



UNIVERSIDAD CATOLICA DEL NORTE

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA
MAGISTER EN APLICACIONES DE INGENIERÍA
AMBIENTAL

**APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS
TERMODEGRADABLES DE LA INDUSTRIA MINERA
DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE:
VIABILIDAD TÉCNICA**

Tesis para optar al grado de
Magíster en Aplicaciones de Ingeniería Ambiental

RICARDO ARMANDO ORTÍZ ARELLANO

Profesor Guía: Nelson Alarcón Pulido, Dr. en Ciencias de la Ingeniería.

Antofagasta, Chile

2012

DEDICATORIA

Este trabajo se lo quiero dedicar muy especialmente a mi familia, particularmente esposa e hijos, así como a mis padres y hermanos, quienes son testigos directos de los esfuerzos y sacrificios que ha significado la concreción de este estudio.

AGRADECIMIENTOS

El autor, agradece el importante apoyo, colaboración y motivación brindada por el profesor guía Don Nelson Alarcón Pulido, para llevar a término este trabajo, como así también al profesor Don Abel Reinoso, por su incentivo constante a no claudicar desistir con la elaboración de la tesis.

Deseo expresar mis sinceros agradecimientos a mi esposa e hijos por apoyarme incondicionalmente en éste desafío académico y han tenido la paciencia suficiente para entender la envergadura del mismo.

Agradecer muy sentidamente a mi compañero de Magister el Sr. Miguel Araviri Cárcamo (Actual SEREMI de MIDEPLAN de la Región de Antofagasta), por todos los momentos y reuniones que realizamos para darnos ánimo, valor y poder terminar con éxito este bonito desafío.

Agradecer a mi colega, compañero de Magister y de trabajo el Sr. Belko Caqueo Molina, por su valiosa colaboración y apoyo.

Agradecer el Sr. Rodrigo Mendiburú, actual SEREMI de MINERIA de la Región de Antofagasta, por gestionar la obtención de valiosa información que permitió la elaboración del presente estudio.

ÍNDICE GENERAL DE MATERIAS.

CAPITULO 1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1 INTRODUCCIÓN.	1
1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO.	5
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.	5
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	5
CAPITULO 2. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS	6
2.1 POLÍTICA DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS.	6
2.1.1 RESIDUOS SÓLIDOS NO DOMICILIARIOS.	6
2.1.2 RESIDUOS PELIGROSOS.	7
2.2 TECNOLOGÍAS Y PROCESOS DISPONIBLES PARA LA RECUPERACIÓN Y/O RECICLAJE DE NEUMÁTICOS USADOS.	8
2.2.1 DESMENUZADO Y MOLIENDA.	9
2.2.2 COMBUSTIÓN – INCINERACIÓN.	10
2.2.3 PIRÓLISIS.	12
2.2.4 COPIRÓLISIS.	14
2.2.5 GASIFICACIÓN.	15
2.2.6 CRIOGENIZACIÓN.	16
2.3 PIRÓLISIS Y COPIRÓLISIS EN LA RECUPERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE LOS NEUMÁTICOS USADOS.	16
2.4 TECNOLOGÍAS Y PROCESOS DISPONIBLES PARA LA RECUPERACIÓN Y/O RECICLAJE DE ACEITES LUBRICANTES USADOS.	24
2.4.1 RE-REFINADO DE ACEITES USADOS.	24
2.4.2 COMBUSTION-INCINERACION.	25
2.4.3 DESTILACIÓN/TRATAMIENTO QUÍMICO O EXTRACCIÓN POR SOLVENTE.	25
2.4.4 PROCESO TÉMICO DESASFALTANTE.	26
2.4.5 HIDROTRATAMIENTO.	27
2.5 PIRÓLISIS Y COPIRÓLISIS EN LA RECUPERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE ACEITES LUBRICANTES USADOS.	27
2.6 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE PROCESOS.	30
2.7 CARACTERIZACIÓN Y MANEJO AMBIENTAL DE NEUMÁTICOS FUERA DE CARRETERA EN LA INDUSTRIA MINERA DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA.	39
	IV

2.7.1	IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES GENERADORAS DE NEUMÁTICOS DE LOS CAMIONES FUERA DE CARRETERA EN LA INDUSTRIA MINERA.	39
2.7.2	CARACTERIZACIÓN DE LOS NUEMÁTICOS FUERA DE CARRETERA DE LA INDUSTRIA MINERA.	40
2.7.3	MANEJO AMBIENTAL DE LOS NEUMÁTICOS.	41
2.7.4	ASPECTOS LEGALES.	42
2.8	CARACTERIZACIÓN Y MANEJO AMBIENTAL DE LOS ACEITES LUBRICANTES USADOS EN LA INDUSTRIA MINERA DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA.	43
2.8.1	IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES GENERADORAS DE ACEITES LUBRICANTES USADOS EN LA INDUSTRIA MINERA DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA.	43
2.8.2	CARACTERIZACIÓN DE LOS ACEITES LUBRICANTES USADOS EN LA INDUSTRIA MINERA.	44
2.8.3	MANEJO AMBIENTAL DE LOS ACEITES LUBRICANTES USADOS.	45
2.8.4	ASPECTOS LEGALES.	46
2.9	ENCUESTAS.	47
	CAPITULO 3 METODOLOGÍA	50
3.1	SISTEMATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN.	50
3.2	APLICACIÓN METODOLÓGICA.	51
3.2.1	ELABORACIÓN DE ENCUESTA TÉCNICA.	51
3.2.2	APLICACION DE LA ENCUESTA TÉCNICA.	57
3.2.3	USO DE HERAMIENDA SIG.	58
	CAPITULO 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
4.1	NEUMÁTICOS USADOS DEL TIPO “FUERA DE CARRETERA” EN LA GRAN MINERÍA DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA.	59
4.1.1.	ESTIMACIÓN DE LAS CANTIDADES DE NUEMÁTICOS DISPONIBLES.	61
4.1.2.	ALMACENAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LOS NEUMÁTICOS.	66
4.1.3.	MANEJO AMBIENTAL DE LOS NEUMÁTICOS.	70
4.1.4.	ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO DE LOS NEUMÁTICOS.	73
4.2	ACEITES LUBRICANTES USADOS EN LA GRAN MINERÍA DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA.	76

4.2.1. ESTIMACIÓN DE LOS VOLÚMENES DE ACEITES LUBRICANTES USADOS.	77
4.2.2. ALMACENAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LOS ACEITES LUBRICANTES USADOS.	81
4.2.3. MANEJO AMBIENTAL DE LOS ACEITES LUBRICANTES USADOS.	84
4.2.4. ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO DE LOS ACEITES LUBRICANTES USADOS.	87
CAPITULO 5 CONCLUSIONES	91
CAPITULO 6 BIBLIOGRAFÍA	95
CAPITULO 7 ANEXO 1	103
CARTOGRAFIAS AMBIENTALES TEMÁTICAS.	103

ÍNDICE DE FIGURAS

- FIGURA 1. CANTIDADES ANUALES DE NEUMÁTICOS EN DESUSO POR PARTE DE LAS EMPRESAS MINERAS DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA QUE RESPONDIERON LA ENCUESTA, AÑO 2010. 62
- FIGURA 2. PORCENTAJE DE NEUMÁTICOS ANUALES EN DESUSO, POR PARTE DE LAS EMPRESAS MINERAS DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA QUE RESPONDIERON LA ENCUESTA. 63
- FIGURA 3. RELACION PORCENTUAL ENTRE LAS CANTIDADES DE NEUMÁTICOS EN DESUSO ANUAL Y SU STOCK EXISTENTE, POR PARTE DE LAS EMPRESAS MINERAS DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA QUE RESPONDIERON LA ENCUESTA. 63
- FIGURA 4. CANTIDADES ANUALES DE NEUMÁTICOS EN DESUSO OBTENIDAS POR PARTE DE LAS EMPRESAS MINERAS QUE RESPONDIERON LA ENCUESTA Y DE LA INFORMACIÓN AMBIENTAL DISPONIBLE DE OTRAS EMPRESAS MINERAS DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA. 65
- FIGURA 5. RELACIÓN PORCENTUAL DE LAS CANTIDADES DE NEUMÁTICOS EN DESUSO, POR PARTE DE LAS EMPRESAS MINERAS QUE RESPONDIERON LA ENCUESTA Y DE LA INFORMACIÓN AMBIENTAL DISPONIBLE DE OTRAS EMPRESAS MINERAS DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA. 66
- FIGURA 6. DESTINO DE LOS NEUMÁTICOS USADOS POR PARTE DE LAS EMPRESAS MINERAS QUE RESPONDIERON LA ENCUESTA EN LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA. 67
- FIGURA 7. DESTINO DE LOS NEUMÁTICOS USADOS POR PARTE DE LAS EMPRESAS MINERAS, CON INFORMACIÓN RECABADA DE LAS ENCUESTAS Y ANTECEDENTES AMBIENTALES DISPONIBLES EN LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA. 69
- FIGURA 8. CANTIDADES ANUALES (VOLUMEN EN M³) DE ACEITES LUBRICANTES RESIDUALES GENERADOS, POR PARTE DE LAS EMPRESAS MINERAS DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA QUE RESPONDIERON LA ENCUESTA TÉCNICA. 78
- FIGURA 9. RELACIÓN PORCENTUAL DE LAS CANTIDADES ANUALES (VOLUMEN EN M³) DE ACEITES LUBRICANTES RESIDUALES GENERADOS, POR PARTE DE LAS EMPRESAS MINERAS DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA QUE RESPONDIERON LA ENCUESTA TÉCNICA. 78
- FIGURA 10. CANTIDADES ANUALES (VOLUMEN EN M³) DE ACEITES LUBRICANTES RESIDUALES GENERADOS, POR PARTE DE LAS EMPRESAS MINERAS DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA QUE RESPONDIERON LA ENCUESTA TÉCNICA Y DE LA INFORMACIÓN AMBIENTAL DISPONIBLE PARA LA GRAN MINERÍA EN LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA. 80

FIGURA 11. RELACIÓN PORCENTUAL DE LAS CANTIDADES ANUALES (VOLUMEN EN M³) DE ACEITES LUBRICANTES RESIDUALES GENERADOS, POR PARTE DE LAS EMPRESAS MINERAS DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA QUE RESPONDIERON LA ENCUESTA TÉCNICA Y DE LA INFORMACIÓN AMBIENTAL DISPONIBLE PARA LA GRAN MINERÍA EN LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA. 80

FIGURA 12. DESTINO DE LOS ACEITES LUBRICANTES RESIDUALES POR PARTE DE LAS EMPRESAS MINERAS QUE RESPONDIERON LA ENCUESTA EN LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA. 81

FIGURA 13. DESTINO DE LOS ACEITES LUBRICANTES RESIDUALES POR PARTE DE LAS EMPRESAS MINERAS QUE RESPONDIERON LA ENCUESTA EN LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA. 83

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.	UBICACIÓN DE LAS EMPRESAS DE LA GRAN MINERÍA DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA QUE FORMARON PARTE DEL PRESENTE ESTUDIO.	57
TABLA 2.	INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR LA ENCUESTA RESPECTO A LAS EXIGENCIAS DE LAS EMPRESAS RELACIONADAS CON EL MANEJO AMBIENTAL DE LOS NEUMÁTICOS USADOS EN UN PERÍODO DE 3 – 5 AÑOS.	72
TABLA 3.	INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR LA ENCUESTA E INFORMACIÓN AMBIENTAL DISPONIBLE EN LA REGIÓN RESPECTO A LAS EXIGENCIAS DE LAS EMPRESAS RELACIONADAS CON EL MANEJO AMBIENTAL DE LOS NEUMÁTICOS USADOS EN UN PERÍODO DE 3 – 5 AÑOS.	73
TABLA 4.	ALTERNATIVAS O PROPUESTAS DE APROVECHAMIENTO DE LOS NEUMÁTICOS USADOS EN LAS EMPRESAS DE LA GRAN MINERÍA DE LA REGIÓN ANTOFAGASTA. FUENTE DE INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR LA ENCUESTA.	75
TABLA 5.	ALTERNATIVAS O PROPUESTAS DE APROVECHAMIENTO DE LOS NEUMÁTICOS USADOS DISPONIBLES EN LAS EMPRESAS DE LA GRAN MINERÍA DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA. INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR LA ENCUESTA Y ANTECEDENTES AMBIENTALES DISPONIBLES EN LA REGIÓN.	76
TABLA 6.	INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR LA ENCUESTA RESPECTO A LAS EXIGENCIAS DE LAS EMPRESAS RELACIONADAS CON EL MANEJO AMBIENTAL DE LOS ACEITES LUBRICANTES RESIDUALES EN UN PERÍODO DE 3 – 5 AÑOS.	86
TABLA 7.	INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR LA ENCUESTA E INFORMACIÓN AMBIENTAL DISPONIBLE EN LA REGIÓN RESPECTO A LAS EXIGENCIAS DE LAS EMPRESAS RELACIONADAS CON EL MANEJO AMBIENTAL DE LOS ACEITES LUBRICANTES RESIDUALES EN UN PERÍODO DE 3 – 5 AÑOS.	87
TABLA 8.	ALTERNATIVAS O PROPUESTAS DE APROVECHAMIENTO DE LOS ACEITES LUBRICANTES RESIDUALES GENERADOS POR LAS EMPRESAS DE LA GRAN MINERÍA DE LA REGIÓN ANTOFAGASTA. FUENTE DE INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR LA ENCUESTA.	89
TABLA 9.	ALTERNATIVAS O PROPUESTAS DE APROVECHAMIENTO DE LOS ACEITES LUBRICANTES RESIDUALES GENERADOS POR LAS EMPRESAS DE LA GRAN MINERÍA DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA. INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR LA ENCUESTA Y ANTECEDENTES AMBIENTALES DISPONIBLES EN LA REGIÓN.	90

RESUMEN

La situación energética en la Región de Antofagasta es compleja, porque toda la generación de energía depende de la que entregan las centrales termoeléctricas, cuyo insumo principal es el diesel-fuel Oil y el carbón. Las centrales termoeléctricas que funcionaban en base a gas natural entre los años 2001 a 2005, sufrieron un proceso de reconversión a diesel-fuel Oil, dada la crisis de abastecimiento que apareció en los últimos años.

De acuerdo a la literatura especializada, la cual se centró en publicaciones especializadas y otras fuentes de información debidamente validadas, tales como estudios técnicos e informes sectoriales; existen tecnologías probadas de reciclaje de neumáticos y aceites usados, tales como la pirólisis y copirólisis capaces de contribuir a recuperar energía a partir de residuos industriales (pirólisis y copirólisis).

El presente trabajo permitió sentar las bases mediante la búsqueda sistemática de información orientada a establecer la viabilidad técnica, para la aplicación e implementación de tecnologías de aprovechamiento energético de los residuos industriales termodegradables.

Una de las actividades centrales del presente estudio, fue la elaboración de una encuesta técnica y la elaboración de cartografías ambientales temáticas. El propósito central de la encuesta técnica fue la obtención de información de primera fuente, relacionada con las cantidades, sistemas de almacenamiento, manejo ambiental, destino y alternativas de aprovechamiento de los neumáticos fuera de carretera en desuso y de los aceites lubricantes usados en la industria de la gran minería, en la Región de Antofagasta.

La información obtenida a través de las encuestas y de los antecedentes de diferentes estudios e información ambiental disponible en la región, que formaron parte del presente estudio, determinaron la generación anual de 4.378 unidades de neumáticos usados, con una masa disponible para valoración energética de 14.009, 6 ton. anuales. La cifra total de neumáticos usados del tipo “fuera de carretera”, que se encuentran

almacenados fue de 27.008 unidades, lo que equivale a una masa estimada para valorización energética de 86.425,6 ton.

El manejo ambiental de los neumáticos usados por parte de las empresas mineras de la Región de Antofagasta, está referido a su almacenamiento y disposición dentro del recinto minero en un lugar especializado, que cumpla con las normativas sanitarias y ambientales vigente.

En cuanto a los aceites lubricantes residuales, la información recogida a través de las encuestas y complementada con antecedentes de diferentes estudios e información ambiental disponible en la región, permitió concluir que la generación anual de estos residuos alcanzó a los 18.232,42 m³.

El manejo ambiental para los aceites lubricantes residuales en las faenas mineras, considera sólo el acopio temporal de éstos residuos (sólo un 4% del total generado anualmente) en instalaciones que cumplen con las normativas sanitarias y ambientales vigentes. El principal destino que le dan a los aceites lubricantes residuales (95%), es el traslado hacia la empresa INACESA S.A. En dicho recinto, los aceites son utilizados como combustible alternativo en los hornos de clinker.

De acuerdo a los antecedentes detallados en el presente estudio, es posible inferir que la pirólisis y copirólisis, resultan ser las alternativas de procesos más idóneas para la recuperación energética a partir de neumáticos usados y de aceites lubricantes residuales.

En la Región de Antofagasta, existen importantes volúmenes de residuos industriales mineros, como son los neumáticos de camiones del tipo “fuera de carreteras” y aceites lubricantes residuales, no aprovechados en la generación de energía. Estos residuos termodegradables, pueden contribuir a complementar la matriz energética regional y ser un respaldo a las actividades económicas de la región. Sin embargo, aún no es posible cuantificar el uso de éstos residuos y su potencial impacto en la matriz energética regional, debido a la inexistencia de estudios y/o proyecciones detalladas que sobre la materia, haya desarrollado como iniciativa el Ministerio de Energía. Sólo se proyecta un incremento en el uso de ERNC desde un 3% a un 10% hacia el año 2024, considerando como ERNC la energía eólica, biomasa e hidroeléctrica de pasada.

ABSTRACT

The energy situation in the region of Antofagasta is complex, because all power generation depends on delivering power plants, whose main ingredient is the diesel-fuel oil and coal. Thermoelectric plants that functioned on the basis of natural gas from 2001 to 2005, underwent a process of conversion to diesel-fuel Oil, given the supply crisis that appeared in recent years.

According to the literature, which focused on literature and other sources of information appropriately validated, such as technical papers and industry reports, there are proven technologies for recycling tires and oils, such as pyrolysis and able to contribute copirolysis to recover energy from industrial waste (pyrolysis and copirolysis).

This work laid the foundation through systematic search of information, aimed at establishing technical feasibility for the implementation and deployment of technologies of energy use of industrial waste termodegradables.

One of the main activities of this study was the development of a technical survey and development of thematic environmental mapping. The main purpose of the survey technique was to obtain first-hand information related to the quantities, storage systems, environmental management, destination and alternate use of off-road tires and unused lubricating oils used in industry large-scale mining in the Region of Antofagasta.

It conducted a comprehensive literature review, which focused on literature and other sources of information appropriately validated, such as technical papers and industry reports. Furthermore, one of the main activities was the development of a technical survey and development of thematic environmental mapping. The main purpose of the survey technique was to obtain first-hand information related to the quantities, storage systems, environmental management, destination and alternate use of off-road tires and unused lubricating oils used in industry of the large mining in the Region of Antofagasta.

The information obtained through surveys and facts from different studies and environmental information available in the region, which formed part of this study, determined the annual generation of 4,378 units of used tires, with a mass energy

available for 14,009 valuation , 6 ton. year. The total number of tires such as "off road", which are in storage was 27,008 units, equivalent to an estimated mass for energy recovery from 86,425.6 tons.

The environmental management of used tires from mining companies in the Region of Antofagasta, is related to its storage and disposal within the mine site in a specialized niche that meets health and environmental regulations in force. As for waste lubricating Oils, information collected through surveys and supplemented with a history of several studies and environmental information available in the region, concluded that the annual generation of these wastes amounted to 18,232.42 m³.

Environmental management for waste lubricating oils in mining, considers only the time they waste collection (only 4% of the total generated annually) in facilities that comply with health and environmental regulations in force. The main destination that give waste lubricating Oils (95%) is the transfer to the company INACESA SA In those precincts, the oils are used as alternative fuel in clinker kilns.

According to detailed background in the present study, we may infer that the pyrolysis and copirólisis turn out to be the most suitable alternative processes for energy recovery from used tires and waste lubricating oils.

CAPITULO 1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1 INTRODUCCIÓN

El consumo de energía anual en el mundo (siglo XXI) ha crecido en más de 10 veces, debido en gran parte al aumento de la población mundial en 2,5 veces. También producto de la mayor mecanización e incorporación de naciones al desarrollo industrial que antes contaban con un precario desarrollo, como ejemplo podemos citar a China. Esta situación cada día se acentúa más por la incorporación de otras naciones al mundo industrializado y como consecuencia del aumento en la calidad de vida en países emergentes, tales como Argentina y Chile en Latinoamérica.

Este mayor requerimiento de energéticos ha recaído en los combustibles fósiles como el petróleo y gas natural fundamentalmente en las últimas décadas; del petróleo se dice que ya ha pasado su máximo como contribuyente a la provisión mundial de energía.

Para el año 2020, las proyecciones de la Agencia Mundial de Energía no presentan una variación significativa en el uso de los hidrocarburos (81,9%), manteniéndose la poca diversidad de la matriz energética. Sin embargo, se estima un aumento en la utilización de la biomasa, en desmedro del porcentaje de participación de energía hidroeléctrica y nuclear en la composición de la matriz energética.

De acuerdo a lo indicado en el informe “Antecedentes sobre la Matriz Energética en Chile y sus desafíos para el Futuro” (<http://www.ministeriodeenergia.cl>), la matriz energética en Chile para el año 2010, muestra una capacidad instalada (en el Sistema Interconectado Central y Sistema Interconectado del Norte Grande) de generación de 14.878 MW y de generación de 58.257 GWh. La capacidad instalada de la matriz es liderada por la utilización de los hidrocarburos los cuales representan el 62 %, siendo dentro de esta composición el gas natural el de mayor participación con un 29 %, seguido del carbón 17% y Diesel-fuel Oil 16%. Por lo tanto, se evidencia una marcada dependencia hacia el gas natural. La energía hidroeléctrica aporta con un 35%, mientras que el aporte en capacidad instalada y generación eléctrica a través de energía eólica

alcanza el 1%, para biomasa un 1% e hidroeléctrica de pasada también un 1% (estas últimas suman el 3% en las denominadas ERNC).

La situación energética en la Región de Antofagasta es más compleja, porque toda la generación de energía depende de la que entregan las centrales termoeléctricas, cuyo insumo principal es el diesel-fuel Oil y el carbón. Las centrales termoeléctricas que funcionaban en base a gas natural entre los años 2001 a 2005, sufrieron un proceso de reconversión a diesel-fuel Oil, dada la crisis de abastecimiento que apareció en los últimos años. En esta materia, se ha avanzado en la concreción de un proyecto para el norte grande, que ha permitido un abastecimiento de gas alternativo al suministrado por Argentina. El proyecto actualmente en operación se denomina GNL y consideró la construcción y operación de un Terminal Marítimo que permitirá descargar, almacenar y regasificar gas natural licuado transportado por barco, y despachar gas natural mediante los gasoductos NorAndino y el gasoducto Atacama emplazados en la Región de Antofagasta. Sin embargo, urge diversificar la matriz energética de Chile para contar con alternativas viables de producción y de abastecimiento seguro en el tiempo, a precios razonables.

Bajo este prisma, es una buena oportunidad para aprovechar de diversificar la matriz energética aumentando la presencia de biomasa. En este sentido, residuos industriales y mineros termodegradables disponibles, con un atractivo poder calorífico (neumáticos y aceites lubricantes usados), pueden contribuir al abastecimiento de energía a nivel regional. La idea de diversificar la matriz energética con el aporte de energías alternativas a las actualmente en uso, como lo son el petróleo, gas y carbón, toma gran relevancia debido a que está demostrado que su sustentabilidad es precaria.

En la actualidad, existe un conocimiento dentro del rubro industrial minero respecto del problema que significa el almacenamiento y manejo de los residuos de neumáticos de los camiones fuera de carretera, desde el punto de vista de costos asociados directamente a la disposición, ya que ocupan en el caso de los neumáticos grandes extensiones de terreno. Además, si la disposición no es la adecuada es factible que se produzcan accidentes por fenómenos de deslizamientos de los terraplenes que sustentan su disposición. Otro riesgo, son los potenciales incendios que podrían ocupar

vastas extensiones con emisión de contaminantes atmosféricos por largos períodos que no sólo afectaría a las personas que trabajan en dichos ambientes, sino que además es probable que se vieran directamente afectados los procesos productivos de las compañías (COCHILCO., 2010; Carrasco y Roy., 1991).

Por su parte, los aceites lubricantes usados son subproductos del uso del aceite en vehículos y maquinaria, y deben ser sustituidos regularmente para mantener el adecuado funcionamiento de los equipos. Sin el acceso a un tratamiento conveniente, el aceite usado puede ser dispuesto de manera que degrada el ambiente. El aceite usado se puede descargar de manera ilegal en canales y/o directamente en terrenos, donde se puede generar contaminación de las aguas subterráneas. Sin embargo, si el aceite lubricante usado se recicla correctamente puede ayudar a preservar nuestros recursos naturales y a evitar efectos nocivos sobre el medio ambiente (Carrasco y Roy., 1991).

Existen tecnologías probadas de reciclaje de neumáticos y aceites usados. En particular aquellas tecnologías capaces de contribuir a recuperar energía a partir de residuos industriales (pirólisis y copirólisis). Esto es de gran interés, ya que con el conocimiento que se tenga respecto de masa o volúmenes actuales y la proyección de los residuos de neumáticos y aceites lubricantes usados en la industria minera de la Región de Antofagasta, pudiese ser que signifique un aporte sustantivo de energía potencialmente disponible y que actualmente no es aprovechada.

El aporte de energía alternativa que proviene de residuos de neumáticos y aceites residuales industriales mineros, es una línea investigativa donde existen carencias o déficit de estudios y propuestas que aborden tal problemática.

En consideración a lo anteriormente expuesto, estimamos que en la Región de Antofagasta existen importantes volúmenes de residuos industriales mineros, como son los neumáticos y aceites lubricantes residuales, no aprovechados en la generación de energía. Estos residuos, podrían contribuir a complementar la precaria matriz energética regional y ser un respaldo a las actividades económicas de la región. Sin embargo, si quisiéramos cuantificar el uso de éstos residuos y su aporte e impacto en la matriz energética regional, claramente con la información disponible en la actualidad por parte del Ministerio de Energía, es imposible hacerlo. Lo anterior, debido a la inexistencia de

estudios y/o proyecciones detalladas tendientes a cuantificar su aporte dentro del contexto de la matriz energética nacional y regional. En tal sentido, el uso de ERNC sólo se proyecta aumentar desde un 3 % (correspondientes a: energía eólica con un 1%, biomasa un 1% e hidroeléctrica de pasada también un 1%) a un 10% hacia el año 2024.

Una de las principales contribuciones que se espera alcanzar con la materialización del presente trabajo, es la de sentar las bases mediante la búsqueda sistemática de información orientada a establecer la viabilidad técnica, para la aplicación e implementación de tecnologías para el aprovechamiento energético de los residuos industriales termodegradables.

