos (mg/Nm ³)	Entrada a filtro (mg/Nm ³)	Salida de filtro (mg/Nm ³)
SO ₂	50	236,50	30
NO _x	300	151,70	150
CO	50	60,71	35
Material Particulado	30	19,00	12

Fuente. Decreto Supremo N°29/2013 Establece norma de emisión para incineración y procesamiento.

El Proponente realizará una medición anual de calidad del aire y dos mediciones anuales en la fuente de emisión, una vez que el Proyecto comience a operar, para verificar cumplimiento normativo. Dichas mediciones se encontrarán en las instalaciones y con respaldo digital en servidores del Proyecto para cuando la autoridad lo requiera.

8.3 Análisis del estudio de mercado del proyecto

El mercado de los neumáticos fuera de uso nacional es de 25 millones de unidades a lo largo de Chile, de los cuales se subdividen en automóviles - camionetas, camiones y buses, en un parque automotriz de 5.000.000 vehículos, con 150.000 toneladas por año de NFU.

La minería en Chile representa el consumo del 15% del total de toneladas de neumáticos fuera de uso, (aproximadamente 22.500 toneladas/año), además de los grandes inventarios acumulados aproximadamente de 200.000 toneladas.

La minería en la tercera región genera un aproximado de 4.000 toneladas de NFU por año con inventarios sobre 9.000 toneladas. La producción propuesta de la planta de reciclado es de 10 toneladas por día y por lo tanto 250 ton por mes o 3.000 toneladas de NFU por año, siendo capaz de procesar el 75% de la generación anual y un 30% del inventario acumulado, pero proyectado ante el aumento del esfuerzo de extracción solo un 37,5% del total generado antes del 2026.

La competencia del mercado de los NFU OTR mineros se basa en dos grandes empresas Bailac y Kaltyre con plantas en la Tercera y Segunda Regiones, aunque se encuentran copadas de producción y solo cubren un 30% de la demanda del sector. Las otras ofertas del sector están orientadas a la pequeña minería y NFU pequeños. Existe un amplio espacio en el mercado para la planta de disposición final de NFU OTR de Amffal.

Existe espacio en el mercado, posibilidad de crecimiento y necesidad legal de la demanda. Por lo tanto, el análisis del mercado objetivo es favorable al proyecto.

GLOSARIO

Pirólisis: Degradación térmica de neumáticos en ausencia de oxígeno, en la cual los neumáticos se descomponen mediante calor, sin que se produzcan las reacciones de combustión en detrimento de gases, debido a que la pirólisis trabaja a temperaturas inferiores a la gasificación.

Valorización energética: Conversión de aquellos residuos que no pueden ser reciclados en energía, ya sea en forma de electricidad, vapor o agua caliente para uso doméstico o industrial.

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.

Coprocesamiento: Integración ambientalmente segura de residuos generados por una industria o fuente conocida a otro proceso productivo. Operación de tratamiento de residuos de neumáticos en un horno de cemento, referido a la recuperación de la energía y el material presentes en estos residuos en el proceso de producción de Clinker.

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.

Recauchaje: Operación de reacondicionamiento de neumáticos usados mediante la sustitución de la banda de rodamiento gastada por una nueva.

También será considerado recauchaje la reconstrucción de la superficie exterior del flanco y la sustitución de la capa de protección.

Neumático fuera de uso: Neumáticos que se han convertido en residuos, es decir, que su poseedor haya desechado o tenga la intención u obligación de desechar. La prohibición del depósito en vertederos de esos neumáticos de gran tamaño.

Neumático OTR: Son los neumáticos que están contruidos especialmente para actuar en terrenos anormales y severos comúnmente en operaciones fuera de carretera, y son llamados así por el significado de sus siglas en inglés (Off-The-Road).

Carbón de llanta: Material producido por la combustión incompleta de los productos derivados del petróleo. El carbón de llanta en polvo tiene una alta capacidad calórica que se utiliza como generador de calor en hornos cementeros, industrias metalúrgicas.

Aceite pirolítico: Es el producto final de la pirólisis de neumáticos de desecho y plásticos. Este aceite se usa ampliamente como combustible industrial para reemplazar el aceite de horno o el diésel industrial. Este líquido aditivo de características combustibles se utiliza mezclado con diésel como alimento de generadores de electricidad y/o mezclado con aceite lubricantes usados como parte del ANFO en explosivos mineros.

Brida: Reborde circular en el extremo de los tubos de metal que sirve para ajustarlos unos con otros.

Normas de Emisión: Se entiende por norma de emisión todo valor límite de la concentración de uno y más contaminantes en la atmósfera. Establecen la

cantidad máxima permitida para una contaminante medida en el efluente de la fuente emisora.