El presente trabajo, se enmarca dentro de un estudio de factibilidad técnica y otro de pre factibilidad económica. El primero, relacionado con un estudio de factibilidad técnica de pirólisis de neumáticos denominado “Pirólisis de Neumáticos en Desuso de Equipos de Alto Tonelaje en Faenas Mineras de la Segunda Región” y que fue realizado mediante una tesis de Magister del programa M.A.I.A. de la Universidad Católica del Norte, por el tesista Sr. Cristian Rivera Aracena. Este trabajo contó con el apoyo de la Compañía Minera Escondida Ltda. El segundo estudio, denominado “Aprovechamiento de Residuos Termodegradables de la Industria Minera de la Región de Antofagasta: Pre factibilidad Económica”, está siendo desarrollado en el marco de otra tesis de Magister del programa M.A.I.A. de la Universidad Católica del Norte, por el tesista Sr. Miguel Araviri Cárcamo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General:

Evaluar la viabilidad técnica del aprovechamiento de neumáticos y aceites lubricantes usados, como fuente energética.

1.2.2 Objetivos específicos:

- Realizar un estudio del estado del arte de la viabilidad técnica, para el aprovechamiento de neumáticos y aceites lubricantes usados, como generadores de fuentes energéticas.
- Evaluar alternativas de procesos para el aprovechamiento de neumáticos y aceites lubricantes usados.
- Evaluar la situación actual respecto de la localización, disposición, cantidad y/o volúmenes, manejo ambiental y alternativas de aprovechamiento de los neumáticos usados de los camiones fuera de carretera y aceites lubricantes usados, por parte de la industria minera en la Región de Antofagasta.
- Elaborar cartografías ambientales temáticas que permitan visualizar espacialmente la localización, disposición, cantidad y/o volúmenes, manejo ambiental y alternativas de aprovechamiento de los neumáticos usados de los camiones fuera de carretera y aceites lubricantes usados, por parte de la industria minera en la Región de Antofagasta.

CAPITULO 2. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

2.1. POLITICA DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS

En Chile, desde hace más de una década, el manejo de los residuos ha estado presente como una preocupación en los distintos sectores sociales, aunque sin soluciones efectivas. La complejidad del tema, expresada en múltiples dimensiones, nos enfrenta hoy a patrones de producción y consumo que tienden a privilegiar la generación cada vez mayor de residuos sólidos.

La política de gestión integral de residuos, data del año 2005 y conforma el eje principal de las acciones y tareas que sobre la materia se han venido impulsando. Al respecto, en materia de gestión de residuos, se estableció como primer propósito evitar la generación; si no es posible evitar, se debe procurar la minimización (reducir, reutilizar, reciclar). Si la minimización no es posible, entonces se debe plantear el tratamiento y sólo cuando éste no sea factible, debemos recién pensar en la disposición final (CONAMA., 2005).

Cabe destacar, que es vital para la implementación de la Política, su planificación y diseño de soluciones, la construcción de catastros y la realización de estudios que permitan complementar datos faltantes. En definitiva, la creación de sistemas de información para la gestión de residuos sólidos, que den cuenta del emplazamiento de las instalaciones de manejo de residuos de todo tipo, así como la realización de estudios sobre generación y manejo de residuos (CONAMA., 2005).

2.1.1 Residuos Sólidos No Domiciliarios

Con relación a éste tipo de residuos, la falta de normas clara, carencia de fiscalización eficiente y ausencia de información sobre su manejo, dificultan el desarrollo de mercados y la labor de las empresas autorizadas para su manejo. En este sentido, evaluar y completar el marco regulatorio, generar sistemas de información para la fiscalización y planificación, promover la instalación del servicio privado de alternativas de manejo-sobre todo en regiones-son acciones que requieren ser abordadas de manera prioritaria.

La información con que se cuenta respecto de los residuos no domiciliarios es limitada. Existen estimaciones sobre las cantidades generadas de residuos industriales, hospitalarios, mineros, de construcción y silvoagropecuarios.

El manejo de los residuos no domiciliarios es responsabilidad de los generadores, en su mayoría privados, limitándose el rol de la autoridad a la creación de condiciones para que en el mercado se ofrezcan alternativas para el manejo de todos ellos. Muchos generadores informan que no saben qué hacer con los residuos generados en sus procesos, solicitando a la autoridad competente identificar las instalaciones para su reciclaje, tratamiento y/o disposición final.

Dentro de los residuos no domiciliarios, los únicos que cuentan con una definición normativa son los residuos industriales. El D.S. N° 594/1999 (y sus posteriores modificaciones D.S. N° 2001/2001) del Ministerio de Salud, en su artículo 18°, señala como “todo aquel residuo sólido o líquido o combinación de estos provenientes de procesos industriales y que por sus características físicas, químicas o microbiológicas no pueden asimilarse a los residuos domésticos” (MINSAL., 1999).

Los neumáticos de los camiones fuera de carretera usados (camiones de la industria minera), corresponden, de acuerdo a antecedentes existentes en el SEIA, a residuos sólidos no peligrosos (Minera Escondida Ltda., 2003).

2.1.2 Residuos Peligrosos

El creciente desarrollo económico de Chile y su consecuente crecimiento en términos de la actividad industrial, ha generado un aumento continuo de la producción de residuos peligrosos. Sin embargo, la insuficiente gestión de este tipo de residuos ha llevado durante décadas al depósito y almacenamiento incontrolado de materiales tóxicos, la filtración de sustancias y residuos nocivos en la red de alcantarillado o cursos de agua superficiales.

La gestión de los residuos peligrosos comienza en Chile en la década de los '90, bajo el trabajo mancomunado del Ministerio de Salud y la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), a través de la elaboración del Reglamento D.S N° 148/2003

(Reglamento Sanitario sobre el Manejo de Residuos Peligrosos) y de la Política de Gestión Integral de Residuos Sólidos del año 2005.

En 2003, se inicia el Proyecto ResPel "Gestión de Residuos Peligrosos en Chile" liderado por CONAMA y GTZ, el cual -a partir de ese momento- se hace cargo de facilitar y acelerar la implementación del Reglamento D.S N° 148/2003, además de la coordinación entre actores públicos y privados. Consecuencia de ello, es que a la fecha es posible señalar que la gestión de residuos peligrosos en Chile ha adquirido mayor relevancia. Algunas instalaciones generadoras de residuos peligrosos deben someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA). Por ello, existe una "Guía de Criterios para la Aplicación del Reglamento de Residuos Peligrosos en el SEIA" (CONAMA y GTZ., 2010).

Los residuos peligrosos corresponden a aquellos que están claramente establecidos en el D.S. N° 148/2003. El presente cuerpo normativo permitió mejorar el control de los residuos peligrosos por parte de la autoridad sanitaria, generándose planes de manejo que obliga a los grandes generadores a establecer una gestión adecuada de los mismos. Los planes de manejo consideran evaluar opciones de minimización como lo son la reducción, reutilización y reciclaje (MINSAL., 2003).

De acuerdo a lo establecido en el D.S. N° 148/2003 MINSAL, los aceites lubricantes usados son peligrosos y presentan los siguientes códigos de residuos: I8 (aceites minerales residuales no aptos para el uso del que estaban destinados) y A3020 (aceites minerales desechados no aptos para el uso al que estaban destinados).

2.2 TECNOLOGÍAS Y PROCESOS DISPONIBLES PARA LA RECUPERACIÓN Y/O RECICLAJE DE NEUMÁTICOS USADOS

2.2.1 Desmenuzado y Molienda

Una de las tecnologías más ampliamente utilizadas para la recuperación de los materiales de neumáticos y evitar así su disposición en vertederos o terraplenes, es su desmenuzado y molienda. Es un método físico, mediante el cual los neumáticos usados

se muelen para la obtención de polvo y/o gránulos o fragmentos de una determinada granulometría (tamaño típico 0.6 a 15 cm.), (Carrasco y Roy., 1991).

Corti y Lombardi (2004), proponen un proceso de molienda, que alcanza el grado de pulverización mecánica de los neumáticos, como alternativa ambientalmente óptima para la recuperación de neumáticos. Desarrollan tres pasos para lograr dicho objetivo: la molienda, aplastamiento y pulverización.

Respecto de estudios que profundicen en ésta materia, destaca la contribución realizada por Ferrer (1996) y Takeshi *et al.*, (1999), donde se señala como una de las aplicaciones preferidas para el caucho granular en EE.UU, el relleno en mezclas asfálticas estimándose una cantidad utilizada para esos fines de 50.000 ton/año de caucho terreno, en los Estados Unidos. El informe de la EPA de Estados Unidos (1991), indica que el caucho granular aumenta la durabilidad y la tracción de pavimento de carreteras y si la tecnología se desarrolla en forma adecuada, no habría demanda suficiente para absorber la totalidad de los neumáticos de desecho generadas en cualquier país.

Park *et al.*, (1996), reportaron que los chips de los neumáticos pueden absorber compuestos orgánicos volátiles (COV) y sugirió que deben ser utilizados en las barreras de vertederos y en el tratamiento de aguas residuales para eliminar compuestos orgánicos volátiles.

Farrell y Block (1999), comentan el uso del caucho en las mezclas asfálticas como una forma mejorar la tolerancia al tráfico en carreteras y su capacidad de amortiguación en las zonas de pastizales, cuando se usa como complemento para la construcción de campos deportivos de golf (Rogers *et al.*, 1998).

Lisi *et al.*, (2004), exploraron otros usos para dar valor agregado al caucho granulado. Demuestran la capacidad o habilidad del caucho granulado, para actuar como barrera de contención evitando el lixiviado de nutrientes nitrogenados al colocar una capa de drenaje a base de caucho granulado debajo de las zonas de las raíces de vegetación, utilizada para la construcción de áreas recreativas (campos de golf y campos deportivos).

2.2.2 Combustión-Incineración

Corresponde al proceso mediante el cual se produce la combustión de los compuestos orgánicos del neumático a altas temperaturas, en hornos con materiales refractarios de alta calidad. Genera calor que puede ser usado como energía, ya que se trata de un proceso exotérmico. Es un método costoso y además presenta el inconveniente de la diferente velocidad de combustión de los distintos componentes y la necesidad de depuración de los residuos, por lo que no resulta fácil de controlar y en cierta medida resulta ser contaminante. La incineración puede ser usada fácilmente para la recuperación de energía, sin embargo las emisiones producidas (gases de efecto invernadero: dioxinas, furanos, etc.), no favorecen este proceso (Miranda *et al.*, 2006). En Chile, se debe cumplir con las disposiciones contenidas en el D.S. N° 45/2007 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, referidas a las emisiones de contaminantes de los procesos de incineración y co-incineración.

Carrasco y Roy (1991), indican que a través de la combustión se extrae el contenido energético de los neumáticos por quema controlada de los mismos. Actualmente, esta operación puede llevarse a término en hornos de clinquerización o de Cal. Debe tenerse en cuenta, que los neumáticos son una materia prima cuyo potencial calorífico es superior al de la madera e incluso al del carbón.

De acuerdo a lo indicado por Sharma *et al.*, (2000), los neumáticos usados se queman bajo combustión a elevadas y controladas temperaturas. El proceso de la combustión es espontáneo sobre 400 °C, altamente exotérmico y, una vez que esté iniciado, llega a ser autosuficiente. Las paredes y las camas del horno deben poder soportar las temperaturas altas (aproximadamente 1.150 °C) generadas por el proceso de la combustión. Los neumáticos con un valor de 7.500-8.000 kcal/kg, se utilizan como combustible en los incineradores. El calor generado durante la incineración produce el vapor que se puede utilizar para: calentar, acondicionar edificios, transformaciones industriales o la producción de la electricidad.

La literatura da cuenta de diferentes ámbitos o líneas de investigación, tendientes a resaltar las condiciones operacionales y de proceso que conllevan el uso de neumáticos usados como fuente de energía a través del proceso de combustión. Al respecto, Ferrer

(1996), releva el hecho de que los neumáticos usados de manera eficiente pueden sustituir al carbón y otros combustibles en la generación de energía. Por ejemplo, ya es una realidad en varios países desarrollados el uso parcial y total de neumáticos en las industrias termoeléctricas y plantas de cemento, para sus necesidades energéticas.

Varias plantas cementeras europeas han estado quemando neumáticos usados desde la década de 1970. La planta de Heidelberg Zement en Alemania consume 50.000 ton./año, lo que representa un 20% de su necesidad de combustible. Un pequeño número de plantas norteamericanas a inicios de la década del 90 ya utilizaban neumáticos como sustituto de los combustibles. La planta de Lafarge en Francia es la primera experiencia en este país, comenzó con la capacidad para utilizar 20.000 ton./año de neumáticos usados (Ferrer, 1996). En Chile, Lafarge en asociación con Goodyear operan un horno en base a neumáticos usados en la ciudad de La Calera (Cemento Melón). Una de las principales limitantes observadas en la obtención continua de flujo de neumáticos, es situar la planta en una ubicación en la que los neumáticos usados estén fácilmente disponibles.

A partir del año 2006, se encuentra disponible la Guía para el Co-Procesamiento de Residuos en la Producción del Cemento, elaborada por la GTZ/Holcim entidad de cooperación pública-privada de Alemania y Suiza. Dicho documento, entrega una serie de recomendaciones y directrices técnicas orientadas a las autoridades públicas, industriales y público interesado, para que manejen con claridad los aspectos relacionados con el co-procesamiento de residuos en hornos rotatorios de cemento, como herramienta de gestión de residuos.

Por su parte Takeshi *et al.*, (1999), hace referencia a que dentro de los mercados de los neumáticos usados como combustible, el mayor uso (29,8%) está en la producción de cemento en hornos rotatorios. El uso de neumáticos en la industria cementera es relevado también por Caputo y Pelagagge (2001), quienes señalan que en algunos países existe un mercado como combustible derivado de neumáticos usados en hornos de cemento, fábricas de pulpa y papel, hornos industriales y calderas. Igualmente Mastral *et al.*, (2002), hace referencia a que producto del alto poder calorífico, los neumáticos

usados se han utilizado como combustible en hornos rotatorios para la producción de clinker.

Scala *et al.*, (2002), analizaron experimentalmente los aspectos mecánicos relacionados con la combustión en lecho fluidizado, utilizando como combustible neumáticos usados. Los resultados experimentales indicaron, que tanto la velocidad del gas superficial y presión parcial de oxígeno ejercen influencia sobre la eficiencia global durante la combustión del carbono.

2.2.3 Pirólisis

La pirólisis se define como una serie de reacciones de descomposición térmica (craqueo, deshidratación, volatilización y condensación) en ausencia de agentes externos. Idealmente la reacción debe transcurrir en ausencia total de aire.

La pirólisis es una práctica muy antigua. En algunos países de África, se utiliza desde tiempos inmemorables, para fabricar carbón vegetal.

Según Sharma *et al.*, (2000), la pirólisis es un proceso endotérmico (degradación termal de los materiales causados por calentamiento en una atmósfera libre de oxígeno). Constituye un método ambientalmente atractivo para reducir las grandes cantidades de neumáticos usados que se disponen en vertederos y/o terraplenes en el mundo. A altas temperaturas y en un ambiente libre de oxígeno se descomponen los neumáticos, químicamente. Los productos de la pirolisis representan cerca del 50% del volumen inicial de la materia orgánica.

Esta tecnología ha adquirido una gran importancia estos últimos años, ya que permite recuperar los componentes primarios de los neumáticos en forma de gases (CO₂, CO, H₂ e Hidrocarburos), líquidos (aceites pirolíticos provenientes de los vapores de condensación) y sólidos (negro de carbono). El acero contenido en el neumático se encontrará mezclado con el negro de carbono. El porcentaje de cada una de las fases dependerá del tipo de tecnología utilizada. Además, presenta beneficios ambientales mayores a los observados en los procesos de combustión o incineración (Carrasco y Roy., 1991).

Según el modo de transmisión de calor, los procesos de pirólisis se clasifican en dos grandes categorías:

- Autotérmicos: El calentamiento de los neumáticos se efectúa por contacto directo con una sustancia caloportadora (gas, aceites, etc.). Este tipo de calentamiento es necesario cuando se pretende alcanzar la temperatura final de descomposición en tiempos muy cortos.
- Alotérmicos: Los neumáticos y el elemento calefactor están separados por una frontera física (paredes del reactor).

Por otra parte, cuando se tiene en cuenta la velocidad de transmisión de calor y presión de operación, los procesos de pirólisis se clasifican en:

- Pirólisis lenta a presión atmosférica (generación de sólidos): Es un proceso de antigua data y ha recibido el nombre de carbonización, ya que se orientaba a la obtención de carbón vegetal. La velocidad de calentamiento es inferior a $2\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ y la temperatura no supera los $400\text{-}500\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Pirólisis a presión reducida (generación de líquidos): Cuando la pirólisis se realiza a vacío, los productos volatilizados no permanecen más que algunos segundos en el reactor, con lo que se evitan las reacciones de condensación. Esta técnica conduce entonces, a una mayor proporción de líquidos.
- Pirólisis (generación de gas): El tiempo de residencia de los gases en el reactor es generalmente inferior a medio segundo. Este proceso necesita de tecnologías avanzadas, ya que requiere de temperaturas muy elevadas ($600\text{-}1.000\text{ }^{\circ}\text{C}$) y la transferencia de calor debe ser extremadamente rápida ($200\text{-}10^5\text{ }^{\circ}\text{C/s}$). Por este método se produce fundamentalmente gases, por lo cual puede hablarse de gasificación no oxidante.

En general, cuando aumenta la temperatura final, la fracción de gases aumenta en detrimento de la de aceites.

Sin embargo, existe una razón química que permite afirmar que la pirólisis a vacío es ventajosa cuando el objetivo principal es maximizar la fracción líquida, es decir, obtención de aceites. Al realizar el vacío, el tiempo de residencia de los vapores orgánicos que se forman en la pirólisis primaria disminuye considerablemente (tiempos

de residencia de varios segundos como máximo). De esta forma, se maximizan las reacciones secundarias de craqueo y recondensación, con lo que se optimiza la producción de aceites. Así, el negro de carbono obtenido mediante condiciones de vacío es de mayor calidad (Carrasco y Roy., 1991).

Los procesos pirolíticos pueden llevarse a cabo en distintos tipos de reactores. Entre los más utilizados, se pueden citar los siguientes:

- a) Horno vertical u horizontal.
- b) Horno multipiso: Su ventaja es la de poder recoger en cada piso fracciones de aceite de diferente composición (según la temperatura de descomposición del piso).
- c) Reactor rotatorio.
- d) Lecho poroso agitado.
- e) Lecho fluidizado.
- f) Tornillo de Arquímedes.

Miranda *et al.*, (2006), respecto de la pirólisis señalan que representa una alternativa para la conversión de materiales que no son fácilmente reprocesados, como es el caso de los neumáticos usados. Estos productos pueden ser útiles como combustibles o materias primas para otros procesos.

2.2.4 Copirólisis

Es la descomposición química de materia orgánica donde intervienen dos insumos y/o compuestos (ej. carbón y aceites lubricantes), causada por el calentamiento en ausencia de oxígeno.

Ucar *et al.*, (2005), hacen referencia a la importancia de los procesos copirólíticos, como una alternativa ambientalmente segura para la óptima recuperación de materias primas, que forman parte de los neumáticos y los aceites lubricantes usados. Los autores señalan que los neumáticos usados, ocupan grandes espacios y pueden causar graves problemas al medio ambiente. Otro residuo de difícil eliminación son los aceites lubricantes, que son los principales residuos del sector automotriz. Las regulaciones ambientales requieren la recopilación de los aceites usados lubricantes, ya

que estos aceites constituyen un riesgo ambiental debido tanto a su contenido de metal y otros contaminantes.

El reciclado químico de estos residuos es una poderosa herramienta para la recuperación de energía y protección del medio ambiente. El co-procesamiento de neumáticos usados y carbón han sido ampliamente estudiado, donde el objetivo fue mejorar la licuefacción del carbón a un costo competitivo. Una manera de reducir los costos de licuefacción de carbón puede ser el co-procesamiento de carbón con otros materiales fuentes de hidrógeno, tales como los neumáticos usados. Se podría permitir reducir la presión de hidrógeno en la licuefacción. Igual situación ocurre con el uso de aceites lubricantes usados con carbón (Mastral *et al.*, 2002).

Cabe señalar, que existe escasa información respecto de estudios relacionados con la copirólisis de neumáticos y aceite lubricantes usados. La contribución entregada por Ucar *et al.*, (2005), da cuenta del efecto sinérgico de los productos de la copirólisis de los neumáticos y aceites lubricantes usados, que se ha llevado a cabo a las temperaturas de 550, 650 y 800 °C, bajo atmósfera de nitrógeno. En éste sentido, el aumento de la temperatura no cambia significativamente la distribución de los productos, y la composición de los aceites resultantes de la copirólisis. Sin embargo, la calidad del aceite obtenido mediante la copirólisis fue mejor que el aceite de pirólisis que se obtiene de los neumáticos usados. Por ejemplo, los aceites de la copirólisis contenían menos cantidades de compuestos de hidrocarburos aromáticos policíclicos.

2.2.5 Gasificación

La gasificación es un proceso termoquímico en el que un sustrato carbonoso (carbón, biomasa, plástico) es transformado en un gas combustible mediante una serie de reacciones que ocurren en presencia de un agente gasificante (aire, oxígeno, vapor de agua o hidrógeno).

Los neumáticos usados constituyen un importante reto para su gestión, la gasificación representa la alternativa de valorización energética con mayor valor agregado y con mínimas emisiones (Carrasco y Roy., 1991).

Leung *et al.*, (2002), respecto de la aplicabilidad del proceso de gasificación en neumáticos usados, señalan que debido a su elevado poder calorífico, alta volatilidad y bajo contenido de cenizas después del proceso, hacen de él un material ideal para pirólisis, combustión, así como para la gasificación. En este sentido, se advierte que altas tasas de recuperación de energía se limitan cuando el objetivo es la recuperación sólo del gas, recomendándose utilizar la combinación con otros procesos tales como la pirólisis, para así maximizar la recuperación energética de los neumáticos usados.

Mastral *et al.*, (2002), se refieren a la producción de gas hidrógeno a partir de neumáticos usados, donde al igual que lo observado por Leung *et al.*, (2002), el proceso considera en primera instancia la realización de la pirólisis de los neumáticos usados para producir aceites. El aceite entonces, representa la materia prima del cual se producirá el gas hidrógeno.

2.2.6 Criogenización

Las tecnologías criogénicas consisten en la congelación de los neumáticos con N₂ líquido a -191 °C, de tal manera que se convierten en un sustrato altamente quebradizo, dando por trituración suave un polvo fino. Así, se consigue la separación del acero, del nylon y del caucho (Carrasco y Roy., 1991).

Ferrer (1996), indica que es uno de los procesos de molienda donde el caucho se vitrifica en nitrógeno líquido a unos -200 °C y luego se pulveriza con un molino de martillo. Es considerado según éste autor, el proceso más ventajoso para el reciclado de neumáticos usados. Dentro de los usos que se le dan al producto de la criogenización destacan: pistas de tenis y otras superficies deportivas, en jardines como enmiendas del suelo, rellenos de asfaltos, aditivos.

De acuerdo a lo expresado por Sharma *et al.*, (2000), con el proceso de criogenización, el caucho es enfriado con nitrógeno líquido a una temperatura que oscila entre -60 y -100 °C. Como resultado de esta operación, el caucho queda extremadamente frágil y así es molido muy fácilmente en polvo muy fino por un molino del disco o de martillo.

2.3 PIRÓLISIS Y COPIRÓLISIS EN LA RECUPERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE LOS NEUMÁTICOS USADOS

En su mayoría la información está centrada en tecnologías y procesos probados y aplicados en países desarrollados de América de Norte, Europa, Japón y del Medio Oriente. Es precisamente en éstas áreas geográficas donde se producen la mayor cantidad de neumáticos (Carrasco y Roy., 1991; Ferrer, 1996 y Murillo *et al.*, 2005). En particular la pirólisis, resulta ser la tecnología más frecuentemente utilizada, ya que permite recuperar los componentes iniciales de neumáticos en forma de sólidos, líquidos y gas. Lo anterior, de acuerdo a lo señalado por Carrasco y Roy, (1991); Sharma *et al.*, (2000); Pickering., (2006); Takeshi *et al.*, (1999); Miranda *et al.*, (2006); Mastral *et al.*, (2002); Leung *et al.*, (2002); Murillo *et al.*, (2005); Ko *et al.*, (2004); Berrueco *et al.*, (2004) ; Chang., (1996); De Marco *et al.*, (2007) y Xiao *et al.*, (2009).

Resulta interesante lo señalado por Ko *et al.*, (2004), con relación a que debido al elevado poder calorífico de los neumáticos, es factible proponer un esquema de reutilización en que los neumáticos triturados son convertidos a productos con valor agregado, tales como el aceite y carbón activado para aplicaciones industriales. Estudios experimentales realizados por éstos autores, muestran que el carbono resultante fue de buena calidad comparable a productos comerciales. El retorno de la inversión es significativa (27,4% en un período de 4 años).

Un aspecto importante de considerar es lo indicado por Murillo *et al.*, (2005), quien reafirma que los procesos de valoración térmica de neumáticos usados han sido ampliamente estudiados con el consiguiente beneficio ambiental que significa la utilización de éstas tecnologías. Los neumáticos del desecho son un problema ambiental cada vez mayor porque no son biodegradables y sus componentes no pueden ser recuperados fácilmente. La disposición de neumáticos usados representa un problema económico y ambiental para la mayor parte de países desarrollados. Se estima que 2.5 millones de toneladas por año están generadas en la unión europea, 2.5 millones de toneladas en Norteamérica y alrededor 1 millón en Japón.

Por su parte Conesa *et al.*, (2004), indica que una de las formas de utilización de los neumáticos usados es a través de la vía de la combustión y la obtención de productos químicos por medio de la pirólisis.

Ferrer (1996), indica que la pirólisis de una tonelada de neumáticos produce 350 a 420 Kg. de aceites, 130 a 160 Kg. de carbón, 190 a 220 Kg. de acero, 150 a 180 Kg. de fibra de cristal. El carbón por ejemplo, puede volver a ser utilizado en la producción misma de los neumáticos. Datos del autor, estimaban la generación de cerca de 800 millones de unidades de neumáticos a nivel mundial en 1992. En Francia se estimó una producción de 250 mil toneladas anuales de neumáticos.

Los neumáticos se componen sobre todo de diversos tipos de cauchos, por ejemplo caucho natural, estireno, caucho del butadieno, así como los aceites mineral y el carbón negro. Los neumáticos tienen una alta cantidad de energía en comparación con otros materiales residuales sólidos (por ejemplo, madera 10.200 kJ/kg, basuras sólidas municipales 12.400 kJ/kg, lignito 17.000 kJ/kg, carbón subbituminoso 24.500 kJ/kg, neumáticos 33.000 kJ/kg). La degradación térmica de neumáticos produce una variedad amplia de productos en la fase del aceite y de gas, además de carbón residual. Los productos principales desarrollados son isopropano, amplia gama de otros productos, incluyendo alcanos, butadieno, tolueno, xileno, e hidrocarburos hasta $C_{16}H_{26}$, benceno, estireno, hidrocarburos aromáticos policíclicos tales como naftalina, fluoreno y phenanthreno (Conesa *et al.*, 2004).

Según lo expuesto por Carrasco y Roy (1991), los vertederos de neumáticos usados constituyen una fuente de materias primas que no debe despreciarse, debido a su potencial económico. Por otro lado, la reutilización y/o reciclaje de estos recursos de materia orgánica dará solución al problema de los incendios imprevisibles que aquejan a nuestra sociedad y que ya han causado graves desastres ecológicos. A causa de la sensibilización creciente del consumidor por las cuestiones ambientales, las compañías se disputarán la compra de productos reciclados para incorporarlos a sus cadenas de producción, no sólo por razones económicas, sino también por motivos de marketing.

Sharma *et al.*, (2000), presentan a escala piloto un diseño experimental de una planta de pirólisis en Italia (Centro de investigaciones ENEA). El aceite y el gas se

pueden utilizar como combustibles dentro del sistema de la pirólisis o para una planta adyacente tal como un sistema combinado del calor y de energía. El carbón y el acero también se recuperan de proceso.

A escala industrial, destaca la presencia de plantas de la firma Wang kLAMLAM representante para América de la asociación técnica cooperativa EEC-A-Universidad de Tsinghua en la China. Esta empresa en alianza con MC Engineering & Consulting, (Miami Florida USA) (www.mcengcons.com). La descripción del proceso de tipo industrial de pirólisis, de detalla en el punto 2.6., del presente CAPÍTULO.

Contribuciones detalladas en los trabajos realizados por Ucar *et al.*, (2005) y Qu *et al.*, (2006), señalan que los procesos de recuperación de energía a partir de neumáticos usados y su mezclado con aceites residuales en lo que se denomina Copirólisis, son altamente eficientes en comparación a una pirólisis de neumáticos. Destaca el hecho de que ambos autores hayan obtenido resultados similares de recuperación de aceites operando bajo temperaturas de procesos distintas. En el caso de Ucar *et al.*, (2005), experimentó con un reactor fijo mezclado con aceites lubricantes usados a temperaturas de 550, 650 y 800 °C bajo una atmósfera de nitrógeno, mientras que Qu *et al.*, (2006), en su experimentación mantuvo una temperatura constante de 430 °C.

En general varios autores hacen mención a que los neumáticos son buenos materiales para reciclados termoquímicos y en específico el tratamiento por pirólisis. Destacan y analizan variables relacionadas con parámetros de procesos, que serían los que inciden directamente en los resultados de la pirólisis. Además, resaltan las bondades que desde la perspectiva ambiental implica la reutilización de neumáticos usados.

Mastral *et al.*, (2002), enfatizan en la factibilidad de producción de hidrógeno, utilizando como materia prima el aceite derivado del proceso de pirólisis de los residuos del caucho. El aceite se utiliza en un proceso de gasificación con oxígeno para obtener hidrógeno. La pirólisis de neumáticos se lleva a cabo de manera experimental, para estudiar la influencia de la temperatura y tiempo de reacción de los aceites producidos, concluyendo que la pirólisis de neumáticos requiere variables de baja gravedad en el proceso. Los resultados obtenidos en la pirólisis de neumáticos en términos de temperatura de reacción (450, 500, 550, 650, 750, 850 y 950° C), muestran que la

conversión total permanece constante a cualquier temperatura y la despolimerización de los neumáticos es completa independientemente de la temperatura (dentro del rango estudiado). Se genera material no convertido en aceite, constituido principalmente por carbono y que no pudieron ser degradados a esas condiciones de funcionamiento y la materia mineral. Sin embargo, se observó que la distribución del producto es ligeramente dependiente de la temperatura de reacción, observando un mayor rendimiento de aceite a bajas temperaturas que a altas temperaturas. Por lo tanto, a partir de este trabajo experimental, se concluyó que la pirólisis de neumáticos debe llevarse a cabo en condiciones de temperatura moderada (450° C), ya que a temperaturas más elevadas no aumenta la conversión total y no mejora la distribución del producto. El mayor rendimiento de aceite se obtiene a ésta temperatura, así como la máxima recuperación de hidrógeno (81,8% del hidrógeno presente en el neumático usado). Al respecto, podemos citar lo establecido por Murillo *et al.*, (2005), quienes indicaron que la máxima conversión obtenida para la pirólisis de neumáticos usados es siempre cercana a los 500° C, donde las producciones del aceite superaron el 40%.

En el estudio realizado por Leung *et al.*, (2002), se analizaron a nivel experimental la influencia de las variables de operación sobre la composición y rendimientos de productos gaseosos de la pirólisis de polvo de neumáticos. Al respecto, mencionan que la tasa de pirólisis de los polvos de neumáticos usados aumenta con la temperatura en el rango de los 500-1.000 °C. El rendimiento del producto gaseoso aumenta del 5% al 23% (peso) dentro del rango de temperatura antes mencionada, con un valor máximo alcanzado a los 900 °C. Las altas temperaturas y el mayor tiempo de residencia del polvo de neumático contribuyen a aumentar el volumen de gas, pero implica también la disminución en el valor calorífico del producto gaseoso. Por lo tanto, la temperatura y el tiempo de residencia en fase gaseosa deben ser controlados con el fin de optimizar la producción de gas. Los gases derivados de la pirólisis de polvo de neumáticos son H₂, CO, CO₂, H₂S e hidrocarburos como el CH₄, C₂H₄, C₂H₆, C₃H₆, C₃H₈, C₄H₈ y C₄H₆ principalmente. Su valor calórico se sitúa en el rango de 20 a 37 MJ/Nm³. El máximo valor calórico se logra a una temperatura entre 700 y 800 °C. La

relación que existe entre la distribución de gas, aceite y carbón es de 21:44:35 a 800 °C. Según Sharma *et al.*, (2000), dicha relación alcanzaría a 20:47:33.

Berrueco *et al.*, (2004), se refirieron a la influencia de la temperatura en el rendimiento global y la composición de gas, de la pirólisis de neumáticos usados. Un reactor discontinuo de lecho estático se utilizó para pirólisis de trozos de 300 g de neumáticos triturados a temperaturas desde 400 hasta 700° C. Una vez que la temperatura requerida por el sistema se estabilizó, se mantuvo por 4 horas. El tiempo de residencia del gas en el reactor se calculó, con los valores comprendidos entre el 1 y 1,5 min. Las tres fases que se obtuvieron después de la pirólisis: sólido (carbón), líquidos (agua y aceites) y el gas (hidrocarburos ligeros, H₂, CO y CO₂). Se observó un aumento del rendimiento de la fase líquida con temperatura de 400 a 500° C. Sin embargo, desde 500° C, el rendimiento se mantuvo constante. El rendimiento de la fase sólida evidenció una tendencia inversa a la observada en la fase líquida. Por su parte, el rendimiento de gas mostró un ligero incremento con temperaturas que oscilaron entre 400° C a 700° C. Los principales gases producidos a partir del proceso de pirólisis fueron H₂, CO, CO₂ e hidrocarburos: CH₄, C₂H₄, C₃H₆ y C₄H₈. Se observó que la fracción de gases ligeros (H₂, CO, CO₂ y el CH₄) fue mayor a temperaturas más elevadas.

La distribución de los rendimientos de productos de la pirólisis varía con la temperatura. En general, el rendimiento total de productos de gas es 30-53% en peso de los neumáticos usados, de aceite es 28-42% y carbono es 14-28%. Además, el aceite combustible, una parte del producto del petróleo, tiene un máximo nivel de hasta un 15% en peso a una temperatura de -350 ° C (Chang., 1996).

Sharma *et al.*, (2000), indican que el porcentaje de aceite y las fracciones gaseosas dependen de las condiciones de funcionamiento, tales como la temperatura y la presión en el reactor de pirólisis, tiempo de residencia y tipo de catalizador empleado. Al igual que lo mencionado por Leung *et al.*, (2002), han observado que el aumento de la temperatura del reactor da como resultado un incremento en el valor calorífico del producto y un incremento porcentual en H₂, CH₄, CO y otros hidrocarburos. El poder calorífico de los gases pirolíticos, se sitúan en torno a las 16.000 a 20.000 Kcal/Nm³. Los aceites pirolíticos en cambio, presentan un poder calorífico del orden de 10.000

kcal/Kg, se genera principalmente debido a la presencia de hidrocarburos ligeros y, por tanto, puede ser usado para calentar el reactor de pirólisis. El aceite, por su parte, puede ser utilizado como combustible en un horno convencional. El otro subproducto importante es el carbón, que se utiliza como combustible o para la producción de carbón activado o como un aditivo inerte.

Xiao *et al.*, (2009), señalan que la temperatura de pirólisis presenta efectos significativos en la composición, estructura, y calidad de los productos resultantes en las fases líquidas, gaseosas, cuando utilizan como materia prima biomasa. Teniendo en cuenta el rendimiento, características, valor calórico y transporte de los sólidos producidos, la mejor temperatura de pirólisis fue de 400° C. Según Miranda *et al.*, (2006), el proceso de pirólisis de neumáticos usados presenta tres etapas de descomposición térmica entre 120 y 520°C, que corresponden a la volatilización de plastificantes y a la degradación del caucho natural y sintético.

Estudios más recientes como los efectuados por Arabiourrutia *et al.*, (2010), apuntan al uso de catalizadores ácidos y su efecto en la distribución de los productos obtenidos en la pirólisis de neumáticos. Con la utilización de un catalizador ácido *in situ* fue posible realizar la pirólisis de neumáticos a 450° C y por tanto a 50° C menos que la pirólisis térmica estándar de 500° C, alcanzándose la conversión completa en 60 segundos. El uso de un catalizador produjo un importante aumento en el rendimiento de gases (16,70% con el catalizador de zeolita HZSM-5 a 450° C) respecto a la pirólisis térmica (7.26% a 500° C). La zeolita HZSM-5 es más eficaz para la formación de gases, aunque también contribuye a modificar la composición de la fracción C₁₀- no aromática, que está constituida por compuestos de menor peso molecular que en la pirólisis térmica. Con el uso de éste catalizador, se aumentó de un 2% al 20% en el rendimiento de gases, con un elevado rendimiento de etano y propano.

Otras contribuciones, como las descritas a continuación, dan cuenta del uso de la pirólisis utilizando materias primas distintas a los neumáticos, pero que denotan claramente la viabilidad técnica en el uso de éstos procesos térmicos en la recuperación de energía.

Un ejemplo de ellos, son los trabajos desarrollados por De Marco *et al.*, (2007, 2008). En el primero de ellos, se utilizan automóviles en desuso. En el proceso de pirólisis, la materia orgánica volátil de los residuos (plásticos, caucho, etc.) es descompuesto a la forma de gases y líquidos, que pueden ser útiles como combustibles y/o fuente de productos químicos. Los componentes inorgánicos (rellenos, metales, vidrios, etc.) son recuperados y reutilizados. En este sentido, los autores indican que la pirólisis es especialmente apropiada para reciclar residuos complejos, como automóviles en desuso. En un estudio experimental, llevado a cabo a temperaturas de 400, 500 y 700° C por 30 minutos, se observó que los productos sólidos, líquidos y gaseosos derivados de la pirólisis han sido totalmente caracterizados. Se concluye que la pirólisis parece ser una técnica apropiada para el reciclaje de automóviles usados, obteniendo sólidos valiosos (38-39%), líquidos (20 -29%) y gases (31-41%). La temperatura de 500° C fue suficiente para producir la descomposición total de la materia orgánica. El aumento de la temperatura por sobre los 500° C, favorece la producción de gases, en desmedro de la fase líquida, pero las características de los productos no se ven significativamente alteradas. El segundo trabajo (De Marco *et al.*, 2008), se realiza un estudio preliminar en laboratorio tendiente a ver las posibilidades de realizar pirólisis, para la recuperación de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Cables de polietileno, teléfonos de mesa, teléfonos móviles y placas de circuito impreso han sido pirolizados bajo una atmósfera de nitrógeno de 3,5 dm³ y en una autoclave a 500° C durante 30 minutos. El rendimiento para los cables de polietileno en peso alcanzó un 44,1% de cera líquida, 23% de gases y un producto sólido compuesto principalmente de Cu y Al junto con algunos residuos de carbón formados durante el proceso. Para los teléfonos de mesa y móviles los resultados fueron muy similares, alcanzando en peso un 53% y 57%, respectivamente en fase líquida de color marrón, una fase gaseosa en torno al 12% y una fase sólida (30-31%) que contiene varios metales (Cu, Al, Fe, Zn, Ni, etc.). Además, una cantidad significativa de carbón (50% con respecto a los sólidos). Las placas de circuito evidenciaron un rendimiento sólo de 16,2% en peso de fluidos de color marrón, un 7,3% de gases y un 76,5% en peso de sólidos. En todos los casos, los metales libres de

polímeros pueden ser separados y reciclados, los gases pueden ser fuentes de energía y los líquidos tienen un uso potencial, como la energía o productos químicos.

De la literatura revisada se puede concluir que mayoritariamente éstas dan cuenta de que la pirólisis y copirólisis son tecnologías probadas en la recuperación y reciclaje a nivel experimental, piloto e industrial. La recuperación de energía conlleva a la minimización de los efectos ambientales que provocan el almacenamiento y/o manejo de este tipo de residuos. Además, existe un potencial económico poco explorado en lo que respecta a la recuperación y utilización de los neumáticos usados.

2.4 TECNOLOGÍAS Y PROCESOS DISPONIBLES PARA LA RECUPERACIÓN Y/O RECICLAJE DE ACEITES LUBRICANTES USADOS

El tratamiento de los aceites usados, cuyo poder calorífico bordea las 8.000 Kcal/Nm³, es diferente en cada país de la Unión Europea. Esto, debido al distinto nivel de conocimientos sobre aceites, siendo el país que más utiliza incineración con recuperación energética Irlanda, y en el último lugar Italia, sin embargo es el más avanzado en la técnica de regeneración, a la par de Alemania.

En los últimos años ha habido un retroceso notable en el empleo de la regeneración, aunque en algunos países hay proyectos emergentes como en Francia, Alemania, Italia, España. Hay 400 re-refinerías en todo el mundo con una capacidad de 1.800 kt/año, la mayoría están situadas en el este Asiático, y utilizan un tratamiento ácido/arcilla (Montes., 2003).

Los principales procesos y técnicas disponibles para la recuperación de aceites son, según Montes (2003), se detallan a continuación.

2.4.1 Re-Refinado de Aceites Usados

La regeneración de aceites usados es la operación mediante la cual se obtienen de los aceites usados un nuevo aceite base comercializable.

Como el aceite usado sigue siendo en esencia un conjunto de hidrocarburos con una serie de agentes contaminantes, se podrá volver a refinar y obtener un aceite base de igual o superior calidad que la del aceite virgen procedente del refinado original.

Los aceites lubricantes son los componentes más valiosos de petróleo crudo. Aceites lubricantes base es posible encontrar en el crudo, con valores entre el 12-16%. Esto se compara con un 70-75% de aceite lubricante de base que se encuentran en los aceites lubricantes usados en los vehículos de combustión interna. Se ha establecido que la re-refinación del aceite lubricante usado, es una clara posibilidad de recuperar una gran cantidad de aceites usados, ofreciendo así una importante oportunidad para adecuada utilización de la energía.

De acuerdo a lo señalado por Hamad *et al.*, (2005), los aceites lubricantes usados son productos derivados de la utilización del petróleo en los vehículos y maquinarias. Si el aceite lubricante usado se recicla adecuadamente, puede contribuir a preservar nuestros valiosos recursos, así como reducir su impacto ambiental. En este sentido, Rincón *et al.*, (2006), indican que grandes y crecientes volúmenes de aceites lubricantes se producen cada año y que después de su uso, se consideran residuos peligrosos debido a su alto contenido de contaminantes. Sin embargo, el aceite lubricante usado todavía contiene una gran proporción de aceite de base valioso, que puede ser utilizado en la formulación de nuevos lubricantes.

2.4.2 Combustión-Incineración

Los procesos de combustión/incineración se dan como uso de combustible alternativo (recuperación energética), en instalaciones de alta potencia térmica, alta temperatura y alto consumo de combustible. También se utilizan como uso de combustible homologado, en instalaciones de menor potencia térmica, en uso de motores de combustión interna y calderas para producción de energías eléctricas. Las principales ventajas que presentan los aceites lubricantes usados, al ser utilizados como combustibles alternativos, destacan su menor contenido en Carbono, Azufre y sedimentos.

2.4.3 Destilación/Tratamiento Químico o Extracción por Solvente

Esta tecnología permite procesar aceites usados produciendo aceites de baja calidad, que se pueden utilizar como aceites industriales o combustible industrial. Los contaminantes, tales como suciedad, plomo, arsénico y otros metales y productos químicos ambientalmente dañinos, son removidos del aceite usado.

La tecnología se basa en un método propano-básico de extracción por solvente, que retira los contaminantes del aceite usado. El proceso de la extracción ocurre en condiciones ambientales que hacen posible la eliminación de la fracción de residuos de carbón y la corrosión que acompaña los procesos de destilación usados tradicionalmente.

Existen técnicas de recuperación de aceites lubricantes que son de carácter químico. Farhat *et al.*, (1995), hacen mención a tres técnicas probadas denominadas *Meinken*, *Mohawk* y *KTI*. El proceso *Meinken* consiste en un proceso químico de pretratamiento donde el aceite previamente filtrado, es tratado con ácido sulfúrico (96%) y posteriormente desde la solución ácida se extraen los aceites de interés. En el caso de la técnica *Mohawk*, consta de tres etapas: a) se extrae el agua de la materia de base, b) la segunda etapa del proceso es la destilación de ciertos hidrocarburos dando por resultado un subproducto comercial del combustible y c) la última etapa de este proceso es la evaporación, desde donde se separa un subproducto residual. Este residuo se utiliza en la industria del asfalto. La etapa de proceso final es hidráulica, un tratamiento que da lugar a un volumen reducido de aceite de alta calidad. La técnica *KTI* consiste en un proceso de destilación que separa el agua y la gasolina. El paso siguiente es la hidrogenización del aceite lubricante.

Hamad *et al.*, (2005), se centran en un estudio donde utilizan disolventes de extracción para tratar aceites lubricantes usados. Los disolventes usados son derivados del gas licuado de petróleo. Además, se usó demulsificante para mejorar el proceso. Con el uso de disolventes, es posible reducir el contenido de asfaltenos del aceite lubricante usado a 0,106% (w/w), el contenido de cenizas a 0,108%, y el residuo de carbono a 0,315%, con niveles muy bajos de metales contaminantes. Otro estudio importante de destacar, es el realizado por Rincón *et al.*, (2005), quienes utilizaron etano líquido como solvente para la recuperación de aceites lubricantes usados.

2.4.4 Proceso Térmico Desasfaltante

El aceite deshidratado se destila en dos o tres fracciones en una columna de destilación de vacío y en el mismo tiempo, un residuo asfáltico con buenas características elastoméricas se separa y permanecen en el fondo de la columna. El aceite deshidratado que viene de una unidad de *Preflash* se envía a un tanque intermedio. En este tanque es donde se separan los materiales que pueden provocar suciedad, permaneciendo un tiempo de residencia suficiente para la reacción aditiva con el aceite usado. Del fondo del tanque se extrae el precipitado y se envía, a través de una bomba, al almacén. Esta separación evita ensuciar la sección siguiente de la planta (horno y columna de la destilación). La superficie libre es aspirada a través de un equipo flotador que se enviará al horno de proceso donde el aceite alcanza la temperatura de aproximadamente 350°C. De la línea de transferencia, la carga llega al área de destello de la columna donde, a través de un sistema particular, el compuesto asfáltico es separado por los vapores. Los metales, las impurezas y las sustancias asfálticas presentes en el aceite permanecen en el fondo de la columna y en el mismo tiempo se fraccionan tres diversos cortes del lubricante de variada viscosidad que, enviada a los separadores, se separan y se refrescan posteriormente en los refrigeradores del aire.

2.4.5 Hidrotratamiento

Los productos intermedios que vienen del aceite lubricante usado, se blanquean a través del contacto con hidrógeno y un catalizador. Este paso reduce o quita los metales y los metaloides restantes, el carbón, los ácidos orgánicos, y los compuestos que contienen el cloro, el sulfuro y el nitrógeno. Se restaura la estabilidad del color, los compuestos aromáticos poli nucleares se reducen, mientras que el índice de la viscosidad igualan o mejoran sustancialmente (Montes., 2003).

2.5 PIRÓLISIS Y COPIRÓLISIS EN LA RECUPERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE ACEITES LUBRICANTES USADOS

Desde el punto de vista ambiental, la importancia de profundizar en el conocimiento de nuevas tecnologías de recuperación y reciclaje de aceites lubricantes, contribuye directamente en el bienestar ambiental del planeta. Por ejemplo, cerca de 80 millones de galones de lubricantes de automotores se venden en Arabia Saudita. Mucho de estos aceites están contribuyendo realmente a contaminación creciente de la tierra debido a indiscriminadas descargas al medio ambiente. Cualquier esquema del uso secundario del los aceites de lubricante residuales, contribuye a la conservación de los recursos energéticos y a la protección del medio ambiente (Hamad *et al.*, 2005).

Contribuciones detalladas en los trabajos realizados por Ucar *et al.*, (2005) y Qu *et al.*, (2006), señalan que los procesos de recuperación de energía a partir de neumáticos usados y su mezclado con aceites residuales en lo que se denomina Copirólisis, son altamente eficientes en comparación a una pirólisis de neumáticos. Destaca el hecho de que ambos autores hayan obtenido resultados similares de recuperación de aceites operando bajo temperaturas de procesos distintas. En el caso de Ucar *et al.*, (2005), el estudio consideró neumáticos de automóviles y neumáticos para camiones con aceites lubricantes residuales, los cuales fueron copirólizados en un reactor de lecho fijo a temperaturas de 550, 650 y 800°C en atmósfera de nitrógeno. Resalta el hecho, de que un aumento en la temperatura no tuvo ningún efecto sobre la distribución de productos de la copirólisis y la composición de los aceites. Sin embargo, se evidenciaron diferencias en la distribución y composición de los aceites copirólizados según el tipo de neumático que se utilizaron. La copirólisis de neumáticos de automóviles y aceites lubricantes residuales, produjo menos cantidad de líquido y más cantidad de residuos sólidos en comparación con la copirólisis de neumáticos de camiones y aceites lubricantes residuales. Sin embargo, el contenido de gasoil y de hidrocarburos aromáticos policíclicos en el aceite de copirólisis de neumáticos de automóviles y aceites lubricantes residuales se encontró en mayor cantidad que en la copirólisis de neumáticos de camiones y aceites lubricantes residuales. A su vez, la cantidad de

hidrocarburos aromáticos en los aceites copirólizados resultó ser menor que la de neumáticos de desecho derivados de los aceites.

Por su parte Qu *et al.*, (2006), realizan una copirólisis catalítica de neumáticos usados con zeolita ZSM-5 y aceite lubricante a una temperatura constante de 430 °C en atmósfera de nitrógeno. En comparación con la pirólisis sin aceites lubricantes, el rendimiento líquido aumentó de 33,6% a 48,0%, mientras que disminuyeron las cantidades del gas y de la fase sólida. Estos resultados sugieren que los efectos del catalizador en el aumento de la pirólisis de neumáticos, se debe a la interacción de los neumáticos y la zeolita ZSM-5 sumado al aceite lubricante. Por lo tanto, es posible mejorar el proceso de recuperación de energía mediante la copirólisis, con la obtención de productos derivados del petróleo de alta calidad.

Una experiencia importante de mencionar es la indicada por Bhaskar *et al.*, (2003), que utilizó el tratamiento térmico y catalítico para la recuperación de aceites lubricantes usados. La acción de los catalizadores con sustancias de aluminio silicatos y de óxidos de fierro fue considerada en la experiencia, logrando reducir de manera significativa los niveles de sulfuros presentes en los aceites residuales. El tratamiento termal y catalítico del aceite lubricante usado, con las sustancias aluminio silicatos y de óxidos de fierro fueron realizadas en 400° C a presión atmosférica. El catalizador Fe/SiO₂ disminuyó el contenido del sulfuro a partir de 1.640 a 90 ppm.

La revisión realizada por Conesa *et al.*, (2004), profundiza aspectos referidos a la descomposición térmica a través de la pirólisis de neumáticos usados en un medio líquido de aceites lubricantes usados a escala experimental y piloto. Las pruebas a escala piloto se realizaron en un reactor por calentamiento de un lote de 300 g de aceite lubricante usado hasta los 350° C. En este punto, una carga de 10 g de neumáticos usados se añadió y se mantuvo la temperatura en 350° C por un tiempo de 10 minutos. Tras el enfriamiento del reactor, se constató la pérdida de peso durante el proceso que alcanzó al 5%. Se encontraron algunos trozos de neumáticos no del todo descompuestos. Se realizaron otras pruebas con la misma cantidad de neumáticos adicionando aceites lubricantes usados al reactor, pero con un tiempo de residencia de 1 minuto. En este caso, los neumáticos resultaron estar mucho mejor disueltos. El producto resultante es

más oscuro y más fluido. La pérdida de peso es algo mayor (alrededor de 10%), pero bastante inferior a las obtenidas en el horno (tal vez porque el horno de laboratorio dio más energía para la muestra que el reactor de la planta piloto).

Resumiendo las temáticas analizadas en la revisión de la literatura, se demuestra claramente la existencia en países desarrollados de tecnologías para procesar y recuperar energía a partir de neumáticos y aceites lubricantes usados. No obstante lo anterior, en Latinoamérica y en Chile no fue posible determinar a éste nivel, su uso o implementación. Quizás una de las causas que determinan esta condición esté relacionada con los volúmenes generados de éstos residuos o tal vez con la disponibilidad cierta de espacios geográficos que permiten una disposición no compleja. Otra variable a considerar es la carencia de incentivos tributarios por parte de los Estados para reducir éstos pasivos ambientales y aspectos relacionados con legislaciones ambientales aun en desarrollo.

Cabe destacar, que en su mayoría la literatura está referida a estudios relacionados con residuos del tipo automotriz convencional y no ha algunos específicos como podrían ser los residuos industriales y mineros de gran importancia para países como Chile. Lo anterior, hace necesario profundizar en éstas temáticas escasamente exploradas, en atención al incremento sostenido de volúmenes de neumáticos y aceites residuales derivado del mayor desarrollo económico de países emergentes.

2.6 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE PROCESOS

Los procesos de combustión, pirolisis y copirólisis, se han desarrollado exitosamente en Europa, USA y Asia, como alternativas de procesos a escala experimental, piloto y comercial (industrial), que permiten la recuperación de energía a partir de neumáticos y aceites lubricantes usados. Ejemplos sobre el particular, están ampliamente detalladas en las contribuciones realizadas por: Carrasco y Roy, (1991); Sharma *et al.*, (2000); Pickering., (2006); Corti y Lombardi., (2004); Ferrer., (1996); Takeshi *et al.*, (1999); Miranda *et al.*, (2006); Mastral *et al.*, (2002); Ucar *et al.*, (2005); Leung *et.al.*, (2002); Murillo *et al.*, (2005); Ko *et al.*, (2004); Berrueco *et al.*, (2004) ;

Chang., (1996); De Marco *et al.*, (2007, 2008); Xiao *et al.*, (2009); Conesa *et al.*, (2004); Qu *et al.*, (2006); Arabiourrutia *et al.*, (2010); Hamad *et al.*, (2005) y Bhaskar *et al.*, (2003).