Material particulado: Corresponde a las partículas sólidas o líquidas, tales como polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento, polen, entre otras, dispersas en la atmósfera, cuyo diámetro aerodinámico es inferior o igual a 10 micrones (μm). Estas partículas pueden penetrar a lo largo de todo el sistema respiratorio hasta los pulmones, produciendo irritaciones e induciendo en diversas enfermedades. De acuerdo a la masa y composición de estas, se tienen a dividir principalmente en Fracción gruesa: Que es la fracción del MP10 mayor a 2,5 [μm] y menor o igual a 10 [μm], en diámetro aerodinámico y Fracción fina: Que es la fracción del MP10 con diámetro aerodinámico menor a 2,5 [μm] denominado también MP2,5.

Almacenamiento: Se refiere a la conservación de residuos en un sitio específico y por un lapso determinado.

Manejo: Todas las operaciones a las que se someten un residuo sólido luego de su generación, incluyendo, entre otras, su almacenamiento, transporte y eliminación.

Disposición final: Procedimiento de eliminación mediante el depósito definitivo en el suelo de los residuos peligrosos, con o sin tratamiento previo.

Residuos Domésticos: Son residuos sólidos que, dadas sus características de no peligrosidad, pueden ser dispuestos en instalaciones destinadas a la disposición final de residuos sólidos domiciliarios.

Residuos Industriales No Peligrosos: Todo desecho o residuo sólido o semisólido resultante de cualquier proceso u operación industrial que no vaya a

ser reutilizado, recuperado o reciclado en el mismo establecimiento industrial y que al no presentar características de peligrosidad se cataloga como residuo industrial no peligroso. Se incluyen en esta definición los residuos o productos de descarte, sean estos líquidos o gaseosos. El carácter de desecho sólido de los últimos lo aporta el contenedor o recipiente que los contiene.

Residuos Industriales Peligrosos: Residuo o Mezcla de Residuos que presenta riesgo para la salud pública y/o efectos adversos al medio ambiente, ya sea directamente o debido a su manejo actual o previsto, como consecuencia de presentar algunas de las características señaladas en el artículo 11. (D.S. N°148/04).

Reciclaje: Es un proceso para el tratamiento de los residuos, tanto industriales como domésticos, que permite volver a introducirlos en el ciclo de producción de un producto o de los materiales que lo componen, permitiendo su nueva utilización.

BIBLIOGRAFÍA

GESCAM. (2017). Antecedentes para la elaboración de análisis económico de metas de recolección y valorización para productos prioritarios Neumáticos, Baterías y Aceite lubricantes contenidos en la Ley 20.920. Santiago: Ministerio del Medio Ambiente - Subsecretaría del Medio Ambiente.

D.S N°8, del 2019, Metas de recolección y valorización y otras obligaciones asociadas a los neumáticos, Ministerio de Medio Ambiente. Diario oficial de la República de Chile. Santiago, Chile. 28 de mayo 2019. Recuperado de <http://cinc.cl/wp-content/uploads/2020/02/200116-DS8-REP-neumaticos-f.pdf>

Dto. N°8, Reglamento que regula el procedimiento de elaboración de los Decretos Supremos establecidos en la Ley 20.920, Ministerio de Medio Ambiente. Diario oficial de la República de Chile. Santiago, Chile. 01 de diciembre

2017. Recuperado de <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1111512>

D.S. N°148, Reglamento sobre manejo de Residuos Peligrosos, Ministerio de Salud. Diario oficial de la República de Chile. Santiago, Chile. 16 de junio 2004. Recuperado de <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=226458&idVersion=2004-06-16>

D.S N° 594, Reglamento sobre las condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo, Ministerio de Salud. Diario oficial de la República de Chile, Santiago, Chile. 29 de abril 2000. Recuperado de <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=167766>

DFL.N°725, Código Sanitario, Ministerio de Salud. Diario oficial de la República de Chile, Santiago, Chile. 31 de enero 1968. Recuperado de <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=5595>

Departamento de Economía Ambiental MMA. (2018) Análisis general de impacto económico y social (AGIES) de anteproyecto de Decreto Supremo que establece metas y obligaciones asociadas de residuos de neumáticos. Recuperado de: <https://rechile.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/06/38-Memo-153-2018-Remite-AGIES.pdf>

Cámara de la industria del neumático Chile A.G. (2013). Acuerdo de Producción Limpia Prevención y Valorización de Neumáticos Fuera de Uso. Evaluación de impacto.

C y V Medio Ambiente LTDA. (2008). Diagnóstico, fabricación, importación y distribución de neumáticos y manejo de Neumáticos Fuera de Uso. Gobierno de Chile, CONAMA.