A escala experimental destacan los trabajos desarrollados por Leung *et al.*, (2002). Los autores desarrollaron un reactor tubular que fue instalado dentro de un horno para llevar a cabo la pirólisis de polvo de neumáticos, el cual pudo proporcionar velocidades de calentamiento de hasta 1.200 °C/min.

Durante la pirólisis, la temperatura del horno se calienta en primer lugar a un valor preestablecido, a continuación, el reactor se purga con nitrógeno durante unos 30 minutos a un caudal de 0,12 Nm³/h. Cuando el contenido de oxígeno en el purgado de gas es inferior al 0,1% y la temperatura llegó al valor preestablecido, el flujo de nitrógeno se detuvo. Muestras de polvo de neumáticos, contenidas en una red especialmente diseñada de placa de acero, fue empujado con rapidez en la zona caliente del horno. Los gases empezaron a evolucionar a partir de la muestra y fueron recogidos por un tubo en forma de U. Cuando la cantidad de gas en el tubo se convirtió en constante, las dos válvulas de control de flujo se cerraron de manera simultánea. Parámetros como la temperatura y presión fueron transmitidos a un ordenador a través de sensores para grabación y el gas producido se recogió a través de un sistema de recogida de gas. El promedio de velocidad de calentamiento fue 1.200 °C/min, que es mucho más alta que la de un típico análisis termogravimétrico. Diferentes tiempos de residencia en fase gaseosa pueden ser obtenidos por la composición de los diferentes conjuntos de hornos tubulares. Tres tubos de reacción con diferentes longitudes, representan tres veces de residencia en fase gaseosa. Las temperaturas pueden ser ajustadas independientemente para cada horno tubular. Los gases producidos fueron recolectados a través de una jeringa de gas y analizados fuera de línea. Después de la pirólisis, el carbón sólido residual fue removido y pesado. El peso del líquido recogido fue determinado por diferencia restando el peso del gas y el de la muestra de polvo de neumático. Cabe señalar, que hay un corto período de precalentamiento antes de que la muestra alcance la temperatura, por lo tanto, parte de los gases pueden ser producido cuando la temperatura aumenta.

La tasa de pirólisis de polvo de neumático aumenta conforme la temperatura se incrementa en el rango de los 500-1.000 °C. El rendimiento del producto gaseoso aumenta del 5% al 23% (peso) dentro del rango de temperatura estudiada, alcanzando el máximo valor a los 900 °C. La temperatura alta y/o el tiempo de residencia del polvo de neumático aumentan el volumen de gas, debido a más grietas en el producto gaseoso, sin embargo da lugar a una disminución en el valor calorífico del producto gaseoso. Así es que tanto la temperatura y el tiempo de residencia en fase gaseosa, son controladas con el fin de optimizar la producción de gas. Los gases derivados de la pirólisis de polvo de neumáticos contienen H₂, CO, CO₂, H₂S e hidrocarburos como el CH₄, C₂H₄, C₂H₆, C₃H₆, C₃H₈, C₄H₈ y C₄H₆ con un poco de otros gases de hidrocarburos. Su valor calórico se sitúa en el rango de 20 a 37 MJ/Nm³. Máximo valor calórico se logra a una temperatura entre 700 y 800 °C. La relación del producto de distribución de gas, líquido (alquitrán) y sólido (carbón) es de 21:44:35 a 800 °C. La adición al proceso de dolomita y piedra caliza tienen repercusiones importantes sobre el producto. Con el uso de dolomita y piedra caliza, el producto de distribución es aproximadamente de un 38% de gas, un 28% de líquido (alquitrán) y un 34% de sólido (carbón) a una temperatura de 900 °C. Además, producto del uso de la dolomita, la pirólisis de polvo de neumáticos produce gases de buena calidad junto con el aceite y el carbón, todos los cuales son de alto valor comercial. Sin embargo, los resultados indicaron que para la obtención eficiente de alta energía, no solo se debe considerar la recuperación de gas como único objetivo. Por lo tanto, es altamente recomendable el multiuso de los productos de la pirólisis.

Otra experiencia que da cuenta del uso del proceso de pirolisis a nivel experimental y piloto, es la realizada por Mastral *et al.*, (2002). Los autores utilizaron el caucho de neumáticos usados suministrados por la empresa AMSA (empresa de reciclaje Española) reducida a tamaño de partícula de 0,9 mm. El hilo de acero y los textiles habían sido previamente eliminados. El análisis proximal (humedad: 0,94%; cenizas: 3,83%; materiales volátiles: 67,30%; carbono fijo: 31,14%) muestra el bajo contenido de cenizas y materia volátil de éste tipo de material (caucho). A nivel experimental y a escala piloto se desarrolló la pirólisis para obtener aceite, utilizando como materia prima

caucho de neumáticos. Para tal efecto, se diseñó un reactor de barrido de lecho fijo. El diámetro interno del reactor fue de 14,2 mm con una longitud total de 285 mm y fue calentado por un horno eléctrico externo. La zona caliente estaba en medio del reactor y se dejaron 6 g de caucho (0,9 mm de tamaño de partículas). El reactor fue conectado a la red de gas (nitrógeno), a un condensador refrigerado por hielo y un pequeño vaso cilíndrico llena de anillos de cerámica donde los aceites van a ser recogidos, y finalmente a la salida de gas.

La muestra de neumáticos ha sido cargada en el reactor, y después de la presurización y pruebas para detectar fugas, el caudal de gas necesario (2 l/min STP) se estableció utilizando un controlador de flujo másico. La presión de nitrógeno para las pruebas realizadas fue de 2,5 MPa. La muestra fue calentada a la temperatura deseada (450 – 950 °C) a tasa de calentamiento constante de 25 °C/min. Después de enfriar y desconectar el sistema, el condensador se pesó para calcular el rendimiento de los aceites. Los aceites fueron recuperados en tetrahidrofurano (THF) y se almacenaron en frascos pequeños en una atmósfera inerte. Los residuos sólidos, insoluble en THF, se pesaron y se almacenaron.

Los principales resultados obtenidos en la pirólisis de neumáticos en términos de temperatura de reacción (450, 500, 550, 650, 750, 850 y 950 °C), evidenciaron que en cuanto a conversión total, ésta permanece constante a cualquier temperatura. Es decir la despolimerización de los neumáticos es completa independientemente de la temperatura dentro del rango estudiado. El resto de material no convertido, estuvo principalmente compuesto por carbono (presente en negro original de neumáticos, que no pueden ser degradados a esas condiciones de funcionamiento) y materia mineral. Sin embargo, se observó que la distribución del producto es ligeramente dependiente de la temperatura de reacción, observando un mayor rendimiento de aceite a bajas temperaturas que a altas temperaturas. Los experimentos se realizaron a 750 °C y con un caudal constante de 2 l/h (STP). Se observó una rápida reacción en 15 min. El rendimiento de los aceites sigue siendo constante para todo el intervalo de tiempo estudiado. El análisis final de los aceites derivados de los neumáticos, permiten inferir que no existen diferencias significativas entre los aceites obtenidos a temperaturas bajas y altas. Por lo tanto, a

partir de este trabajo experimental, se podría concluir que la pirólisis de neumáticos debe llevarse a cabo en condiciones de temperatura moderada (450 °C), ya que con temperaturas más altas no hacen aumentar la conversión total y no mejoran la distribución del producto. Por otra parte, el mayor rendimiento de aceite se obtiene a 450 °C y de esta manera, se logra la máxima recuperación de hidrógeno (81,8% del hidrógeno presente en los neumáticos en desuso).

Una planta experimental de pirólisis a escala piloto, se ha instalado en el centro de investigación *ENEA, Trisaia, Italia*. Esta planta cuenta con: un sistema de suministro de materiales, el reactor de pirolisis, un sistema de condensación de vapor y análisis de efluentes de gases, por último un sistema de adquisición de datos.

La unidad de pirolisis, consiste en un reactor del tipo de horno rotativo, 110 dm³ en volumen y 0,4 m de diámetro. Se calienta el borde exterior de la cámara del reactor, a través de un sistema eléctrico. El Pirolizador opera bajo una presión positiva de nitrógeno (300 mm w.c.). Las fugas de aire a través del sistema son despreciables. El transporte del material granular puede ser asistido por la inclinación del eje de rotación del horno, de modo que al final la carga sea mayor que el extremo de descarga. La alimentación de los materiales a través del reactor es continuo, la velocidad máxima de alimentación 48 kg/h. El residuo sólido de la pirólisis (carbón) es continua y descargadas en un tanque de refrigeración. Los productos gaseosos, formados durante la pirólisis, pasan a través de un depurador que elimina los alquitranes y los gases se enfrían a unos 250° C.

A escala piloto, también se han realizado pruebas en un reactor por calentamiento de un lote de 300 g de aceite lubricante usado hasta los 350° C. En este punto, una carga de 10 g de neumáticos usados se añadió y se mantuvo la temperatura en 350° C por un tiempo de 10 minutos. Tras el enfriamiento del reactor, se constató que la pérdida de peso durante el proceso fue del 5%. Se encontraron algunos trozos de neumáticos no del todo descompuestos. Se realizaron otras pruebas con la misma cantidad de neumáticos adicionando aceites lubricantes usados al reactor, pero con un tiempo de residencia de 1 hora. En este caso, los neumáticos resultaron estar mucho mejor disueltos. El producto resultante es más oscuro y más fluido. La pérdida de peso es algo mayor (alrededor de

10%), pero bastante inferior a las obtenidas en el laboratorio horno (tal vez porque el horno de laboratorio dio más energía para la muestra que el reactor de la planta piloto).

A escala industrial, es posible hacer referencia a algunos de los procesos comerciales más importantes de pirólisis de neumáticos, destacándose uno de los de mayor capacidad como el de la Compañía japonesa Onamaha (40.000 t/año) y la compañía americana Carbón Oil (20.000 t/año). Los procesos operan a presión atmosférica o con una ligera sobrepresión (la evacuación de los gases formados se realiza por circulación de un gas inerte) (Carrasco y Roy., 1991).

El Pirolizador, desarrollado en la *AEA Technology's Harwell Laboratory* para *Hebert Beven & Company*, posee una capacidad de hasta 1.000 ton/año. Un mayor rendimiento del proceso se obtiene al operar por lotes, lo cual se logra mediante la ejecución de varias unidades en paralelo. En este caso, un lote de una tonelada de neumáticos enteros o triturados se carga en un crisol que se baja en el recipiente de reacción. En el horno hermético se produce la reacción, sometiendo los neumáticos a temperaturas de 450 – 600° C durante 10 horas. El vapor pasa a través de un condensador para dar combustible líquido y con las fracciones de gas resultante, se puede alimentar una caldera para ayudar a calentar el horno. El residuo que queda en el crisol se compone de chatarra de acero, con un peso que representa el 17%, y el coque (aproximadamente el 40%).

El proceso de pirólisis de neumáticos de tipo industrial, con que cuenta la firma Wang kLAMLAM representante para América de la asociación técnica cooperativa EEC-A-Universidad de Tsinghua, China, en alianza con MC Engineering & Consulting (Miami Florida USA), es un claro ejemplo del nivel de especialización y desarrollo tecnológico que han alcanzado sus plantas industriales que procesan neumáticos usados (www.mcengcons.com).

A través de la avanzada tecnología de canalización por pirolisis a baja temperatura, el cual usa un catalizador para remover azufres a baja temperatura, lo que ayuda a lograr un excelente material de pirolisis a baja temperatura. La producción de crudo o combustible es alta (45 a 50%), la tasa de producción de gases es baja (2 a 4%), el contenido bituminoso y coloidal del crudo o combustible es bajo y la calidad de este

es muy buena. La pirolisis a baja temperatura evita el coque dentro del equipo y permite la producción de un excelente carbón negro.

La descripción del proceso de detalla a continuación.

a) Especificaciones de la línea de producción

La línea de reciclaje utiliza avanzada tecnología y maquinaria para transformar el caucho de los neumáticos en desuso en combustible, carbón negro y mínimas cantidades de gas no condensado utilizando la reacción pirolítica. El diseño de toda la tecnología y los equipos son altamente especializados, lo que permite que toda la producción se realice en ambiente cerrado para evitar la contaminación ambiental.

La planta se puede dividir en seis secciones: fragmentación de neumáticos, sistema remoto de calentamiento de temperatura constante, sistema continuo de pirolisis, sistema de producción de carbón negro, sistema de lavado de gases y sistema de clarificación de gases.

Los neumáticos en desuso son fragmentados en trozos de 50X50 mm., los cuales son transportados de manera continúa al reactor de pirolisis donde un catalizador a baja temperatura remueve los azufres, utilizando un alimentador a presión normal y baja temperatura. Después de haber sido fragmentados y enfriados por la separación de aceite, en el escape se producirá una pequeña cantidad de aceite y de gas combustible. El gas combustible se pasa por el clarificador de gases y luego se recicla en el sistema de calentamiento por pirolisis. Después de la separación magnética, la salida de la pirolisis sólida será carbón negro el cual es enviado automáticamente al proceso de molido, reducción y empaque. El calor necesario para la reacción de pirolisis será suministrado por el sistema remoto de calentamiento a temperatura constante. Los gases producidos serán emitidos cumpliendo los estándares, al procesarlos en el sistema de clarificación de gases.

La planta automática de pirolisis presenta las siguientes características:

i.- El sistema de calentamiento a temperatura constante de líquidos no solamente suministra el calor dinámico, choque térmico, choque térmico del material homogéneo de pirolisis, ajuste y control preciso de temperatura, sino también logra restablecer y reciclar la eficiencia térmica, además de ahorrar energía.

ii.- La avanzada tecnología de canalización por pirolisis a baja temperatura, el cual usa catalizador para remover azufres a baja temperatura ayuda a lograr un excelente material de pirolisis a baja temperatura. La producción de crudo o combustible es alta (45 a 50%), la rata de producción de gases es baja (2 a 4%), el contenido bituminoso y coloidal del crudo o combustible es bajo y la calidad de este es muy buena. La pirolisis a baja temperatura evita el coque dentro del equipo y permite la producción de un excelente carbón negro.

iii.- Debido a que la temperatura de la pirolisis es inferior a la temperatura de operación de los equipos y el choque térmico es homogéneo, el desempeño de seguridad y la vida de los equipos son notoriamente buenos.

iv.- La producción es continua y automática, el desempeño de los equipos es estable y la tasa de producción es alta.

v.- Los gases de escape son reciclados en el sistema de calentamiento después de pasar por el sistema de lavado de los mismos.

vi.- La temperatura y el volumen de los gases del sistema de clarificación de gases puede ser ajustado y controlado automáticamente. El gas absorbente tiene gran capacidad de absorción y otras características como tasa de absorción, tasa de separación, fácil regeneración y la habilidad de eliminar todos los contaminantes en el gas como H_2S , Cl_2 , CO , CO_2 , SO_2 , NO_x , CS_2 , NH_3 , aceite, otros compuestos orgánicos y partículas sólidas. Por esto, los parámetros de emisión cumplen con todos los estándares de cualquier país industrializado.

Esta línea automática de reciclaje de neumáticos en desuso utilizando el proceso de pirolisis, con la característica de ser un proceso continuo, de alto grado de automatización, altamente productiva y eficiente, excelente desempeño en cuanto a seguridad y beneficios sociales y económicos, puede ser ampliamente utilizada en la industria de la valoración energética de los neumáticos en desuso.

b) Perfil técnico

Después de fragmentar los neumáticos en desuso hasta obtener trozos de 50X50 mm. (para garantizar una apropiada reacción de pirolisis), son transportados al reactor de pirolisis con el catalizador de baja temperatura para remover los azufres, utilizando un

alimentador automático de sello caliente. El líquido caliente será continuamente bombeado por la bomba de alta temperatura al reactor de pirolisis, para circular el calor por el material. El material tendrá una temperatura constante, la cual se determina previamente. A partir de la reacción completa y como consecuencia de ella se obtienen los siguientes componentes:

- C, es carbón negro.
- $H_2+CH_4+C_2H_4+C_2H_6+C_3H_8+C_3H_6+C_4H_8+C_4H_{10}$ es el gas no condensado.
- C_5H_{10} — $C_{12}H_{24}$ son los componentes livianos del crudo.
- $C_{12}H_{26}$ — $C_{20}H_{42}$ son los componentes diesel.
- $C_{20}H_{42}$ es el componente pesado (en la segunda pirolisis será el componente de carbón liviano).

Después de enfriar el crudo, se obtiene un combustible liviano, diesel y gas no condensable. El gas no condensable se envía al sistema de lavado de gases y luego será transferido al horno para quemarlo y de esa manera los gases de escape cumplirán con todos los estándares de emisión.

El producto de la reacción de pirolisis corresponde a carbón negro crudo, el cual se convertirá en carbón negro refinado después de la separación magnética, molienda ultra fina, reducción y empaque de producto final.

c) Requerimientos básicos para la planta de producción

i.- La planta de fragmentación y carbón negro necesita una bodega de mínimo 45 metros de largo X 25 metros de ancho X 5.5 metros de altura.

ii.- La planta de pirolisis necesita una bodega de mínimo 45 metros de largo X 25 metros de ancho X 5.5 metros de altura.

iii.- Para el almacenamiento de los neumáticos en desuso, se determina el espacio dependiendo de sus necesidades.

iv.- El piso de las bodegas debe ser de concreto reforzado para poder soportar el peso de la maquinaria.

d) Calidad del producto y estándar de emisión de gases

i.- La calidad del combustible cumple con el FUEL OIL # 4 de crudo liviano según la norma SH/T0356-1996.

ii.- El carbón negro cumple física y mecánicamente con las exigencias de la norma N330 o N660 de carbón negro utilizado en el caucho GB3778-2003.

iii.- Las emisiones probadas por SGS cumple con la norma GB13271-2001 para emisiones de calderas.

En consideración a los antecedentes observados anteriormente, es posible advertir que la pirólisis y copirólisis resultan ser las alternativas técnicas y de procesos más idóneas para la recuperación energética a partir neumáticos y lubricantes usados.

2.7 CARACTERIZACIÓN Y MANEJO AMBIENTAL DE NEUMÁTICOS FUERA DE CARRETERA EN LA INDUSTRIA MINERA DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA

A nivel país, según el Informe final “Generación y Gestión de Residuos Sólidos” del Consejo Minero en el año 2007, se generaron 3.827 toneladas al año de neumáticos de equipo mineros a nivel país.

En Chile, desde hace más de una década, el manejo de estos residuos ha estado presente como una preocupación en los distintos sectores sociales, aunque sin soluciones efectivas. La complejidad del tema, expresada en múltiples dimensiones, nos enfrenta hoy a patrones de producción y consumo que tienden privilegiar la generación cada vez mayor de residuos sólidos.

2.7.1 Identificación de las Fuentes Generadoras de Neumáticos de los Camiones Fuera de Carretera en la Industria Minera

Las principales fuentes generadoras de neumáticos del tipo fuera de carretera (corresponden a los neumáticos usados por los camiones de la industria minera), se concentran en su mayoría en la gran minería. En la Región de Antofagasta, las Compañías de la Gran Minería asociadas al Consejo Minero son: Barrick Zaldívar, Minera Spence BHP Chile Inc., Codelco Chile, Yamana Gold (El Peñón),

AngloAmerican (Mantos Blancos S.A), Antofagasta Minerals (Minera Esperanza, Minera El Tesoro y Minera Michilla), Minera Escondida Ltda., Sociedad Contractual Minera El Abra, Xstrata Cooper.

2.7.2 Caracterización de los Neumáticos fuera de Carretera de la industria Minera

Se refieren a los neumáticos utilizados por los camiones y maquinaria de la industria de la gran minería del norte de Chile. En su mayoría son neumáticos radiales, los cuales están equipados con neumáticos convencionales.

Un neumático de construcción radial, tiene una carcasa delgada compuesta de una sola capa de acero orientada radialmente que es encerrada por varios cinturones (hasta siete) de banda de rodado de acero alineados circunferencialmente. Debido a que la carcasa es mucho más delgada, a diferencia de una carcasa de neumático convencional (compuesta por muchas capas de nylon entrelazadas), se requiere sólo un cable de talón de acero para fijar el neumático a la llanta, sin embargo, este cable es más grueso que los cables de talón individuales encontrados en los neumáticos convencionales del mismo tamaño (posee tres o cuatro cables de talón de acero para fijar la gruesa carcasa plegada de nylon a la llanta). Actualmente, las medidas más usadas en la industria minera consideran neumáticos con aros desde 33x13 a 63x44 pulgadas (Minera Escondida Ltda., 2003 y CODELCO., 2006).

En cuanto al material de construcción, el caucho (material natural) es el componente principal de un neumático.

En la actualidad, la tendencia del mercado es la utilización de neumáticos radiales fabricados con caucho y acero, en una relación promedio aproximada caucho/acero de 80/20.

Cabe indicar, que los neumáticos utilizados en minería son construidos con caucho y telas de acero para que éstos puedan soportar cargas, resistir el corte, la abrasión y el efecto del agua.

A modo de referencia, los neumáticos radiales usados en los camiones de arrastre de pesan aproximadamente desde 3,5 a 5,5 toneladas métricas.

La vida útil promedio de los neumáticos de alto tonelaje es 4.500 horas, aproximadamente 75.000 km. Al respecto, el término de la vida útil de un neumático de un camión del tipo fuera de carretera, se logra cuando este obtiene un desgaste de goma de banda de rodado igual o superior al 75% (goma remanente igual o menor a 25%) (Minera Escondida Ltda., 2003 y CODELCO., 2006).

2.7.3 Manejo Ambiental de los Neumáticos

Los neumáticos usados de equipos mineros generados por la industria minera en general, son transportados desde los talleres hacia algún “patio de disposición” o “botadero”.

Los neumáticos usados se disponen en filas perpendiculares o paralelos al avance del botadero. Cada fila cuenta con una disposición estándar que considera 2 neumáticos de ancho por 30 a 40 neumáticos de largo y 3 neumáticos de altura, constituyendo grupos de aproximadamente 240 a 320 neumáticos.

Cada grupo de neumáticos está separado de los grupos cercanos por una distancia de por lo menos 8 metros. Este espacio cumple dos funciones: a) permitir acceso fácil para un manipulador de neumáticos, cuando ello se requiera, y b) evitar la transferencia entre grupos de cualquier incendio que podría ocurrir antes de que los neumáticos se cubran con material estéril (Minera Escondida Ltda., 2003).

El sistema de disposición confinada de neumáticos en depósitos de lastre o material estéril, puede comprender dos formas complementarias de disposición, una de confinamiento sin recuperación de neumáticos y otra de confinamiento con posibilidad de recuperación. En el caso de confinamiento sin recuperación, los neumáticos se depositan en plataformas intermedias de los botaderos y quedan cubiertos por los propios depósitos de lastre. En cambio, en la alternativa con recuperación, los neumáticos se disponen en las plataformas de coronamiento de los depósitos que se encuentren en fase terminal, cubriendo los neumáticos con una capa menor de material estéril, suficiente para confinarlos completamente y no permitir una combustión accidental, pero que, en caso de contar a futuro con una alternativa de reciclaje de neumáticos, permitirá descubrirlos y recuperarlos para su aprovechamiento. De las dos

formas de confinamiento de neumáticos, se privilegia la alternativa de confinamiento con recuperación. No obstante, ella está supeditada a que se cuente con espacio disponible en explanadas de plataformas de depósitos que se encuentren en fase terminal. La disposición de neumáticos con posibilidad de recuperación es una alternativa más amigable con el medio ambiente, ya que permite, a futuro, retirar el material estéril usado como cobertura y recuperar los neumáticos. Ello es posible, en la medida que surjan formas más eficientes de eliminación o reciclaje (CODELCO., 2006).

2.7.4 Aspectos legales

Los neumáticos usados en camiones fuera de carretera son clasificados como residuos industriales sólidos no peligrosos, ya que resultan de procesos industriales y porque sus características físicas, químicas o microbiológicas no se asimilan a los residuos domésticos (D.S. N°594/1999 del Ministerio de Salud).

En el ámbito del manejo ambiental de estos residuos, las empresas del rubro minero están obligadas de someter a evaluación ambiental, a través del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), los proyectos que hacen referencia a sistemas de disposición y/o confinación de neumáticos en los recintos mineros. Al respecto, se establece en el Artículo 10 de la Ley N° 19.300/1994 sobre Bases Generales del Medio Ambiente y sus modificaciones (Ley N° 20.417/2010 que crea la nueva Institucionalidad Ambiental) y en el Artículo 3 del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (D.S. N° 95/2001 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia), que ésta tipología de proyectos o actividades son susceptibles de causar impacto ambiental, en cualquiera de sus fases y que por ende están obligadas a someterse al SEIA en forma previa a su ejecución. En lo específico, el Reglamento del SEIA en su Artículo 3 letra o), indica como tales a los “proyectos de saneamiento ambiental, tales como sistemas de alcantarillado y agua potable, plantas de tratamiento de aguas o de residuos sólidos de origen domiciliario, rellenos sanitarios, emisarios submarinos, sistemas de tratamiento y *disposición de residuos industriales* líquidos o *sólidos*”. Por consiguiente, nuestra legislación ambiental recoge desde la perspectiva de la disposición temporal y/o final de

los neumáticos usados de los camiones fuera de carretera, en la industria minera (MINSEGPRES., 2001 y 2010).

2.8 CARACTERIZACIÓN Y MANEJO AMBIENTAL DE LOS ACEITES LUBRICANTES USADOS EN LA INDUSTRIA MINERA DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA

El crecimiento industrial en Chile ha producido un aumento en la cantidad de aceites utilizados para distintos propósitos, principalmente como lubricantes para la mantención de equipos fijos y partes móviles.

Como consecuencia de su utilización los aceites se degradan perdiendo las cualidades que les hacían útiles y acumulan gran cantidad de sustancias contaminantes, haciendo necesaria su sustitución por otros nuevos, generándose así un residuo.

Los aceites usados son de difícil degradación y debido a su composición de carácter peligroso se deben manejar y eliminar según establece la reglamentación sanitaria vigente en esta materia. Mediante un sistema integrado de gestión de aceites usados se minimizan los riesgos para la salud pública, se evita la contaminación del medio ambiente y preservar los recursos naturales (CONAMA y GTZ., 2007).

2.8.1 Identificación de las fuentes Generadoras de Aceites Lubricantes Usados en la Industria Minera de la Región de Antofagasta

En Chile se comercializan anualmente sobre 130.300 m³ de aceites, de los cuales un 60% corresponden al consumo del parque vehicular, 32% a aceites industriales, 4% a grasas y 4% al área marina (aceites para motores).

Los principales consumidores de aceites usados y eventualmente los principales generadores de aceites usados, lo constituyen las empresas de transporte terrestre, la minería, la construcción, la industria extractiva de la pesca, y otras industrias tales como la industria manufacturera, de alimentos y bebidas, forestales y textiles entre otras, las estaciones de servicio y garajes en general.

La participación en la industria minera de manera directa llega al 22%, esto sin considerar la gama de servicios de apoyo a la actividad minera cuyo aporte es significativo, como lo es por ejemplo el transporte (CONAMA y GTZ., 2007).

En la región de Antofagasta, las principales fuentes generadoras de aceites lubricantes, están relacionadas con las empresas de la Gran Minería, las cuales se indican a continuación: Barrick Chile, Minera Spence BHP Chile Inc., Codelco Chile, Yamana Gold, AngloAmerican (Mantos Blancos S.A), Antofagasta Minerals (Minera Esperanza, Minera El Tesoro y Minera Michilla), Minera Escondida Ltda., Sociedad Contractual Minera El Abra, Xstrata Cooper.

2.8.2 Caracterización de los Aceites Lubricantes Usados en la Industria Minera

Los aceites están constituidos por una base, la cual provee las características lubricantes primarias, y los aditivos utilizados para aumentar su rendimiento, eficiencia y vida útil. Según el origen del aceite, la base puede ser mineral (proveniente del petróleo crudo) o sintética (síntesis a partir de productos químicos).

Las bases minerales son refinadas del crudo del petróleo, sus características están determinadas por la fuente del crudo y el proceso específico de refinación usado. Estas bases están formadas por una gran variedad de compuestos orgánicos, siendo la gran mayoría hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs). Según la naturaleza del crudo de petróleo, se dividen en Parafínicos, Nafténicos y Aromáticos, siendo el comportamiento de la viscosidad ante el aumento de la temperatura más estable para los Parafínicos que para los Nafténicos.

Las bases sintéticas son fabricadas por procesos especiales (distintos a la refinación) y están formados por componentes de bajo peso molecular, los cuales por reacción química se transforman en fluidos de más alto peso molecular. Las principales son: Ésteres Carboxílicos, Ésteres de Polio, PoliAlfaOlefinas (PAOs), Polialquilenglicoles, Ésteres del Ácido Fosfórico, Polímeros de Silicona, Polímeros Fluorados o Clorados (CONAMA y GTZ., 2007).

Las principales ventajas del uso de bases sintéticas comparadas con las bases minerales son: amplio rango de temperaturas de operación, mayor resistencia a la

oxidación, ahorro de energía, mantenimiento con menor frecuencia, menor uso de aditivos y más fácil degradación.

Actualmente, los aceites usados en Chile se someten a distintos procesos de eliminación en instalaciones autorizadas por la Autoridad Sanitaria (SEREMI de Salud), destinadas a la recuperación de recursos, como re-refinación y valorización energética (combustible alternativo, fabricación de explosivos).

2.8.3 Manejo Ambiental de los Aceites Lubricantes Usados

Algunos compuestos orgánicos presentes en las bases de los aceites vírgenes (HAPs), los aditivos que contienen y los contaminantes que acumulan durante su uso, hacen que estos residuos contengan sustancias perjudiciales para el medio ambiente.

En cuanto a los efectos más significativos sobre el medio ambiente, se pueden indicar claramente tres matrices ambientales, que como resultado del vertido y/o manejo de los aceites usados se ven seriamente impactados, a saber: aire, agua y suelo.

En el aire, la eliminación mediante combustión incontrolada origina graves problemas de contaminación atmosférica producida por gases de combustión tóxicos proveniente de compuestos de cloro, fósforo y azufre, y por productos de la combustión incompleta de compuestos orgánicos presentes en los aceites usados.

En el agua, los aceites usados generan finas partículas impermeables en la superficie de los cursos de agua y debido a su insolubilidad impiden el paso de oxígeno a través de ella, produciendo la muerte de organismos que la pueblan. Además de tener efectos tóxicos diversos para organismos de agua dulce y marinos, este tipo de contaminación puede inutilizar cursos de agua utilizados como fuentes de agua potable.

Los efectos nocivos producidos sobre el recurso suelo, están básicamente dados por la presencia de hidrocarburos saturados no biodegradables que componen el aceite usado. Estos en contacto con el suelo destruyen el humus vegetal y por lo tanto la fertilidad del suelo. Como efecto sinérgico se genera la contaminación de aguas superficiales y subterráneas.

Con relación a las principales medidas de manejo ambiental, tendientes a evitar las implicancias ambientales señaladas anteriormente, se recomienda un control

exhaustivo sobre las existencias de los aceites usados. Este control debe incluir un mínimo de datos (tipo de aceite, cantidad, fecha de ingreso e identificación de las máquinas o equipos de procedencia) y establecer procedimientos de manejo.

2.8.4 Aspectos Legales

Los contaminantes presentes en los aceites usados acumulados durante su vida útil, los compuestos orgánicos presentes en la base de los aceites y los aditivos utilizados tanto en los aceites minerales como sintéticos, hacen que los aceites usados se caractericen como residuos peligrosos, según el Artículo 18 del Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos (D.S. N° 148/03 del Ministerio de Salud). En tal sentido, el citado cuerpo normativo se hace cargo en esencia de la gestión integral del manejo de los aceites usados, desde su generación hasta su eliminación. Además, contribuye al fomento de buenas prácticas de tipo ambiental tendientes a evitar y reducir al mínimo posible la producción de aceites residuales (CONAMA y GTZ., 2007).

La Autoridad Sanitaria, SEREMI de Salud, es la encargada de fiscalizar y controlar el cumplimiento de las disposiciones legales establecidas en el Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos (D.S. N° 148/03 del Ministerio de Salud) (MINSAL., 2003).

Desde la perspectiva de la legislación ambiental vigente en Chile, se puede señalar que toda actividad o proyecto que esté orientado de manera habitual a la producción, almacenamiento, transporte, disposición o reutilización de sustancias tóxicas, explosivas, radiactivas, inflamables, corrosivas o reactivas deberá ser sometido a evaluación ambiental a través del Sistema de Evaluación de Impacto ambiental. Lo anterior, en conformidad con lo dispuesto en el Art. 10, letra ñ de la Ley N° 19.300/1994 sobre Bases Generales del Medio Ambiente y sus modificaciones (Ley N° 20.417/2010 que crea la nueva Institucionalidad Ambiental) y en el Artículo 3, letra ñ del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (D.S. N° 95/2001 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia). En lo específico, de acuerdo a lo establecido por los literales ñ.1. y ñ.4. del Reglamento antes citado, los proyectos o actividades son entendidas como habituales cuando se trate de:

- ñ.1 Producción, almacenamiento, disposición, reutilización o transporte por medios terrestres, de sustancias tóxicas que se realice durante un semestre o más, en una cantidad igual o superior a doscientos kilogramos mensuales (200 kg/mes), entendiéndose por tales a las sustancias señaladas en la Clase 6.1 de la NCh 382.Of89.
- ñ.2 Producción, almacenamiento, disposición, reutilización o transporte por medios terrestres, de sustancias inflamables que se realice durante un semestre o más, y con una periodicidad mensual o mayor, en una cantidad igual o superior a ochenta mil kilogramos diarios (80.000 kg/día), entendiéndose por tales a las sustancias señaladas en las Clases 3 y 4 de la NCh 2120/Of89.

La vinculación existente entre la normativa ambiental vigente antes detallada y las particularidades del aceite lubricante usado, está dada por sus características de peligrosidad y que están definidas por la Norma Chilena NCh 2190 Of.93. El aceite usado es un residuo tóxico crónico y en algunos casos inflamables. (Número de las Naciones Unidas: NU 3082). En esta misma línea, el Artículo 89 del Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos (D.S. N° 148/03 del Ministerio de Salud), señala que los aceites usados pueden presentar la característica de toxicidad crónica.

En consecuencia, los aceites lubricantes usados se enmarcan dentro de lo establecido en los literales ñ.1. y ñ.4. del Artículo 3 del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (D.S. N° 95/2001 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia), por lo tanto cualquier actividad o proyecto que se pretenda ejecutar en los términos indicados por el presente cuerpo normativo, deberá ser sometido previo a su ejecución a evaluación ambiental, según lo dispuesto en nuestra legislación ambiental vigente (MINSEGPRES., 2001).

2.9 ENCUESTAS.

Se la puede considerar una metodología a medio camino entre el rigor de los diseños experimentales y la flexibilidad de los diseños observacionales. Esta posición intermedia hace del diseño de investigación por encuesta, un procedimiento con características peculiares. El control del estudio es fundamentalmente estadístico y no hay posibilidad de acomodar la realidad estudiada a un sistema experimental de control de variables. Este tipo de diseño de investigación propio de lo no experimental, es una alternativa para acceder a conocimiento profundo y subjetivo y permite conocer los “por qué” de los hechos, rescatando opiniones, intereses y actitudes de los sujetos.

La base del proceso de encuesta recae en los instrumentos para recolectar la información de nuestro interés.

Dos son las modalidades más habituales de instrumentos de encuesta: El cuestionario y la entrevista. Para ambos es necesario seguir una serie de pautas de construcción que no sólo garanticen su validez y confiabilidad, sino también su aplicabilidad y adecuación formal. En atención a los alcances del presente estudio, nos centraremos en relevar la modalidad cuestionario (Cáceres., 2005).

Con el cuestionario, se pretende conocer lo que hacen, sienten, opinan o piensan los encuestados mediante preguntas realizadas por escrito y que pueden ser respondidas sin presencia del encuestador.

El trabajo más relevante en su construcción tiene relación con la delimitación del campo de indagación, la selección de las variables a estudiar, la identificación de las propiedades de las variables y la deducción de indicadores que den fiel cuenta de lo que se pretende consultar. Las preguntas que se redacten deben estar basadas en los indicadores atinentes a lo que se pretende medir. La elaboración del cuestionario requiere las siguientes especificaciones:

- a) Siempre se consultan elementos de identificación.
- b) Seleccionar el tipo de preguntas más adecuado.
- c) En cuanto al orden de las preguntas y su disposición en el cuestionario.

- d) El número de preguntas debe ser racional, lo ideal es que sean no más de 35 a 40 como máximo y que en total la aplicación del cuestionario no lleve más de media hora.
- e) Redacción de las preguntas (deben ser lo más claras y sencillas posibles, estando adecuadamente adaptadas al público para el cual van dirigidas).
- f) Determinar los aspectos formales (color, tipo de impresión, tamaño y tipo de letra).
- g) Redactar los escritos que deben acompañar al cuestionario, solicitando respetuosamente la colaboración del encuestado, ofreciendo devolución de información (si corresponde) y agradeciendo la participación.

Los cuestionarios se pueden entregar directamente o por correo, pero siempre es mejor un trato personalizado porque de este modo se le puede dar un énfasis mayor a la importancia de responderlo adecuadamente, además nuestra presencia puede ayudar a generar algún grado de compromiso con la tarea. El correo es más expedito, pero más impersonal.

Si se hace entrega del cuestionario para que encuestado lo responda sin nuestra presencia de por medio, conviene seguir algunas recomendaciones que ayuden a asegurar una mayor tasa de respuesta. En primer lugar, se debe destacar en la presentación la utilidad social de la investigación, importancia de la respuesta personal y de la persona encuestada, en segundo lugar, incluir un membrete de la institución que realiza o respalda la investigación, con firma y fecha del responsable de la institución, en tercer lugar, hay que facilitar la devolución de modo confidencial por lo que conviene proveer al encuestado de un sobre con sello, donde éste pueda insertar el cuestionario una vez respondido, y en cuarto lugar, hacer algún llamado de recordatorio para que el sujeto recuerde rellenar y devolver el instrumento.

Los análisis y las conclusiones que se obtengan, han de estar directamente asociadas con los objetivos trazados en el estudio. No es necesario ni recomendable hacer más análisis de los que cabría esperar (Cáceres., 2005).

CAPITULO 3 METODOLOGÍA

3.1 SISTEMATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para el logro del primer y segundo objetivo específico propuesto, se llevó a cabo una exhaustiva revisión bibliográfica, la cual se centró en publicaciones especializadas y otras fuentes de información debidamente validadas, tales como estudios técnicos e informes sectoriales.

La búsqueda de información especializada, consideró la revisión de literatura en el ámbito de las tecnologías y procesos disponibles a nivel internacional, para el aprovechamiento energético utilizando como materias primas neumáticos y aceites lubricantes usados. Las principales publicaciones y experiencias sobre la materia, están presentes en los países desarrollados de Norteamérica, Europa y Asia.

Otras de las fuentes válidas de información utilizadas en el presente estudio, fueron los estudios técnicos e informes sectoriales que en este último tiempo se han generado en el país. Aquí, es posible destacar la información disponible en los distintos Estudios de Impacto Ambiental y/o Declaraciones de Impacto Ambiental, que son sometidos a evaluación ambiental en Chile, por parte de las empresas mineras de la Región de Antofagasta.

A nivel regional, la industria minera desde los comienzos del año 2000 ha venido presentado a consideración ambiental diferentes iniciativas de inversiones destinadas al adecuado manejo ambiental de los neumáticos usados de los camiones del tipo fuera de carretera y los aceites lubricantes usados.

Con la información recabada desde los estudios antes señalados, fue posible obtener referencias cualitativas y cuantitativas respecto de las cantidades de neumáticos fuera de carreteras en desuso y de los volúmenes de aceites lubricantes usados, en la industria minera de la Región de Antofagasta.

La información sectorial utilizada en el presente estudio, correspondió principalmente a informes técnicos disponibles en las reparticiones públicas, tales como el Ministerio de Salud y el Ministerio del Medio Ambiente.

3.2 APLICACIÓN METODOLÓGICA

3.2.1 Elaboración de Encuesta Técnica

Una de las actividades centrales para lograr el cumplimiento del tercer y cuarto objetivo específico, fue la elaboración de una encuesta técnica que pudiese ser respondida por las principales empresas mineras de la Región de Antofagasta. El propósito central fue la obtención de información de primera fuente, relacionada con las cantidades, sistemas de almacenamiento, manejo ambiental, destino y alternativas de aprovechamiento de los neumáticos fuera de carretera en desuso y de los aceites lubricantes usados en la industria de la gran minería, en la Región de Antofagasta.

En la elaboración y diseño de la encuesta técnica, se utilizaron las recomendaciones técnicas establecidas por Cáceres (2005). En tal sentido, los aspectos más relevantes sobre el particular fueron detallados en el punto 2.9 del presente estudio.

La encuesta técnica que fue presentada a consideración de las empresas mineras, se detalla a continuación:

UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL NORTE
PROGRAMA DE MAGÍSTER EN APLICACIONES DE INGENIERÍA
AMBIENTAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

“APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS TERMODEGRADABLES DE LA
INDUSTRIA MINERA DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE:
VIABILIDAD TÉCNICA”



RESUMEN

En la actualidad, existe un conocimiento dentro del rubro industrial minero respecto del problema que significa el almacenamiento y manejo de los residuos de neumáticos y aceites residuales, desde el punto de vista de costos asociados directamente a la disposición. Para el caso de los neumáticos usados, si la disposición no es la adecuada es factible que se produzcan accidentes por fenómenos de deslizamientos de los terraplenes que sustentan su disposición. Otro riesgo, son los potenciales incendios que podrían ocupar vastas extensiones con emisión de contaminantes atmosféricos por largos períodos que no sólo afectaría a las personas que trabajan en dichos ambientes, sino que además es probable que se vieran directamente afectados los procesos productivos de las compañías.

Por su parte, los aceites lubricantes usados son subproductos del uso del aceite en vehículos y maquinaria, y deben ser sustituidos regularmente para mantener el adecuado funcionamiento de los equipos. Sin el acceso a un tratamiento conveniente, el aceite usado puede ser dispuesto de manera que degrada el ambiente. El aceite usado se puede

descargar de manera ilegal en canales y/o directamente en terrenos, donde se puede generar contaminación de las aguas subterráneas.

La idea de diversificar la matriz energética con el aporte de energías alternativas a las actualmente en uso, como lo son el petróleo, gas y carbón, toma gran relevancia debido a que está demostrado que su sustentabilidad es precaria.

El proyecto “**APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS TERMODEGRADABLES DE LA INDUSTRIA MINERA DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE: VIABILIDAD TÉCNICA**”, considera los siguientes objetivos:

Objetivo General

Evaluar la viabilidad técnica del aprovechamiento de neumáticos y aceites lubricantes usados, como fuente energética.

Objetivos Específicos

- Realizar un estudio del estado del arte de la viabilidad técnica, para el aprovechamiento de neumáticos y aceites lubricantes usados, como generadores de fuentes energéticas.
- Evaluar alternativas de procesos para el aprovechamiento de neumáticos y aceites lubricantes usados.
- Evaluar la situación actual respecto de la localización, disposición, cantidad y/o volúmenes, manejo ambiental y alternativas de aprovechamiento de los neumáticos usados de los camiones fuera de carretera y aceites lubricantes usados, por parte de la industria minera en la Región de Antofagasta.
- Elaborar cartografías ambientales temáticas que permitan visualizar espacialmente la localización, disposición, cantidad y/o volúmenes, manejo ambiental y alternativas de aprovechamiento de los neumáticos usados de los camiones fuera de carretera y aceites lubricantes usados, por parte de la industria minera en la Región de Antofagasta.

Desde ya agradecemos su valioso aporte:

Ricardo Ortiz Arellano. Email: rortiz@ucn.cl

Tesista: “**Magíster en Aplicaciones de Ingeniería Ambiental**”

Universidad Católica del Norte. Agosto del año 2010.

ENCUESTA

NOMBRE Y CARGO ENCUESTADO:

FECHA:

Preguntas y/o consultas: Residuos Neumáticos usados

- ¿Cuál es la cantidad y/o volumen de neumáticos (utilizados para los “Camiones fuera de carretera”) que su empresa genera anualmente como material dado de baja? (neumáticos que ya no tienen otro uso más que pasar a ser residuos).

- ¿Qué destino dan Uds. a los neumáticos dados de baja (neumáticos que ya no tienen otro uso más que pasar a ser residuos)?

- Se venden regularmente

- Se venden ocasionalmente

- Los almacenamos

- Los disponemos en un lugar especialmente preparado para que permanezcan allí todo el tiempo que sea necesario.

- Otro destino; especificar:

- En el caso que los neumáticos retirados de uso se almacenen o dispongan, ya sea dentro de los recintos de su empresa o en un lugar externo: ¿Cuál es el stock de neumáticos que actualmente Uds. tienen en términos de cantidad de unidades y volumen?

- En su opinión, para su empresa, las exigencias asociadas al manejo de neumáticos son un requerimiento que a mediano plazo (3-5 años):

- No presentará cambios

- Se hará más crítico

- Dejará de ser un problema

- ¿Cuál es el costo estimado derivado del manejo ambiental de éstos residuos?

- 0-US\$ 100.000/año

- US\$ 100.000 – 200.000/año

- > US\$ 200.000/año.

- ¿Cuál es la tasa de crecimiento por año en la cantidad de neumáticos a dar de baja (neumáticos que ya no tienen otro uso más que pasar a ser residuos) que se generarán en su empresa para los próximos años?

- ¿Se interesaría su empresa en hacer un convenio de largo plazo con una pequeña o mediana empresa que le retire regularmente los neumáticos dados de baja y pueda disponer de ellos libremente?

- Qué exigencias le pedirían a esa pyme?

- Un pago por cada unidad.

- Un compromiso para que en el manejo de las unidades, cumpla con la normativa ambiental

- Ningún requerimiento, ya que nos quitan un problema.

- ¿Han recibido hasta ahora alguna propuesta o petición para aprovechar los neumáticos dados de baja? (neumáticos que ya no tienen otro uso más que pasar a ser residuos).

- Sí, nuestra empresa tiene un proyecto.

- Sí, hay interés de empresas externas

- No, no conocemos ni tenemos conocimiento de iniciativas para aprovechar las unidades dadas de baja.

Preguntas y/o consultas: Residuos Aceites Lubricantes Usados

- ¿Cuál es la cantidad y/o volumen de aceites lubricantes usados genera su empresa anualmente como material de residuos?

- ¿Qué destino dan Uds. a los aceites lubricantes residuales?

- Se venden regularmente

- Se venden ocasionalmente

- Los almacenamos

- Los disponemos en un lugar especialmente preparado para que permanezcan allí todo el tiempo que sea necesario.

- Otro destino; especificar:

- En el caso que los aceites lubricantes residuales se almacenen o dispongan, ya sea dentro de los recintos de su empresa o en un lugar externo: ¿Cuál es el stock de estos residuos que actualmente Uds. tienen en términos de cantidad de unidades y volumen?

- En su opinión, para su empresa, las exigencias asociadas al manejo de los aceites lubricantes residuales son un requerimiento que a mediano plazo (3-5 años):

- No presentará cambios
- Se hará más crítico
- Dejará de ser un problema

- ¿Cuál es el costo estimado derivado del manejo ambiental de éstos residuos?

- 0-US\$ 100.000/año
- US\$ 100.000 – 200.000/año
- > US\$ 200.000/año.

- ¿Cuál es la tasa de crecimiento por año, en la cantidad de aceites lubricantes residuales que se generarán en su empresa para los próximos años?

- ¿Se interesaría su empresa en hacer un convenio de largo plazo con una pequeña y mediana empresa que le retire regularmente los aceites lubricantes residuales y pueda disponer de ellos libremente?

- Qué exigencias le pedirían a esa pyme?

- Un pago por cada unidad.
- Un compromiso para que en el manejo de las unidades, cumpla con la normativa ambiental
- Ningún requerimiento, ya que nos quitan un problema.

- ¿Han recibido hasta ahora alguna propuesta o petición para aprovechar estos residuos?

- Sí, nuestra empresa tiene un proyecto.
- Sí, hay interés de empresas externas
- No, no conocemos ni tenemos conocimiento de iniciativas para

aprovechar los aceites lubricantes residuales.

3.2.2 Aplicación de la Encuesta Técnica

El envío de la encuesta (cuestionario) se realizó vía correo electrónico con fecha Lunes 09 de Agosto de 2010, siguiendo las recomendaciones técnicas establecidas por Cáceres (2005). Se estimó prudente un plazo de 30 días para la recepción de las respuestas y se estableció un listado de empresas representativas de la gran minería de la región de Antofagasta: Barrick Chile, Minera Spence BHP Chile Inc., Codelco Chile, Yamana Gold, AngloAmerican (Mantos Blancos S.A), Antofagasta Minerals (Minera Esperanza, Minera El Tesoro y Minera Michilla), Minera Escondida Ltda., Sociedad Contractual Minera El Abra, Xstrata Cooper, Sociedad Chilena del Litio (ver Tabla 1).

Tabla 1: Ubicación geográfica de las empresas de la gran minería de la Región de Antofagasta que formaron parte del presente estudio.

EMPRESAS MINERAS	Coordenadas UTM, Datum P'SAD 56 (Huso 19)	
	Norte	Este
Barrick Chile (Minera Zaldívar).	7.324.246 m.	493.656 m.
Minera Spence BHP Billiton Chile Inc.	7.477.396 m.	473.937 m.
Codelco Chile (Div. Codelco Norte).	7.533.258 m.	506.802 m.
Yamana Gold (El Peñón).	7.305.110 m.	450.841 m.
Anglo American (Mantos Blancos S.A).	7.409.530 m.	389.086 m.
Antofagasta Minerals (Minera Esperanza).	7.459.374 m.	492.774 m.
Antofagasta Minerals (Minera El Tesoro).	7.462.250 m.	492.250 m.
Antofagasta Minerals (Minera Michilla).	7.491.100 m.	378.500 m.
Minera Escondida Ltda.	7.320.207 m.	492.226 m.
Sociedad Contractual Minera El Abra.	7.574.700 m.	512.500 m.
Xstrata Cooper (Lomas Bayas).	7.408.900 m.	447.600 m.
Xstrata Cooper (Altonorte)	7.366.472 m.	366.200 m.
Sociedad Chilena El Litio.	7.389.000 m.	566.885 m.

Al término del plazo señalado precedentemente, de las 13 empresas a las cuales se les envió la encuesta, 8 respondieron satisfactoriamente a la totalidad de las preguntas contenidas en la encuesta. Lo anterior, correspondió a un 61,5% del total del universo previamente definido por el presente estudio.

3.2.3 Uso de Herramienta S.I.G.

Los Sistemas de Información Geográfica (S.I.G), son herramientas de gran utilidad y en los últimos años ampliamente reconocidas, para el apoyo en la toma de decisiones en el ámbito de las evaluaciones ambientales.

Básicamente son sistemas que permiten sistematizar y analizar información geográfica, permitiendo visualizar los datos obtenidos en un mapa. La manera en la que los S.I.G. integran la información, es a través de capas o coberturas de datos que se van superponiendo unas a otras, según la información que se requiera. De la combinación por superposición de estas informaciones se obtiene un mapa temático (representación gráfica de un tema específico, que es el producto final de un SIG).

En el presente estudio, se elaboraron representaciones cartográficas, considerando información base del Sistema de Información Geográfica (S.I.G.) con que cuentan diversos organismos públicos (Servicio Agrícola y Ganadero, Región de Antofagasta, SEREMI de Medio Ambiente Región de Antofagasta y la Corporación Nacional Forestal Región de Antofagasta). Sumada la información base a la obtenida a través de los datos recopilados de la aplicación de la encuesta técnica, de estudios técnicos especializados e información sectorial; se realizaron cartografías temáticas relacionadas con la localización, cantidades y/o volúmenes, disposición, manejo ambiental y alternativas de aprovechamiento de los residuos de neumáticos usados de los camiones fuera de carretera y aceites lubricantes residuales, por parte de la industria minera en la Región de Antofagasta.

La importancia de este tipo de análisis en el desarrollo del presente estudio (elaboración de cartografías temáticas), permitió colocar en perspectiva y relevar la ubicación espacial de las distintas empresas mineras generadoras y gestoras de éstos residuos, de la Región de Antofagasta. En tal sentido, la información obtenida resulta ser uno de los principales insumos o variables a considerar, para una posterior evaluación económica acerca de la factibilidad del aprovechamiento energético de los residuos industriales termodegradables que formaron parte del presente estudio.

CAPITULO 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 NEUMÁTICOS USADOS DEL TIPO “FUERA DE CARRETERA” EN LA GRAN MINERÍA DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA

Los gastos que deben realizar las grandes compañías mineras para mantener sus operaciones ascienden anualmente a US\$ 5.000 millones, y de este total, el monto destinado a la compra de bienes e insumos promedia alrededor de US\$ 1.240 millones (partes y piezas, insumos de planta y mina, reactivos, lubricantes, equipos, entre otros). Considerando la relevancia del mercado de bienes e insumos mineros, se estima que el aumento de producción, de las actuales 4,9 millones a 6,5 millones de toneladas de cobre generado el año 2010, implicó una mayor demanda por un valor promedio anual de cerca de US\$ 850 millones adicionales en el período 2007-2010 en algunos bienes e insumos analizados (COCHILCO., 2010).

Se proyectó para el año 2010, la importación de 7.128 unidades de neumáticos por un valor aproximado de US\$ 143 millones. Además, su consumo debería aumentar con la materialización de nuevos proyectos, los que requerirán más equipos, en especial camiones de transporte de mineral de gran tonelaje (camiones con neumáticos del tipo “fuera de carretera”).