Flores C, & Escalón L. (2016). Factibilidad del aprovechamiento energético de neumáticos usados en la gran minería del cobre mediante pirólisis. Revista del instituto de investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, 18 (36). Recuperado de <http://www.revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/12017>

Comisión Nacional del Medio Ambiente (2009). Guía metodológica para la estimación de emisiones atmosféricas de fuentes fijas y móviles en el registro de emisiones y transferencia de contaminantes. Recuperado de http://www.declaracionemision.cl/docs/GUIA_CONAMA.pdf

Céspedes, J. (2014). Investigación experimental de la combustión y gasificación de neumáticos fuera de uso. (Memoria de titulación para optar al título de Ingeniero civil Mecánico). Departamento de ingeniería mecánica, Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile.

Ley N°19.300, Sobre Bases Generales del Medio Ambiente. Diario oficial de la República de Chile. Santiago, Chile. 09 de marzo 1994. Recuperado de <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=30667>

Beta analytic (s.f). Testing Laboratory. Recuperado de: <https://www.betalabservices.com/renewable-carbon/tire-derived-fuels.html>

Convenio de Basilea. (2011). Directrices técnicas para el manejo ambientalmente racional de neumáticos usados y de desecho. Recuperado de <file:///C:/Users/Pc/Downloads/UNEP-CHW-WAST-GUID-WastePneumaticTyres.Spanish.pdf>

Fiksel, J., Bakshi, B. R., Baral, A., Guerra, E., & DeQuervain, B. (2010). Comparative life cycle assessment of beneficial applications for scrap tires. Clean Technologies and Environmental Policy.

Juma, L., Koreňová, Z., J. Markoš., Annus, J. & Jelemenský, L. (2012). Pyrolysis and Combustion of scrap. Institute of Chemical and Environmental Engineering. Faculty of Chemical and Food Technology, Slovak University of Technology, Radlinského 9, 812 37 Bratislava.

Leung, D. & Wang, C. 1999. Kinetic Modeling of Scrap Tire Pyrolysis. Energy & Fuels.13:421- 427.

Ley N°20.920, Marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida al productor y fomento al reciclaje, Ministerio de Medio Ambiente. Diario oficial de la República de Chile. Santiago, Chile. 01 de junio 2016. Recuperado de <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1090894>

López, F. A., Álvarez Centeno, T., & Alguacil, F. J. (2012). Aprovechamiento energético de residuos:. Obtenido de Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Martínez, J. D., Puy, N., Murillo, R., García, T., Navarro, M. V., & Mastral, A. M. (2013). Waste tyre pyrolysis – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 179213.doi:10.1016/j.rser.2013.02.038

Li, X., Xu, H., Gao, Y., & Tao, Y. (2010). Comparison of end-of-life tire treatment technologies: A Chinese case study. *Waste Management*, 30(11), 2235–2246.doi: 10.1016/j.wasman.2010.06.006

Pino Labarca, S. (2020). Antecedentes y análisis del mercado de reciclado y valorización energética de neumáticos fuera de uso (NFU)

Proboste Sobarzo, V. D. (2014). Evaluación técnica y económica del proyecto de producción de combustible alternativo sólido a partir de residuos industriales.

Tirel, K. (2017). “Ingeniería de perfil de modernas plantas para reciclaje de Neumático Fuera de Uso”, Memoria para optar al título de Ingeniería Civil Mecánica. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

Valenzuela, F. (2013). “Valorización proveniente de neumático fuera de uso”. Memoria para optar al título de Ingeniero civil químico. Facultad de ciencias físicas y matemáticas, Departamento de ingeniería química y biotecnología, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Sánchez. (2017). Diagnóstico de sustentabilidad de Neumáticos Fuera de Uso (NFU).

Comisión Chilena del cobre. (2018). Análisis del mercado de los insumos críticos en la minería del cobre. Gobierno de Chile, Ministerio de Minería.

ANEXOS

Los anexos, se encuentran disponible de manera digital a través de la plataforma Google Drive, son de acceso público por lo que ingresando a los enlaces que se dejarán a continuación podrán acceder a cada uno de ellos.

Los anexos digitales se encuentran en una carpeta nombrada “ANEXOS”, en donde se encontrarán disponible los siguientes anexos.

- Anexo 1: Ficha técnica de la planta de pirolisis.
- Anexo 2: HDS Carbón de Llantá
- Anexo 3: HDS Aceite Pirolíticó
- Anexo 4: Resolución Sanitaria N°695 PTAS Patio Inca
- Anexo 5: Procedimiento de Operación y Mantención Planta de Pirolisis

Para acceder al anexo digital se debe dirigir al siguiente enlace:

<https://drive.google.com/drive/folders/11buwnoR1Ptua051764wxJf2XUO5ENVNP>