Los principales países de origen de importación de neumáticos son España, Estados Unidos y Japón. La principal importación, corresponde a neumáticos del tipo de alto relieve para camiones del tipo fuera de carretera. Las marcas de neumáticos que más se importan corresponden a Michelin (España, E.E.U.U.), Bridgestone (Japón, E.E.U.U.) y Goodyear (Japón) (COCHILCO., 2010).

En el ANEXO 1, se pueden observar las cartografías ambientales temáticas que consolidan espacialmente toda la información recabada en el presente estudio, la cual se relaciona con la localización, cantidad y/o volúmenes, disposición, manejo ambiental y alternativas de aprovechamiento de los neumáticos usados de los camiones fuera de carretera, por parte de la industria minera en la Región de Antofagasta.

La información cartográfica referida a la ubicación espacial de las cantidades anuales generadas de neumáticos usados del tipo fuera de carretera, permite inferir que la Provincia de Antofagasta concentra el mayor número de empresas generadoras de éstos residuos termodegradables. En concordancia con lo anterior, de acuerdo a los datos recogidos en el presente estudio, se generan anualmente unas 3.229 unidades (73,75% a nivel regional), lo que correspondería a una masa estimada de 10.328 ton. Mientras que en la Provincia de El Loa, se generan unas 1.149 unidades (26,24% a nivel regional), lo que correspondería a una masa estimada de 3.678,8 ton. El principal generador correspondió a la Div. CODELCO Norte. En la Provincia de Tocopilla, no se identificaron empresas generadoras de neumáticos usados del tipo fuera de carretera.

En cuanto al destino de los neumáticos usados, la información cartográfica es clara en identificar que las empresas mineras optan en su mayoría por almacenarlos en un lugar especializado dentro de sus instalaciones.

El manejo ambiental de los neumáticos usados en función de la ubicación espacial de las empresas generadoras, no permiten hacer una diferenciación clara al respecto. Las empresas generadoras emplazadas en la Provincia de El Loa, así como las ubicadas en la Provincia de Antofagasta, manifiestan indistintamente que el manejo en un escenario de 3 a 5 años no presentará cambios respecto de la situación actual o bien se hará crítico. Respecto de las alternativas de aprovechamiento para los neumáticos usados, en la Provincia de Antofagasta sólo una empresa generadora indicó que empresas externas han manifestado interés en aprovechar los residuos. En la Provincia de El Loa, dos empresas generadoras también han manifestado que empresas externas se interesan por aprovechar los neumáticos usados que generan. Espacialmente se concentran en la Provincia de Antofagasta, las empresas generadoras que no cuentan o desconocen iniciativas para el aprovechamiento de los neumáticos usados dados de baja.

En síntesis, la información recabada y presentada en el ANEXO 1 podría contribuir de manera significativa en una etapa posterior al presente estudio y que se relaciona con la evaluación de la pre-factibilidad y factibilidad económica para el aprovechamiento de los neumáticos usados del tipo fuera de carretera, como fuente potencial de valorización energética en la Región de Antofagasta. Iniciativa, que se

encuentra en proceso de materialización a través de una tesis de M.A.I.A. (Magister en Aplicaciones de Ingeniería Ambiental, UCN), por parte del tesista Sr. Miguel Araviri Cárcamo.

4.1.1. Estimación de las Cantidades de Neumáticos Disponibles

La información recopilada mediante la aplicación de la encuesta técnica, en los términos señalados en el CAPITULO 3 (punto 3.2) del presente estudio, permitió la obtención de valiosa información, hasta ahora poco conocida y dispersa, respecto de las cantidades de neumáticos usados del tipo “fuera de carretera” en la industria minera de la Región de Antofagasta.

Existen variaciones importantes con relación a la cantidad de neumáticos generadas anualmente, según se desprende de los datos obtenidos en la encuesta. En tal sentido, la Cía. Minera Escondida Ltda., resulta ser la empresa con el mayor número de neumáticos generados anualmente, alcanzando las 960 unidades, mientras que el menor valor correspondió a la Sociedad Chilena del Litio con 10 unidades. Esta última empresa dedicada a la explotación de minerales no metálicos. Un caso particular y que llama la atención, es el valor entregado por Antofagasta Minerals (Minera Esperanza) con tan sólo 74 neumáticos anuales. Sin embargo, cabe señalar que la Compañía en cuestión al momento de responder la encuesta aún se encontraba en *prestripping* (proceso de extracción de toda roca estéril en la que no hay mineral), es decir en una fase previa a las actividades de operación. En total, la cantidad generada anualmente para todas las empresas que respondieron la encuesta, llegó la cifra de 2.903 unidades de neumáticos (ver Figura 1).

En términos porcentuales (ver Figura 2), el mayor aporte está dado por la Cía. Minera Escondida Ltda., alcanzando un 33% del total de neumáticos generados anualmente, seguido por Yamana Gold (El Peñón) con un 30% y Antofagasta Minerals (Minera Michilla), con un 26%.

Otro aspecto muy relevante al que fue posible acceder gracias al presente estudio, fue conocer las cantidades de neumáticos usados en stock o disponibles en las diferentes instalaciones de las empresas mineras. Al respecto, destaca el stock acumulado por la

Cía. Minera Escondida Ltda., quienes hacen una estimación de 4.000 unidades. En total, de acuerdo a la información recabada se cuenta con 14.408 unidades disponibles en faenas mineras (ver Figura 3).

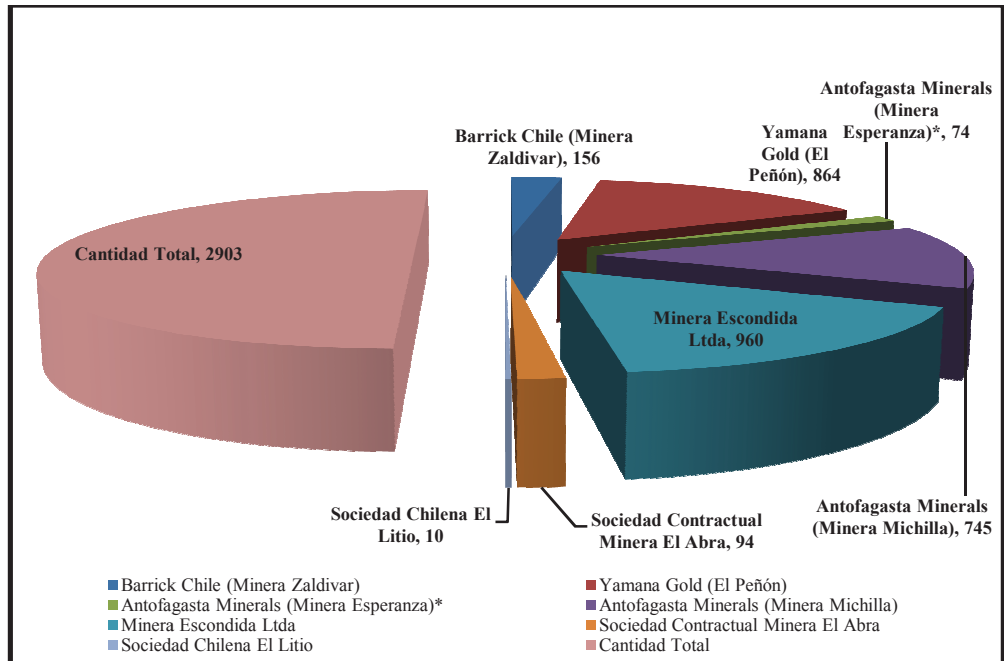


Figura 1. Cantidades anuales de neumáticos en desuso por parte de las empresas mineras de la Región de Antofagasta que respondieron la encuesta, año 2010.
 *: Al momento de responder la encuesta se encontraba en prestripping

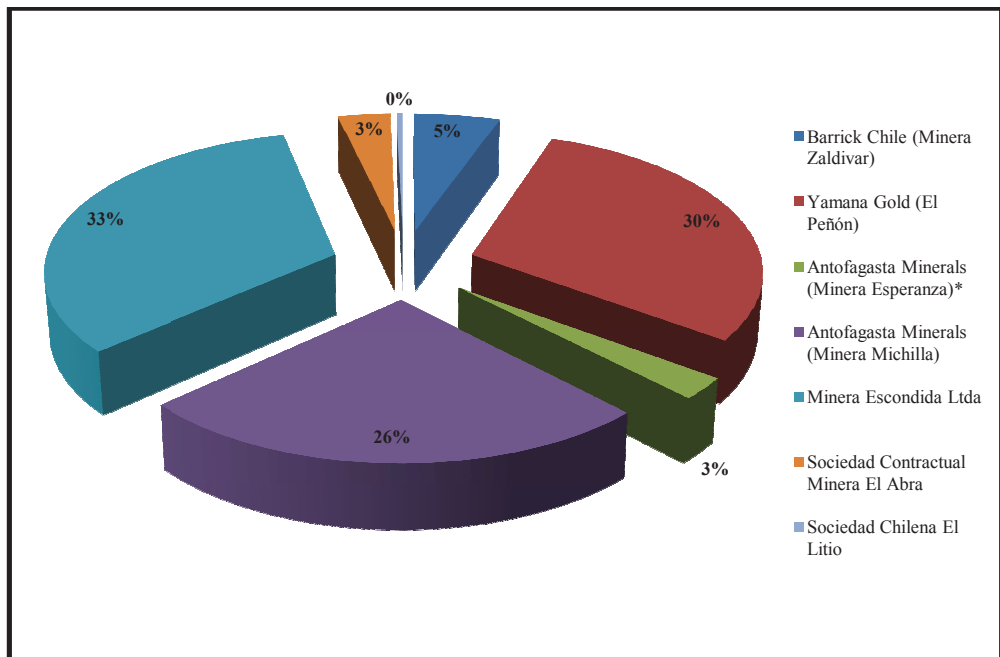


Figura 2. Porcentaje de neumáticos anuales en desuso, por parte de las empresas mineras de la Región de Antofagasta que respondieron la encuesta.

*: Al momento de responder la encuesta se encontraba en prestripping

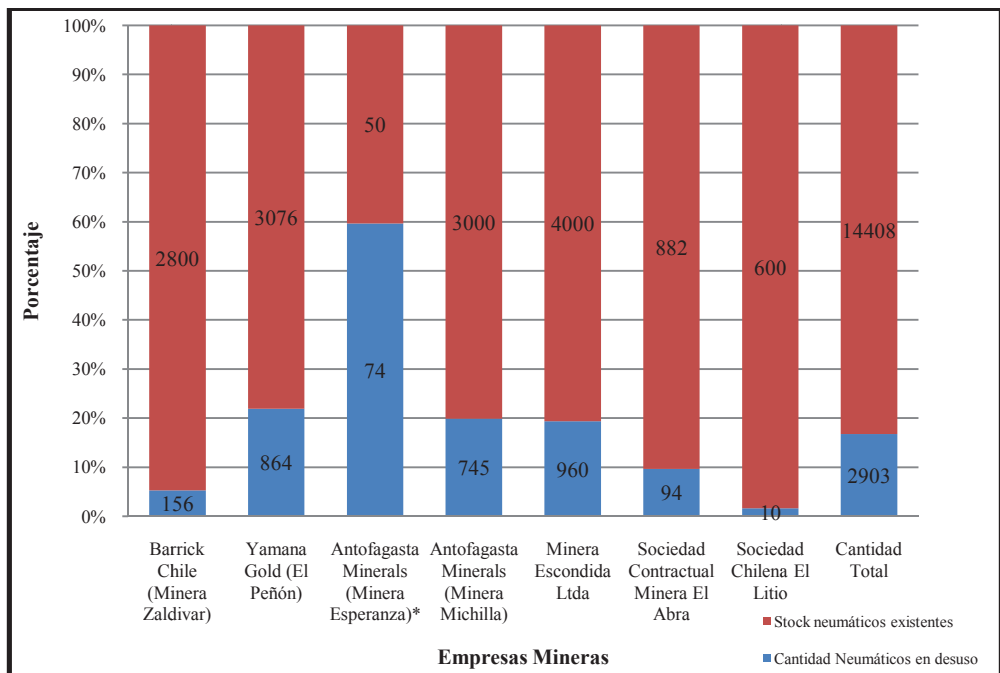


Figura 3. Relación porcentual entre las cantidades de neumáticos en desuso anual y su stock existente, por parte de las empresas mineras de la Región de Antofagasta que respondieron la encuesta.

*: Al momento de responder la encuesta se encontraba en prestripping

La información recogida a través de las encuestas, fue complementada con antecedentes de diferentes estudios e información ambiental disponible en la región, para las demás empresas mineras que formaron parte del presente estudio (CODELCO., 2006; Minera Spence., 2011; Minera Mantos Blancos S.A., 2006; Minera El Tesoro., 2006; Minera Lomas Bayas-Xstrata Cooper., 2006).

Es así, que fue posible tener una visión aún más completa de la realidad regional considerando ambas fuentes de información, en cuanto a las cantidades de neumáticos usados disponibles, lo cual se muestra con claridad en las Figuras 4 y 5. El consolidado da cuenta de la generación anual de 4.378 unidades de neumáticos usados, destacando en este sentido, el aporte de CODELCO Chile (Div. CODELCO Norte) con 1.045 unidades, lo que representó un 24% a nivel regional. Le sigue en importancia la Cía. Minera Escondida Ltda., con 960 unidades (22% a nivel regional) y Yamana Gold (El Peñón) con 864 unidades (17%).

Según información proporcionada por CODELCO Chile (Div. CODELCO Norte), para el año 2002 se contaba con un stock de neumáticos almacenados de 4.300 unidades, estimándose para el año 2010 un acumulado de aproximadamente 12.600 unidades (CODELCO., 2006). Sumado este importante aporte, a las 14.408 unidades en stock según los antecedentes proporcionados por la encuesta, la cifra total almacenada en la región llega a las 27.008 unidades de neumáticos usados del tipo “fuera de carretera”.

Si se considera en el análisis la estimación de masa disponible, teniendo en cuenta la composición de caucho de los neumáticos usados del tipo “fuera de carretera”, es posible colocar en perspectiva el potencial de valorización energética de estos residuos. Al respecto, de acuerdo a las características de los neumáticos descritas en el CAPÍTULO 2 (punto 2.7.2), el peso promedio de un neumático es de 4 ton. y una relación en cuanto a su composición caucho/acero de 80/20. Bajo este escenario, las 27.008 unidades almacenadas de neumáticos usados del “tipo fuera de carretera” en la región, equivalen a una masa estimada para valorización energética de 86.425,6 ton. Del mismo modo, si de acuerdo a los datos ya mencionados anteriormente se estimó una

generación anual de neumáticos usados de 4.378 unidades, se cuenta entonces con una masa disponible para valoración energética de 14.009, 6 ton. anuales.

El número de neumáticos usados aportados por CODELCO Chile (Div. CODELCO Norte), representa el más alto para la región, lo cual tiene directa relación con las distintas operaciones mineras con presencia regional y su nivel de producción alcanzado. Datos cifrados por COCHILCO (2010), sitúan para el año 2008 una producción total de cobre fino de 900 mil toneladas métricas.

Es igualmente destacable la contribución de Minera Escondida Ltda., ya que es en la actualidad la principal productora de cobre fino de las empresas privadas a nivel nacional. Para el año 2010, la producción de cobre fino alcanzó las 1.102.976 toneladas. En razón de lo anterior, es significativo el aporte en cuanto a la cantidad de neumáticos usados anualmente y en stock que maneja la Compañía en tan sólo una faena minera, a diferencia de la División CODELCO Norte que congrega varias faenas mineras (Div. Chuquicamata y Radomiro Tomic).

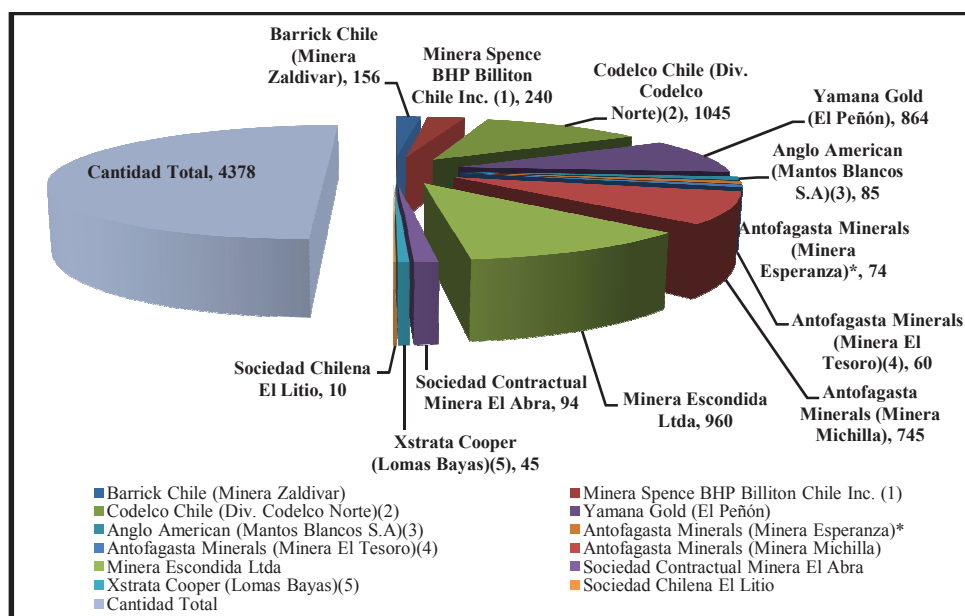


Figura 4. Cantidades anuales de neumáticos en desuso obtenidas por parte de las empresas mineras que respondieron la encuesta y de la información ambiental disponible de otras empresas mineras de la Región de Antofagasta.

*: Al momento de responder la encuesta se encontraba en prestripping

(1): MINERA SPENCE S.A", AÑO 2011; (2) CODELCO NORTE, AÑO 2006; (3) Minera Mantos Blancos S.A., AÑO 2006

(4) Minera El Tesoro., AÑO 2006; (5) Minera Lomas Bayas –Xstrata Cooper., AÑO 2006

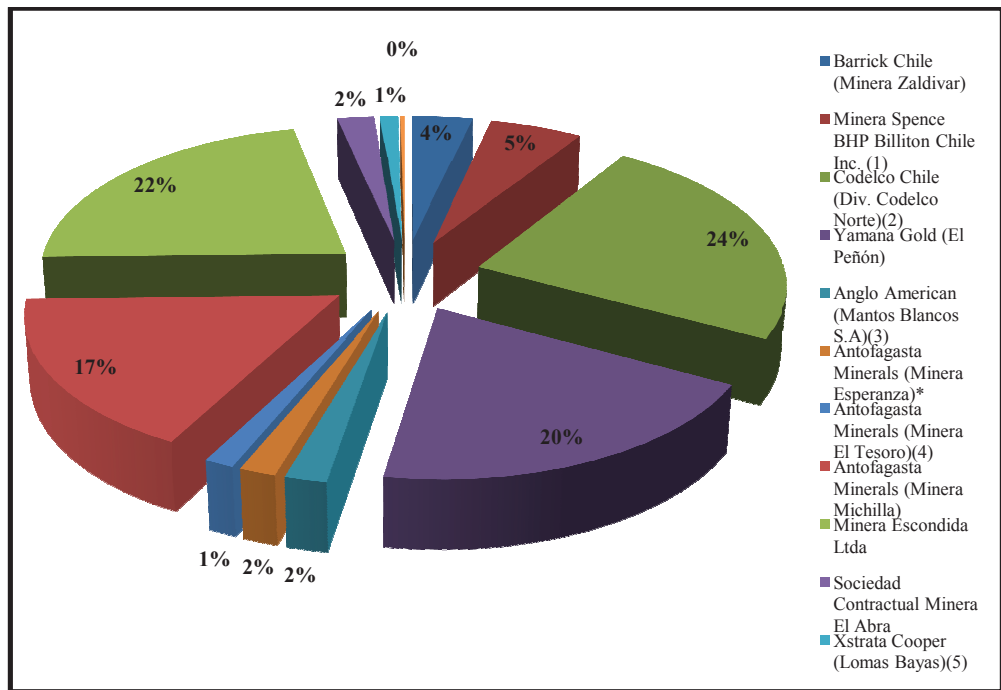


Figura 5. Relación porcentual de las cantidades de neumáticos en desuso, por parte de las empresas mineras que respondieron la encuesta y de la información ambiental disponible de otras empresas mineras de la Región de Antofagasta.

*: Al momento de responder la encuesta se encontraba en prestripping

(1): MINERA SPENCE S.A", AÑO 2011; (2) CODELCO NORTE, AÑO 2006; (3) Minera Mantos Blancos S.A., AÑO 2006

(4) Minera El Tesoro., AÑO 2006; (5) Minera Lomas Bayas –Xstrata Cooper., AÑO 2006

4.1.2 Almacenamiento y Disposición de los Neumáticos

Un aspecto interesante fue conocer cuál era el principal destino de los neumáticos ya cuantificados previamente, en las empresas mineras de la Región de Antofagasta.

Frente a la pregunta ¿Qué destino dan Uds. a los neumáticos dados de baja (neumáticos que ya no tienen otro uso más que pasar a ser residuos)?, las respuestas tienden a agruparse como se muestra en la figura 6.

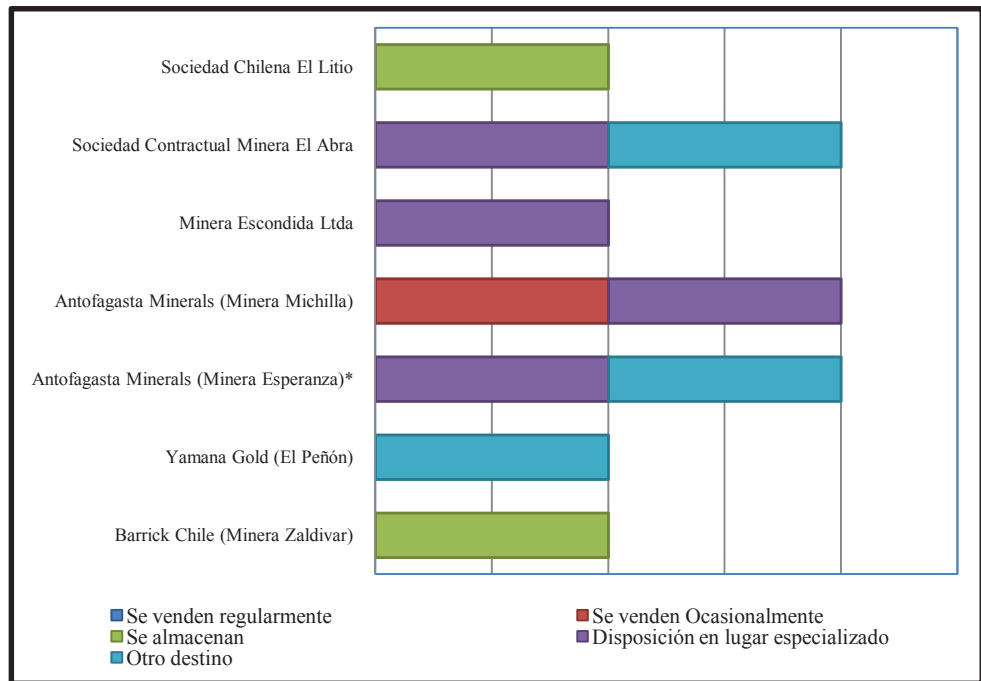


Figura 6. Destino de los neumáticos usados por parte de las empresas mineras que respondieron la encuesta en la Región de Antofagasta.

*: Al momento de responder la encuesta se encontraba en prestripping

Ninguna de las empresas encuestadas vende regularmente los neumáticos usados, sólo Antofagasta Minerals (Minera Michilla S.A.) vende parte de ellos de manera ocasional. La Sociedad Chilena del Litio, empresa del rubro de la minería no metálica almacena sus neumáticos usados en un patio de salvataje a la espera de su disposición final, el cual no fue especificado.

Por su parte, Minera Barrick Zaldívar, almacena sus neumáticos a la espera de encontrar una alternativa económica y ambientalmente adecuada para su eliminación, reciclaje u otra alternativa.

Yamana Gold (El Peñón), dispone temporalmente sus neumáticos usados en un patio de tránsito de residuos no peligrosos, hasta encontrar una disposición fuera de faena que de cumplimiento a la normativa ambiental vigente.

La mayoría de las empresas mineras encuestadas (el 57,1%), manifestaron que disponen sus neumáticos en un lugar especializado para tales efectos. Al respecto, Minera Escondida Ltda., señala que los neumáticos usados son dispuestos en un lugar especializado preparado para permanecer allí todo el tiempo que sea necesario. Para tal

efecto, cuentan con los permisos sanitarios y ambientales (Minera Escondida Ltda., 2003). Ésta empresa, implementó áreas y/o patios de disposición de neumáticos usados dentro del sector minero, ubicados en la proyección de los botaderos de estériles, los cuales son cubiertos con el material estéril depositado en dichos sectores, transformándolos así en áreas y/o patios de disposición permanente. Los neumáticos usados son dispuestos en filas perpendiculares al avance del botadero, sin embargo, se considera también su disposición en forma paralela al talud del botadero, para generar espacios entre neumáticos con material de relleno (Minera Escondida Ltda., 2003).

La Sociedad Contractual Minera El Abra, señala que parte de sus neumáticos son dispuestos en el área de almacenamiento especializado en el sector planta (patio de bodega). Sin embargo, otra parte son reutilizados en la construcción de bermas de seguridad.

Para Minera Esperanza (Antofagasta Minerals), el destino que le da a los neumáticos es el almacenamiento en un lugar preparado para la disposición transitoria de neumáticos denominado *CAEX*, el que está ubicado al interior del recinto industrial. Al igual que la Sociedad Contractual Minera El Abra, un porcentaje de los neumáticos se utiliza dentro de la mina para la delimitación de áreas.

La figura 7, muestra el destino de los neumáticos usados incluyendo en el análisis a las demás empresas mineras que forman parte del presente estudio, cuya información respecto al almacenamiento y disposición de los neumáticos usados en los recintos mineros, fue obtenida a través de informes ambientales disponibles en la región (CODELCO., 2006; Minera Spence., 2011; Minera Mantos Blancos S.A., 2006; Minera El Tesoro., 2006; Minera Lomas Bayas-Xstrata Cooper., 2006).

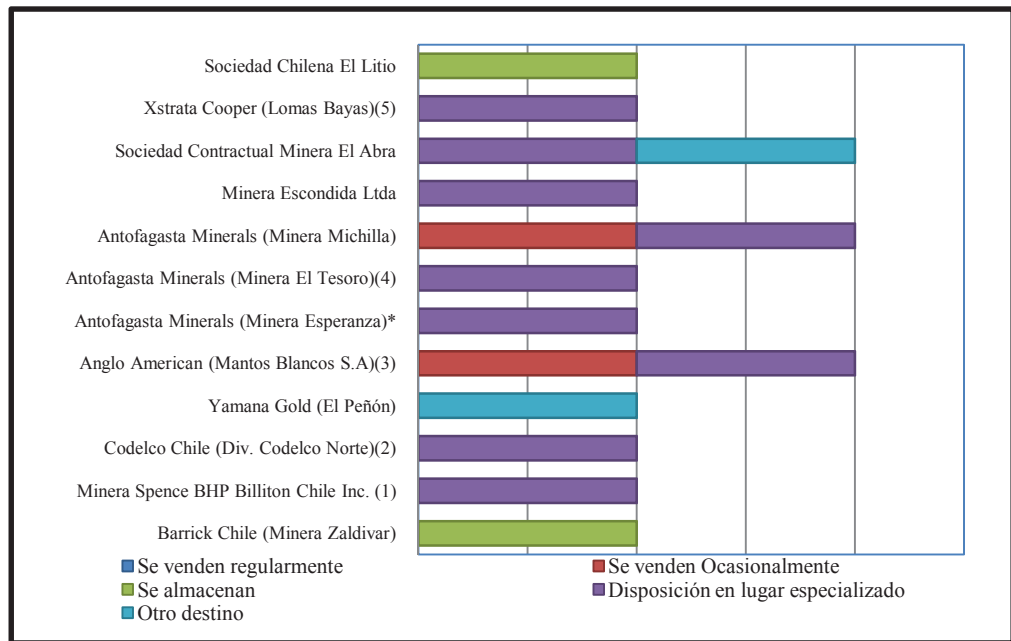


Figura 7. Destino de los neumáticos usados por parte de las empresas mineras, con información recabada de las encuestas y antecedentes ambientales disponibles en la Región de Antofagasta.

*: Al momento de responder la encuesta se encontraba en prestripping

(1): MINERA SPENCE S.A", AÑO 2011; (2) CODELCO NORTE, AÑO 2006; (3) Minera Mantos Blancos S.A., AÑO 2006

(4) Minera El Tesoro., AÑO 2006; (5) Minera Lomas Bayas -Xstrata Cooper., AÑO 2006

En general, para el resto de las empresas la forma de disposición de los neumáticos más representativa, correspondió a la disposición en un lugar especializado dentro del recinto minero.

Minera Spence BHP Billiton Chile Inc., conforme sus procedimientos internos de manejo de residuos no peligrosos, almacena los neumáticos en un recinto especializado denominado patio de salvataje de sólidos industriales, el cual cuenta con los permisos sanitarios y ambientales para su operación y manejo (Minera Spence., 2011). Un manejo similar, al establecido por Xstrata Cooper (Lomas Bayas) y Anglo American (Minera Mantos Blancos S.A.), sin embargo ésta última empresa además gestiona la venta de parte de sus neumáticos a las empresas portuarias de la región quienes utilizan los neumáticos como “defensas” en sus sitios de atraque (Minera Mantos Blancos S.A., 2006; Minera El Tesoro., 2006; Minera Lomas Bayas-Xstrata Cooper., 2006).

CODELCO Chile (Div. CODELCO Norte), dada la gran cantidad de neumáticos usados que genera anualmente y su stock disponible (7.560 unidades estimadas al año 2010 no enterrados), ha optado por su confinamiento en depósitos de lastre emplazados en la Mina Chuquicamata. Este sistema le asegura una solución apropiada para la disposición de los neumáticos mineros dados de baja, siendo acorde con las políticas de expansión establecidas en los planes mineros. El sistema de disposición confinada de neumáticos en depósitos de lastre planteado por CODELCO Norte, consulta dos formas complementarias de disposición, una de confinamiento sin recuperación de neumáticos y otra de confinamiento con posibilidad de recuperación. En ambas alternativas se cubren los neumáticos con material estéril; sin embargo, la diferencia radica en la forma de cubrirlos. En el caso de confinamiento sin recuperación, los neumáticos se depositan en las plataformas intermedias de los botaderos y quedan cubiertos por los propios depósitos de lastre. En cambio, en la alternativa con recuperación, se depositan los neumáticos en las plataformas de coronamiento de los depósitos que se encuentren en fase terminal, cubriendo los neumáticos con una capa menor de material estéril, suficiente para confinarlos completamente y no permitir una combustión accidental. En caso de contar a futuro con una alternativa de reciclaje de neumáticos, será posible descubrirlos y recuperarlos para su aprovechamiento (CODELCO., 2006).

Se estima que un 81,3% (unas 21.968 unidades de neumáticos usados del tipo fuera de carretera), están en condiciones de ser recuperados desde sus lugares de disposición actual, para valorización energética. Entendiendo que dicha alternativa, sea atractiva desde el punto de vista económico para las empresas generadoras; considerando en dicha evaluación el costo de recuperar los neumáticos desde las plataformas de confinamiento emplazadas en las instalaciones mineras de las empresas generadoras.

4.1.3. Manejo Ambiental de los Neumáticos

Es una problemática de gran interés para la industria minera, la cual va en aumento debido a la materialización de nuevos proyectos mineros y al incremento de los niveles de producción de los que actualmente se encuentran en operación.

Producto de lo anterior, es claramente esperable el incremento en el número de neumáticos usados sobre el cual en algún momento se deberá decidir respecto de su forma de almacenamiento y/o disposición final, y que deberá estar en concordancia con el cumplimiento de la normativa ambiental vigente.

Cuando se preguntó en la encuesta, la opinión de las empresas mineras con relación a las exigencias asociadas al manejo ambiental de los neumáticos usados en el mediano plazo, considerando un período de entre los próximos 3 a 5 años (ver Tabla 2), ninguna de las empresas señaló que dejará de ser un problema. A su vez, un 57,1% de las empresas en cuestión indicaron que no presentarán cambios respecto del actual manejo ambiental que se lleva a cabo, a saber: Yamana Gold (El Peñón), Antofagasta Minerals (Minera Michilla), Sociedad Contractual Minera El Abra y Sociedad Chilena El Litio. En general, el manejo ambiental para los neumáticos usados en las empresas antes señaladas está relacionado directamente con la disposición de éstos en un lugar especializado que cumpla con la normativa ambiental vigente. Aquí tenemos los denominados centros de acopio o patios de salvatajes. Estos recintos permiten una ubicación y ordenamiento de los neumáticos que eviten la generación de incendios y reduzcan al máximo el impacto visual.

Un 42,9% de las empresas encuestadas, manifestaron que el problema del manejo ambiental de éstos residuos se hará más crítico. En tal sentido, Minera Escondida Ltda., señaló que de acuerdo a cómo crece el negocio y debido a la escasez de neumáticos de gran volumen se hace necesaria la recuperación del caucho en la medida de lo posible. La empresa hace referencia, de que la normativa ambiental está tendiendo a evitar que éste tipo de residuos sean enterrados. Barrick Chile (Minera Zaldívar), indicó que el manejo a mediano plazo puede presentar un problema, ya que desde el punto de vista productivo, el almacenamiento o disposición de los neumáticos ocupa un espacio dentro del uso de suelo, en contraposición al suelo utilizado para la actividad productiva. Antofagasta Minerals (Minera Esperanza), consideró que el manejo ambiental se hará claramente más crítico al momento de la entrada en operaciones del proyecto minero.

El análisis integrado, es decir incluyendo además a las empresas que no respondieron la encuesta, pero que fue posible conocer acerca de sus exigencias y

maneras de abordar el manejo ambiental de los neumáticos usados, a través de la información ambiental disponible en la región, se muestra en la Tabla 3. De un total de 12 empresas, 7 es decir un 58,3% manifestaron que no presentarán cambios respecto del actual manejo ambiental que se lleva a cabo. Mientras que 5 empresas, es decir un 41,7% indicaron que el problema del manejo ambiental de éstos residuos se hará más crítico. Además, ninguna de las empresas señaló que el manejo ambiental de estos residuos dejará de ser un problema.

CODELCO Chile (División CODELCO Norte), señala con claridad que la disposición de neumáticos con posibilidades de recuperación es una alternativa más amigable con el medio ambiente y que están promoviendo dicha iniciativa como parte de una política integral en el manejo de los residuos industriales no peligrosos (CODELCO., 2006).

Respecto de los costos derivados del manejo ambiental de los neumáticos, estos se sitúan entre los 0-US\$ 100.000/año.

Tabla 2. Información proporcionada por la encuesta respecto a las exigencias de las empresas relacionadas con el manejo ambiental de los neumáticos usados en un período de 3 – 5 años.

EMPRESAS MINERAS	No presentará cambios	Se hará Crítico	Dejará de ser un problema
Barrick Chile (Minera Zaldívar)		X	
Yamana Gold (El Peñón)	X		
Antofagasta Minerals (Minera Esperanza)*		X	
Antofagasta Minerals (Minera Michilla)	X		
Minera Escondida Ltda.		X	
Sociedad Contractual Minera El Abra	X		
Sociedad Chilena El Litio	X		

*: Al momento de responder la encuesta se encontraba en prestripping.

Tabla 3. Información proporcionada por la encuesta e información ambiental disponible en la región respecto a las exigencias de las empresas relacionadas con el manejo ambiental de los neumáticos usados en un período de 3 – 5 años.

EMPRESAS MINERAS	No presentará cambios	Se hará Crítico	Dejará de ser un problema
Barrick Chile (Minera Zaldivar)		X	
Minera Spence BHP Billiton Chile Inc. ⁽¹⁾	X		
Codelco Chile (Div. Codelco Norte) ⁽²⁾		X	
Yamana Gold (El Peñón)	X		
Anglo American (Mantos Blancos S.A) ⁽³⁾	X		
Antofagasta Minerals (Minera Esperanza)*		X	
Antofagasta Minerals (Minera El Tesoro) ⁽⁴⁾		X	
Antofagasta Minerals (Minera Michilla)	X		
Minera Escondida Ltda.		X	
Sociedad Contractual Minera El Abra	X		
Xstrata Cooper (Lomas Bayas) ⁽⁵⁾	X		
Sociedad Chilena El Litio	X		

*: Al momento de responder la encuesta se encontraba en prestripping
 (1): MINERA SPENCE S.A", AÑO 2011; (2) CODELCO NORTE, AÑO 2006; (3) Minera Mantos Blancos S.A., AÑO 2006;
 (4) Minera El Tesoro., AÑO 2006; (5) Minera Lomas Bayas –Xstrata Cooper., AÑO 2006

4.1.4. Alternativas de Aprovechamiento de los Neumáticos

La visión que puedan tener las empresas mineras con relación a explorar alternativas de aprovechamiento de los neumáticos usados, que vaya más allá del adecuado manejo ambiental de los mismos, fue hacia donde apuntó una de las preguntas consultadas en la encuesta. Ante la pregunta ¿Han recibido hasta ahora alguna propuesta o petición para aprovechar los neumáticos dados de baja? (neumáticos que ya no tienen otro uso más que pasar a ser residuos), un 33,3% de las empresas encuestadas señalaron que no conocen o no tienen conocimiento de iniciativas para aprovechar las unidades de neumáticos dados de baja. Mientras que un 66,7% de las empresas que respondieron la encuesta, manifestaron que si hay interés de empresas externas para el aprovechamiento de neumáticos fuera de las faenas mineras (ver Tabla 4).

Dentro de las empresas que indicaron no conocer o no tener conocimiento de iniciativas para aprovechar las unidades de neumáticos dados de baja, se encuentran Sociedad Contractual Minera El Abra y la Sociedad Chilena del Litio.

Minera Michilla S.A., señala por su parte, que no tienen en la actualidad ningún ofrecimiento por parte de empresas externas interesadas en aprovechar los neumáticos usados, pero si conocen de iniciativas de negocios que consideran a los neumáticos como su materia prima principal.

El interés de empresas externas para el aprovechamiento de neumáticos fuera de las faenas mineras, fue expresado por parte de Minera Escondida Ltda., quien hace referencia a que existe una propuesta de una empresa brasileña con la cual se encuentra en conversaciones para analizar técnica y económicamente la factibilidad de implementación.

Barrick Chile (Minera Zaldívar), señala que durante la vida de la mina (más de 15 años de operación), se han presentado innumerables opciones que han demostrado no ser sustentables. Hoy no cuentan con una alternativa que cumpla con los requisitos de sustentabilidad.

Antofagasta Minerals (Minera Esperanza), indica que hubo una propuesta para reutilizar los neumáticos en defensas portuarias, pero que no llegó a concretarse. Mientras que Yamana Gold (El Peñón), expresa que si hay intenciones por parte de terceros para el aprovechamiento de los neumáticos usados, no especificando más detalles al respecto.

En la Tabla 5, se observan todas las empresas mineras que formaron parte del presente estudio y que no necesariamente respondieron la encuesta técnica. En general, el resultado tuvo una tendencia similar a lo observado en el análisis anterior, donde un 27,2% de las empresas encuestadas señalaron que no conocen o no tienen conocimiento de iniciativas para aprovechar las unidades de neumáticos dadas de baja. A su vez, un 72,2% de las empresas, manifestaron que si hay interés de empresas externas para el aprovechamiento de neumáticos fuera de las faenas mineras.

Minera Spence BHP Billiton Chile Inc., Antofagasta Minerals (Minera El Tesoro) y Xstrata Cooper (Lomas Bayas), indicaron la existencia e interés de terceros para aprovechar los neumáticos usados que están dispuestos en las faenas mineras. Estas empresas, ven en este sentido, una instancia alternativa para ver mejorado el manejo

ambiental de éstos residuos (Minera Spence., 2011; Minera Mantos Blancos S.A., 2006; Minera Lomas Bayas-Xstrata Cooper., 2006).

CODELCO Chile (Div. CODELCO Norte), prevé que a mediano o largo plazo existirá la posibilidad de reutilizar los neumáticos usados en una forma económicamente rentable (CODELCO., 2006).

Cuando se le consulta a las empresas, si les interesaría hacer un convenio a largo plazo con una pequeña o mediana empresa para que les retire regularmente los neumáticos dados de baja, la respuesta para todas las empresas encuestadas fue positiva. Lo anterior, siempre y cuando cumplan en primera instancia con la normativa ambiental vigente. Después dicen considerar factores económicos, incluso pudiendo generar un cobro por unidad de neumático retirado desde la faena minera.

Dado el actual escenario, resulta propicia la generación de nuevas propuestas de aprovechamiento de los neumáticos usados en la industria minera de la Región de Antofagasta, que puedan considerar la recuperación de los neumáticos usados para su valoración energética. En tal sentido, las empresas están dispuestas a analizar dicha alternativa.

Tabla 4. Alternativas o propuestas de aprovechamiento de los neumáticos usados, en las empresas de la gran minería de la Región Antofagasta. Fuente de información proporcionada por la encuesta.

EMPRESAS MINERAS	Sí, nuestra empresa tiene un proyecto	Sí, hay interés de empresas externas	No, no conocemos ni tenemos conocimiento de iniciativas para aprovechar las unidades dadas de baja.
Barrick Chile (Minera Zaldívar)		X	
Yamana Gold (El Peñón)		X	
Antofagasta Minerals (Minera Esperanza)*		X	
Antofagasta Minerals (Minera Michilla)**			
Minera Escondida Ltda.		X	
Sociedad Contractual Minera El Abra			X
Sociedad Chilena El Litio			X

*: Al momento de responder la encuesta se encontraba en prestipping.

** : No responde de acuerdo a las tres alternativas establecidas, entrega otros comentarios.

Tabla 5. Alternativas o propuestas de aprovechamiento de los neumáticos usados disponibles en las Empresas de la gran minería de la Región de Antofagasta. Información proporcionada por la encuesta y antecedentes ambientales disponibles en la región.

EMPRESAS MINERAS	Sí, nuestra empresa tiene un proyecto	Sí, hay interés de empresas externas	No, no conocemos ni tenemos conocimiento de iniciativas para aprovechar las unidades dadas de baja.
Barrick Chile (Minera Zaldivar)		X	
Minera Spence BHP Billiton Chile Inc. ⁽¹⁾		X	
Codelco Chile (Div. Codelco Norte) ⁽²⁾		X	
Yamana Gold (El Peñón)		X	
Anglo American (Mantos Blancos S.A) ⁽³⁾			X
Antofagasta Minerals (Minera Esperanza)*		X	
Antofagasta Minerals (Minera El Tesoro) ⁽⁴⁾		X	
Antofagasta Minerals (Minera Michilla)**			
Minera Escondida Ltda.		X	
Sociedad Contractual Minera El Abra			X
Xstrata Cooper (Lomas Bayas) ⁽⁵⁾		X	
Sociedad Chilena El Litio			X

*: Al momento de responder la encuesta se encontraba en prestipping.

** : No responde de acuerdo a las tres alternativas establecidas, entrega otros comentarios.

(1): MINERA SPENCE S.A", AÑO 2011; (2) CODELCO NORTE, AÑO 2006; (3) Minera Mantos Blancos S.A., AÑO 2006; (4) Minera El Tesoro., AÑO 2006; (5) Minera Lomas Bayas –Xstrata Cooper., AÑO 2006

4.2 ACEITES LUBRICANTES RESIDUALES EN LA GRAN MINERIA DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA

Los gastos que deben realizar las grandes compañías mineras para mantener sus operaciones ascienden anualmente a US\$ 5.000 millones, y de este total, el monto destinado a la compra de combustible y lubricantes promedia alrededor de US\$ 350 millones (COCHILCO., 2010).

Se prevé un aumento significativo en el consumo de lubricantes, tras la materialización de nuevos proyectos mineros para la Región de Antofagasta. En el ANEXO 1, se puede observar la cartografía ambiental temática que consolida espacialmente toda la información recabada en el presente estudio relacionada con la localización, cantidad (Volumen en m³), disposición, manejo ambiental y alternativas de

aprovechamiento de los aceites lubricantes residuales, por parte de la industria minera en la Región de Antofagasta.

4.2.1. Estimación de los Volúmenes de Aceites Lubricantes Usados

La información recopilada mediante la aplicación de la encuesta técnica, en los términos señalados en el CAPITULO 3 (punto 3.2) del presente estudio, permitió la obtención de valiosa información, hasta ahora poco conocida y dispersa, respecto de las cantidades de aceites lubricantes residuales disponibles en la industria minera de la Región de Antofagasta.

Existen variaciones importantes con relación a la cantidad de aceites lubricantes residuales generados, según se desprende de la información recogida de las encuestas. En tal sentido, la Cía. Minera Escondida Ltda., resulta ser la empresa con el mayor volumen de aceites generados anualmente, alcanzando los 4.200 m³, mientras que el menor valor correspondió a la Sociedad Chilena del Litio con 15 m³. Esta última empresa, dedicada a la explotación de minerales no metálicos. Un caso particular y que llama la atención, es el valor entregado por Antofagasta Minerals (Minera Esperanza) con 188 m³ anuales. Sin embargo, cabe señalar que el valor informado por la Compañía corresponde a lo generado el año 2009, ya que al momento de responder la encuesta aún se encontraba en *prestripping* (proceso de extracción de toda roca estéril en la que no hay mineral), es decir en una fase previa a las actividades de operación. En total, la cantidad generada anualmente para todas las empresas que respondieron la encuesta, llegó la cifra de 5.854,4 m³ de aceites lubricantes residuales (ver Figura 8).

En términos porcentuales (ver Figura 9), el mayor aporte está dado por la Cía. Minera Escondida Ltda., alcanzando un 72% del total de aceites generados anualmente, seguido por la Sociedad Contractual Minera El Abra con un 13% y Minera Barrick Zaldívar, con un 6%.

Otro aspecto muy relevante al que fue posible acceder gracias al presente estudio, fue conocer las cantidades de aceites lubricantes residuales almacenados o en stock disponibles en las diferentes instalaciones de las empresas mineras. Al respecto, podemos señalar que el volumen es bastante reducido alcanzando anualmente el 4% del

total generado (234 m³, según los antecedentes entregados por las distintas empresas encuestadas). Lo anterior, se explica porque los aceites lubricantes residuales en su mayoría son dispuestos fuera de las instalaciones mineras.

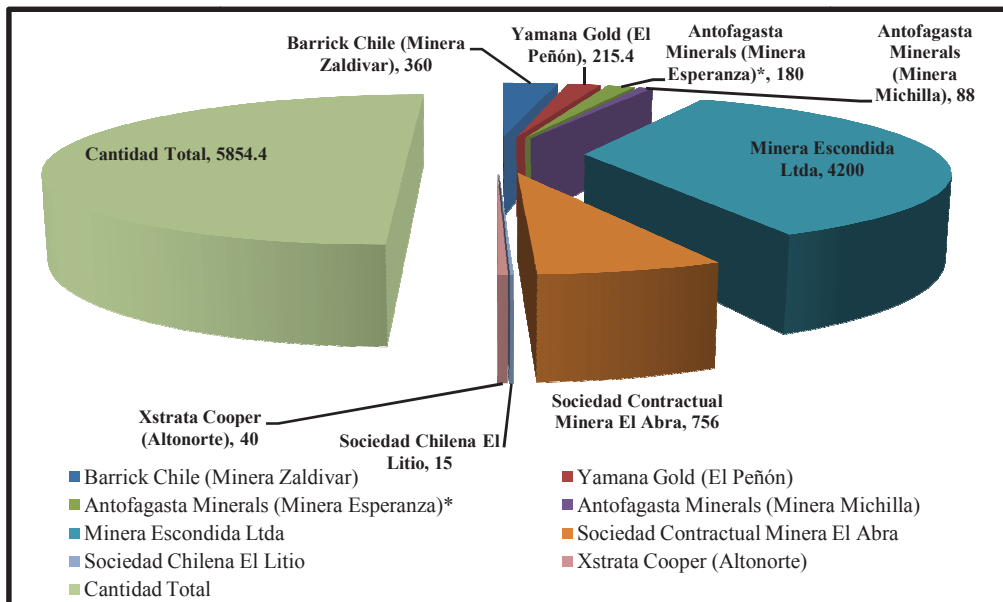


Figura 8. Cantidades anuales (volumen en m³) de aceites lubricantes residuales generados, por parte de las empresas mineras de la Región de Antofagasta que respondieron la encuesta técnica.

*: Al momento de responder la encuesta se encontraba en prestripping, datos reportados para el año 2009.

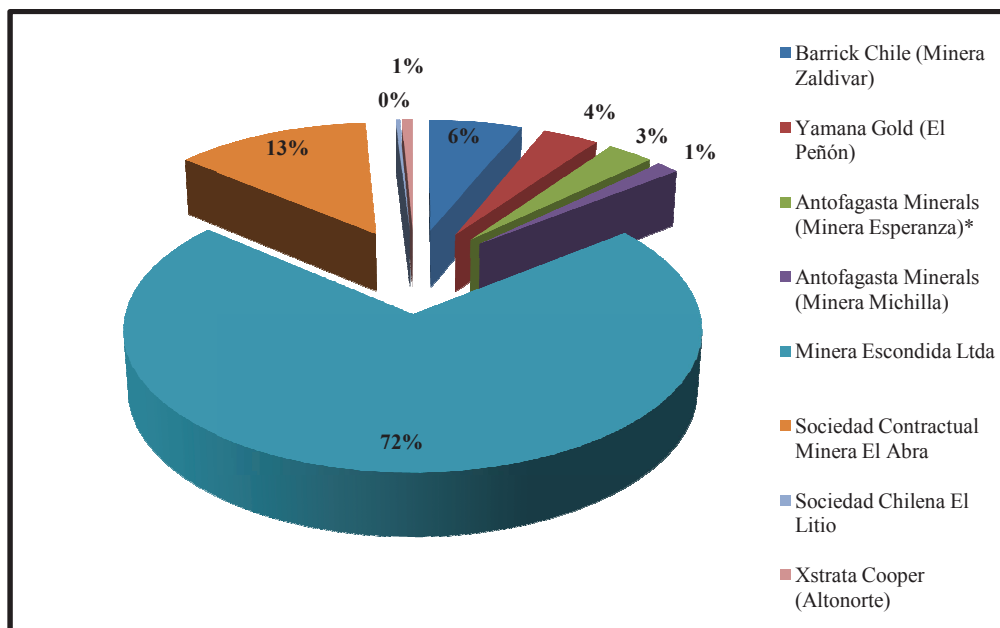


Figura 9. Relación porcentual de las cantidades anuales (volumen en m³) de aceites Lubricantes residuales generados, por parte de las empresas mineras de la Región de Antofagasta que respondieron la encuesta técnica.

*: Al momento de responder la encuesta se encontraba en prestripping, datos reportados para el año 2009.

La información recogida a través de las encuestas, fue complementada con antecedentes de diferentes estudios e información ambiental disponible en la región; a objeto de conocer la realidad de las demás empresas mineras que formaron parte del presente estudio (Minera El Tesoro., 2006; INACESA., 2006, 2010; CODELCO., 2005, 2010). Es así, que fue posible tener una visión aún más completa de la realidad regional considerando ambas fuentes de información, en cuanto a los volúmenes de aceites lubricantes residuales disponibles (ver Figuras 10 y 11). La información consolidada, da cuenta de la generación anual de 18.232,42 m³ de aceites lubricantes residuales (poder calorífico 8.000 Kcal/kg), destacando en este sentido, el aporte de CODELCO Chile (Div. CODELCO Norte) con 10.952 m³, lo que representó un 60% a nivel regional. Le sigue en importancia la Cía. Minera Escondida Ltda., con 4.200 m³ (23% a nivel regional), la Sociedad Contractual Minera El Abra con 756 m³ (4%) y Antofagasta Minerals (Minera Esperanza), que alcanzó los 511,02 m³ para el año 2010 (3%).

Las cantidades de aceites lubricantes residuales generadas anualmente por CODELCO Chile (Div. CODELCO Norte), representan el más alto para la región, lo cual tiene directa relación con las distintas operaciones mineras en dicha división con presencia regional y a los niveles de producción alcanzados por la Compañía. Es igualmente destacable, la contribución de Minera Escondida Ltda., ya que es en la actualidad la principal productora privada de cobre fino a nivel nacional. Para el año 2010, la producción de cobre fino alcanzó las 1.102.976 toneladas.

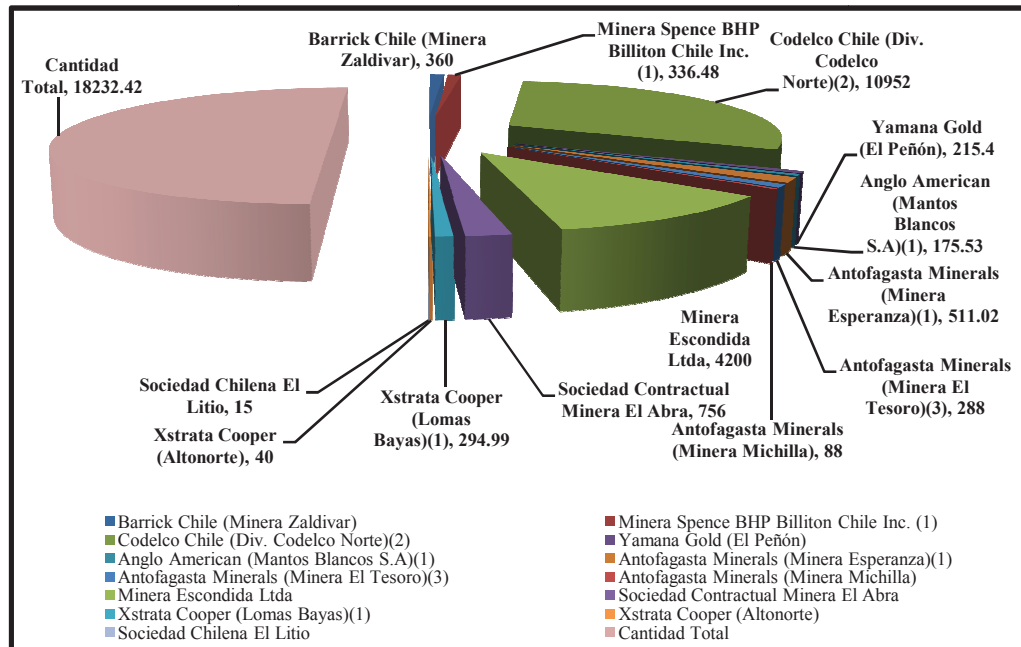


Figura 10. Cantidades anuales (volumen en m³) de aceites lubricantes residuales generados, por parte de las empresas mineras de la Región de Antofagasta que respondieron la encuesta técnica y de la información ambiental disponible para la gran minería en la Región de Antofagasta.

(1): INACESA., Año 2006; CODELCO 2010; (3) Minera El Tesoro., AÑO 2006;

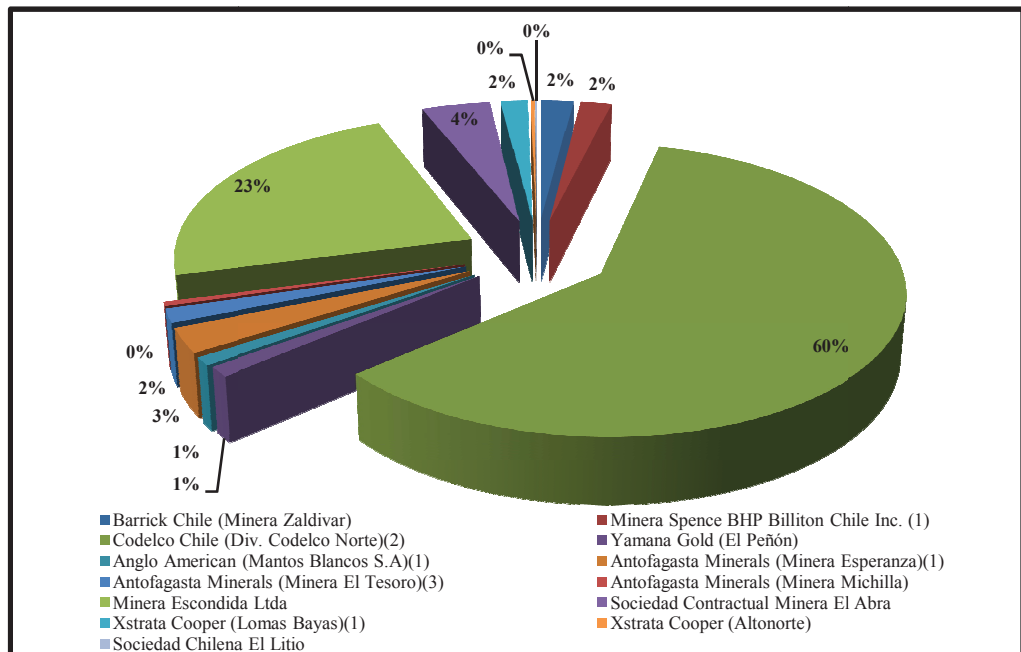


Figura 11. Relación porcentual de las cantidades anuales (volumen en m³) de aceites lubricantes residuales generados, por parte de las empresas mineras de la Región de Antofagasta que respondieron la encuesta técnica y de la información ambiental disponible para la gran minería en la Región de Antofagasta.

(1): INACESA., Año 2006; CODELCO 2010; (3) Minera El Tesoro., AÑO 2006;

4.2.2. Almacenamiento y Disposición de los Aceites Lubricantes Residuales Usados

Una vez conocida las estimaciones de los volúmenes generados anualmente por la industria minera, resultó interesante saber cuál era el principal destino que daban las empresas mineras a los aceites lubricantes residuales. Para dilucidar tal situación, se les consultó a las empresas mineras la siguiente pregunta: ¿Qué destino dan ustedes a los aceites lubricantes residuales?. Se les propuso cuatro posibles respuestas, saber: se venden regularmente, se venden ocasionalmente, se almacenan, se disponen en un lugar especializado para que permanezcan allí todo el tiempo que sea necesario, otro destino. En tal sentido, las respuestas tienden a agruparse como se muestra la figura 12.

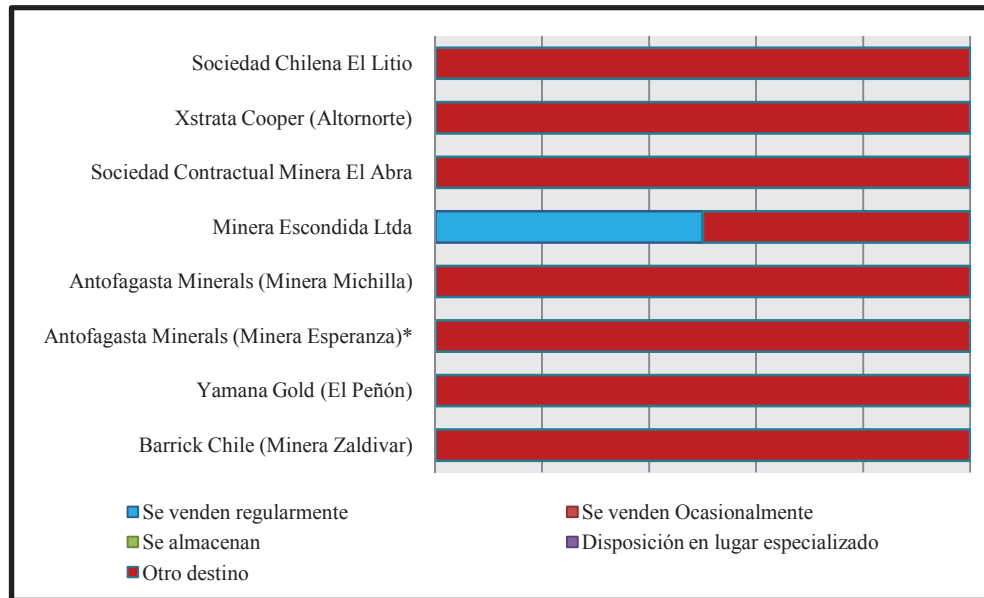


Figura 12. Destino de los aceites lubricantes residuales por parte de las empresas mineras que respondieron la encuesta en la Región de Antofagasta.

*: Al momento de responder la encuesta se encontraba en prestripping

Ninguna de las empresas encuestadas almacena o dispone en un lugar especializado dentro del recinto minero, los aceites lubricantes residuales. El 100% de las empresas encuestadas indican que le dan otro destino a los aceites. Sólo una de las empresas encuestadas (Minera Escondida Ltda.), señala que además vende regularmente un porcentaje de los aceites generados.

El principal destino que le dan a los aceites lubricantes es el traslado hacia la empresa INACESA S.A. (Industria Nacional del Cemento S.A.), ubicada en el sector industrial de La Negra a la afueras del sector Sur de Antofagasta. En dicho recinto, los aceites son utilizados como combustible alternativo en los hornos de clinker.

Minera Barrick Zaldívar, señala que la totalidad de sus aceites lubricantes residuales son derivados a INACESA S.A., por lo tanto no disponen de stock en la faena minera.

Yamana Gold (El Peñón), hace referencia a la existencia de un convenio con las empresas proveedoras para retiro del 100% del aceite lubricante residual y su disposición en un lugar autorizado, en los cuales se utiliza como combustible alternativo. El lugar autorizado corresponde a INACESA S.A. (INACESA., 2010).

Por su parte, Antofagasta Minerals (Minera Esperanza), envía los aceites a INACESA S.A. Antofagasta para su reutilización. Dentro de la faena son almacenados temporalmente en un estanque especialmente diseñado para tales efectos (capacidad 15 m³). Una pequeña porción de los lubricantes usados, se almacenan en tambores de 200 litros en el patio de residuos peligrosos con que cuenta la compañía. Todo lo anterior, a la espera de ser retirados y llevados en su totalidad a INACESA S.A. Antofagasta, en un plazo no mayor a tres meses.

Antofagasta Minerals (Minera Michilla S.A.), envía el 100% de los aceites lubricantes residuales que genera a INACESA S.A., siendo ésta última empresa quien los retira con una frecuencia bi-mensual.

Minera Escondida Ltda., si bien entrega un gran porcentaje de sus aceites a INACESA S.A. para su incineración, lo hace a través del establecimiento de un convenio. Este considera la entrega de aceites lubricantes residuales por parte de la empresa a INACESA S.A., a cambio de beneficios en el costo de la Cal que INACESA/INACAL le suministra a Minera Escondida Ltda. Es decir, el aceite residual no se entrega gratuitamente, existiendo una venta de por medio definida por la vía del convenio antes señalado. Otra parte de los aceites lubricantes residuales de la empresa, son enviados al área de explosivos para la confección del *anfo* de tronadura.

La experiencia de la Sociedad Contractual Minera El Abra, da cuenta que sólo un 2 a 3% de los aceites lubricantes residuales se reutilizan dentro de la faena, en una planta de reciclaje de aceites usados, para la fabricación de explosivos tipo *anfo*. El resto, se dispone fuera de la faena minera y es entregado para su uso como combustible alternativo en plantas cementeras. La planta cementera en cuestión es INACESA S.A. (INACESA., 2010 y CODELCO, 2005).

Por último, tanto la Sociedad Chilena del Litio y Xstrata Cooper (Altonorte) no almacenan aceites lubricantes residuales en sus faenas y en su totalidad son derivados a INACESA S.A.

La figura 13, muestra el destino de los aceites lubricantes residuales, incluyendo en el análisis a las demás empresas mineras que forman parte del presente estudio, cuya información respecto al almacenamiento y disposición de los aceites residuales en los recintos mineros, fue obtenida a través de informes ambientales disponibles en la región (Minera Spence., 2011; Minera Mantos Blancos S.A., 2006; Minera El Tesoro., 2006; Minera Lomas Bayas-Xstrata Cooper., 2006; INACESA., 2006, 2010; CODELCO., 2005, 2010).

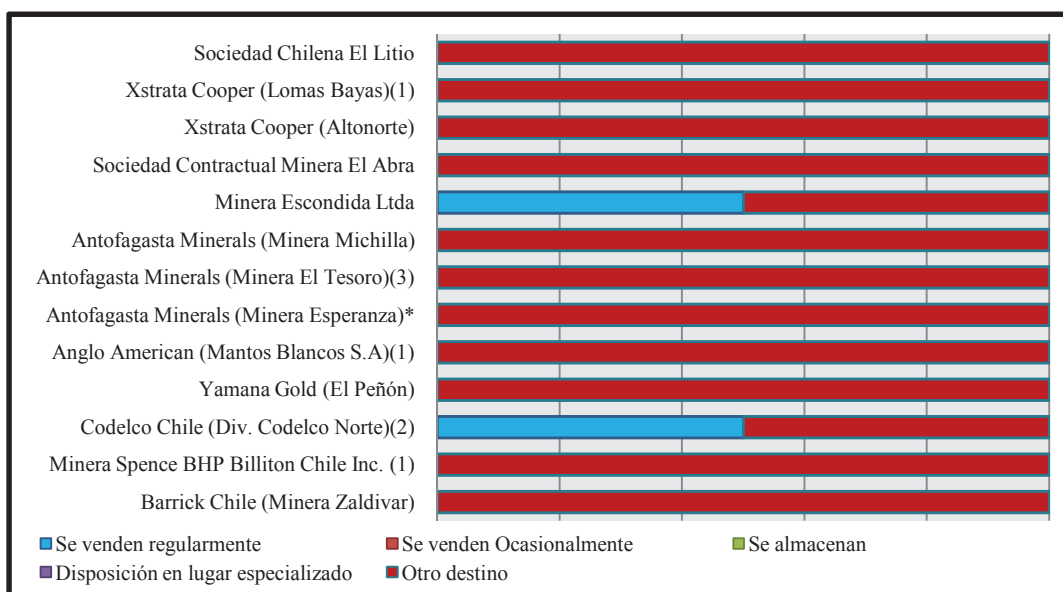


Figura 13. Destino de los aceites lubricantes residuales por parte de las empresas mineras que respondieron la encuesta en la Región de Antofagasta y la información disponible en la región de Antofagasta.

*: Al momento de responder la encuesta se encontraba en prestripping

(1): INACESA., Año 2010; CODELCO 2005, 2010; (3) Minera El Tesoro., AÑO 2006.

En general, para el resto de las empresas de la región de Antofagasta, el destino que definen para la disposición de los aceites lubricantes residuales, no difiere en lo absoluto con lo expresado por las empresas encuestadas. Si se encasilla de acuerdo a la pregunta formulada a través de la encuesta, en su totalidad se ajustan a la respuesta “otro destino”. Es decir, ninguna empresa almacena o dispone en un lugar especializado dentro del recinto minero los aceites lubricantes residuales, si no que lo disponen fuera de los recintos mineros, preferentemente enviándolos a la planta cementera INACESA S.A., para su uso como combustible alternativo.

Minera Spence BHP Billiton Chile Inc., Anglo American (Minera Mantos Blancos S.A.), Antofagasta Minerals (Minera El Tesoro) y Xstrata Cooper (Lomas Bayas), entregan el 100% de sus aceites lubricantes residuales a la empresa INACESA S.A. (Minera Spence., 2011; Minera Mantos Blancos S.A., 2006; Minera El Tesoro., 2006; Minera Lomas Bayas-Xstrata Cooper., 2006).

CODELCO Chile (División. CODELCO Norte), dada la gran cantidad aceites lubricantes residuales que genera, producto de todas las áreas de producción, mantención y equipamiento que conforman la División CODELCO Norte, presentan varias alternativas para la disposición final de los aceites lubricantes residuales. La principal de ellas, consiste en el traslado de los aceites hacia recintos fuera de la faena. Hasta el año 2007, se entregaba a INACESA S.A. la cantidad de 200 m³/mes. Sin embargo, a partir del año 2008 al 2010 se entrega el 94% de los aceites con o sin costos (según el destino dado los residuos), tanto a personas naturales o jurídicas que cuenten con las autorizaciones sanitarias y ambientales, siendo una de las principales la empresa Bravo Energy (ubicada en la Región Metropolitana). El 4% de los aceites lubricantes residuales restantes, se recicla en plantas especializadas para la elaboración de explosivos del tipo *anfo* (CODELCO., 2005, 2010).

4.2.3. Manejo Ambiental de los Aceites Lubricantes Residuales Usados

Es una problemática de gran interés para la industria minera, la cual va en aumento debido a la materialización de nuevos proyectos mineros y al incremento de los niveles de producción de los que actualmente se encuentran en operación.

Se prevé un incremento en los volúmenes generados de aceites lubricantes residuales, por lo cual resultó pertinente indagar sobre como avizoran las empresas mineras el manejo ambiental de éstos residuos a mediano plazo. Entendiendo que tal manejo, debe estar supeditado al cumplimiento de las normativas ambientales vigentes.

Cuando se preguntó a través de la encuesta, la opinión de las empresas mineras con relación a las exigencias asociadas al manejo ambiental de los aceites residuales en el mediano plazo, considerando un período de entre los próximos 3 a 5 años (ver Tabla 6), ninguna de las empresas señaló que dejará de ser un problema. A su vez, un 87,5% de las empresas en cuestión, indicaron que no presentarán cambios respecto del actual manejo ambiental que se lleva a cabo, a saber: Barrick Chile (Minera Zaldívar), Antofagasta Minerals (Minera Esperanza y Minera Michilla S.A.), Minera Escondida Ltda., Xstrata Cooper (Altonorte), Sociedad Contractual Minera El Abra y Sociedad Chilena El Litio.

El manejo ambiental para los aceites lubricantes residuales en las faenas mineras, considera el acopio temporal éstos en instalaciones que cumplan con las normativas sanitarias y ambientales vigentes. Específicamente dando cumplimiento a las disposiciones legales contenidas en el Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos (D.S. N° 148/03 del Ministerio de Salud) (MINSAL., 2003). En general, el tiempo en que los aceites permanecen en las faenas mineras varía desde unos días a no más de tres meses, período en que son retirados éstos residuos por empresas transportistas especializadas.

Yamana Gold (El Peñón), manifestó que el problema del manejo ambiental de los aceites lubricantes residuales se hará más crítico.

En el análisis integrado, que incluyó a las empresas que no respondieron la encuesta, fue posible conocer de igual manera las exigencias y maneras de abordar el manejo ambiental de los aceites lubricantes residuales. Lo anterior, a través de la revisión de la información ambiental disponible en la región (ver Tabla 7). De un total de 13 empresas, 12 es decir un 92,3% manifestaron que no presentarán cambios respecto del actual manejo ambiental que se lleva a cabo. Mientras que sólo una empresa, indicó

que el problema del manejo ambiental de éstos residuos se hará más crítico. Además, ninguna de las empresas señaló que el manejo ambiental dejará de ser un problema.

Respecto de los costos derivados del manejo ambiental de los aceites lubricantes residuales, tanto Codelco Chile (División Codelco Norte), Yamana Gold (El Peñón) y Antofagasta Minerals (Minera Esperanza), se sitúan entre el rango de los 0-US\$ 100.000/año. Las demás empresas, indicaron que no tienen costos asociados al manejo ambiental de los aceites, ya que son íntegramente de cargo de las empresas que retiran dichos residuos, siendo INACESA S.A quien asume en su mayoría dichos costos.

Tabla 6. Información proporcionada por la encuesta respecto a las exigencias de las empresas relacionadas con el manejo ambiental de los aceites lubricantes residuales en un período de 3 – 5 años.

EMPRESAS MINERAS	No presentará cambios	Se hará Crítico	Dejará de ser un problema
Barrick Chile (Minera Zaldívar)	X		
Yamana Gold (El Peñón)		X	
Antofagasta Minerals (Minera Esperanza)*	X		
Antofagasta Minerals (Minera Michilla)	X		
Minera Escondida Ltda.	X		
Sociedad Contractual Minera El Abra	X		
Xstrata Cooper (Altonorte)	X		
Sociedad Chilena El Litio	X		

*: Al momento de responder la encuesta se encontraba en prestripping.

Tabla 7. Información proporcionada por la encuesta e información ambiental disponible en la región respecto a las exigencias de las empresas relacionadas con el manejo ambiental de los aceites lubricantes residuales en un periodo de 3 – 5 años.

EMPRESAS MINERAS	No presentará cambios	Se hará Crítico	Dejará de ser un problema
Barrick Chile (Minera Zaldívar)	X		
Minera Spence BHP Billiton Chile Inc. ⁽¹⁾	X		
Codelco Chile (Div. Codelco Norte) ⁽²⁾	X		
Yamana Gold (El Peñón)		X	
Anglo American (Minera Mantos Blancos S.A) ⁽³⁾	X		
Antofagasta Minerals (Minera Esperanza)*	X		
Antofagasta Minerals (Minera El Tesoro) ⁽⁴⁾	X		
Antofagasta Minerals (Minera Michilla)	X		
Minera Escondida Ltda.	X		
Sociedad Contractual Minera El Abra	X		
Xstrata Cooper (Altonorte)	X		
Xstrata Cooper (Lomas Bayas) ⁽⁵⁾	X		
Sociedad Chilena El Litio	X		

*: Al momento de responder la encuesta se encontraba en prestripping

(1): Minera Spence., Año 2011; (2) CODELCO., Años 2005, 2010; (3) Minera Mantos Blancos S.A., Año 2006;

(4) Minera El Tesoro., Año 2006; (5) Minera Lomas Bayas- Xstrata Cooper., Año 2006.

4.2.4. Alternativas de Aprovechamiento de los Aceites Lubricantes Residuales Usados

La visión que puedan tener las empresas mineras, con respecto a explorar alternativas de aprovechamiento de los aceites lubricantes residuales, fue hacia donde se orientó una de las preguntas realizadas a través de la encuesta. Ante la pregunta ¿Han recibido hasta ahora alguna propuesta o petición para éstos residuos?, sólo la empresa Minera Escondida Ltda., señaló que no conocen o no tienen conocimiento de iniciativas para aprovechar éstos residuos.

Yamana Gold (El Peñón) y Xstrata Cooper (Altonorte), indicaron que si hay interés de empresas externas, precisando ésta última el convenio que actualmente tiene con INACESA S.A. Sin embargo, no se entregan mayores detalles al respecto.

El 87,5% de las empresas que respondieron la encuesta, manifestaron que cuentan con un proyecto para aprovechar los aceites lubricantes residuales dentro y fuera de las

faenas mineras (ver Tabla 8). En tal sentido, Barrick Chile (Minera Zaldívar) señala que tienen un proyecto en curso que les permitirá utilizar internamente los aceites lubricantes generados en aproximadamente un 25%. Antofagasta Minerals (Minera Esperanza), indicó que cuentan con un proyecto de reutilización de los aceites lubricantes residuales, para ser utilizados en el proceso de tronadura. En tanto que la Sociedad Contractual Minera El Abra, tiene una planta de reciclaje de aceites lubricantes residuales.

En la Tabla 9, se detallan todas las empresas mineras que formaron parte del presente estudio y que no necesariamente respondieron la encuesta técnica. En este análisis integrado, se observó una tendencia similar a lo observado en el análisis anterior. Un 15,4%, de las empresas señalaron que si hay interés de empresas externas para el aprovechamiento de los aceites lubricantes residuales, mientras que un 84,6% de las empresas indicaron que cuentan con un proyecto para aprovechar los aceites lubricantes residuales dentro y fuera de las faenas mineras.

Minera Spence BHP Billiton Chile Inc., Antofagasta Minerals (Minera El Tesoro), Anglo American (Mantos Blancos S.A.), Xstrata Cooper (Lomas Bayas) y CODELCO Chile (División CODELCO Norte, señalaron que cuentan con un proyecto para el aprovechamiento de los aceites lubricantes residuales. Los proyectos están orientados a la instalación de plantas para reciclado de aceites, para su posterior uso como insumo en la elaboración de explosivos del tipo *anfo*. Dicha iniciativa, ya está siendo implementada por diferentes empresas mineras en la región (Minera Spence., 2011; Minera Mantos Blancos S.A., 2006; Minera El Tesoro., 2006; Minera Lomas Bayas-Xstrata Cooper., 2006; CODELCO., 2010).

Respecto del interés de las empresas, por materializar algún convenio a largo plazo con una pequeña o mediana empresa para que les retire regularmente los aceites lubricantes residuales y disponer de ellos, la respuesta para todas las empresas encuestadas fue sí. Lo anterior, siempre y cuando cumplan en primera instancia con la normativa sanitaria y ambiental vigente.

Dado el actual escenario, donde a juzgar por los antecedentes proporcionados por el presente estudio, más del 95% de los aceites lubricantes residuales son finalmente utilizados como combustible alternativo en la planta cementera INACESA; resulta

interesante la generación de propuestas distintas para su aprovechamiento. La recuperación energética a través del proceso de pirólisis, puede ser una alternativa técnicamente viable para ser utilizada con éste tipo de residuos generados por la industria minera en la región de Antofagasta.

Tabla 8. Alternativas o propuestas de aprovechamiento de los aceites lubricantes residuales generados por las Empresas de la gran minería de la Región Antofagasta. Fuente de información proporcionada por la encuesta.

EMPRESAS MINERAS	Sí, nuestra empresa tiene un proyecto	Sí, hay interés de empresas externas	No, no conocemos ni tenemos conocimiento de iniciativas para aprovechar los aceites lubricantes residuales
Barrick Chile (Minera Zaldívar)	X		
Yamana Gold (El Peñón)	X	X	
Antofagasta Minerals (Minera Esperanza)*	X		
Antofagasta Minerals (Minera Michilla)*	X		
Minera Escondida Ltda.			X
Sociedad Contractual Minera El Abra	X		
Xstrata Cooper (Altonorte)		X	
Sociedad Chilena El Litio	X		

*: Al momento de responder la encuesta se encontraba en prestripping

Tabla 9. Alternativas o propuestas de aprovechamiento de los aceites lubricantes residuales generados por las Empresas de la gran minería de la Región de Antofagasta. Información proporcionada por la encuesta y antecedentes ambientales disponibles en la región.

EMPRESAS MINERAS	Sí, nuestra empresa tiene un proyecto	Sí, hay interés de empresas externas	No, no conocemos ni tenemos conocimiento de iniciativas para aprovechar las unidades dadas de baja.
Barrick Chile (Minera Zaldivar)	X		
Minera Spence BHP Billiton Chile Inc. ⁽¹⁾	X		
Codelco Chile (Div. Codelco Norte) ⁽²⁾	X		
Yamana Gold (El Peñón)	X	X	
Anglo American (Mantos Blancos S.A) ⁽³⁾	X		
Antofagasta Minerals (Minera Esperanza)*	X		
Antofagasta Minerals (Minera El Tesoro) ⁽⁴⁾	X		
Antofagasta Minerals (Minera Michilla)	X		
Minera Escondida Ltda.			X
Sociedad Contractual Minera El Abra	X		
Xstrata Cooper (Altonorte)		X	
Xstrata Cooper (Lomas Bayas) ⁽⁵⁾	X		
Sociedad Chilena El Litio	X		

*: Al momento de responder la encuesta se encontraba en prestripping

(1): Minera Spence., Año 2011; (2) CODELCO., Años 2005, 2010; (3) Minera Mantos Blancos S.A., Año 2006;

(4) Minera El Tesoro., Año 2006; (5) Minera Lomas Bayas- Xstrata Cooper., Año 2006.

CAPITULO 5 CONCLUSIONES

Existen tecnologías probadas para el reciclaje de neumáticos y aceites usados. En particular aquellas tecnologías capaces de contribuir a recuperar energía a partir de residuos industriales.

La literatura da cuenta de diferentes ámbitos o líneas de investigación, tendientes a resaltar las condiciones operacionales y de proceso que conllevan el uso de neumáticos usados y aceites lubricantes residuales como fuentes de energía a través de diferentes procesos operacionales. Estos residuos usados de manera eficiente pueden sustituir al carbón y otros combustibles en la generación de energía. En varios países desarrollados destaca el uso parcial y total de neumáticos usados y aceites lubricantes residuales en las industrias termoeléctricas y plantas de cemento, para sus necesidades energéticas.

La pirólisis y copirólisis son tecnologías probadas en la recuperación y reciclaje de energía. La recuperación de energía conlleva a la minimización de los efectos que provocan el almacenamiento y/o manejo ambiental de este tipo de residuos. En particular la pirólisis, resulta ser la tecnología más frecuentemente utilizada, ya que permite recuperar los componentes iniciales de neumáticos en forma de sólidos, líquidos y gas.

Los procesos copirólisis referidos a la recuperación de energía a partir de neumáticos usados y su mezclado con aceites residuales, son altamente eficientes en comparación a una pirólisis de neumáticos. Destaca además, la importancia de los procesos copirólisis, como una alternativa ambientalmente segura para la óptima recuperación de materias primas, que forman parte de los neumáticos usados y los aceites lubricantes residuales.

Los procesos de pirolisis y copirólisis, se han desarrollado exitosamente en Europa, USA y Asia, como alternativas de procesos a escala experimental, piloto y comercial (industrial), que permiten la recuperación de energía a partir de neumáticos y aceites lubricantes usados.

De acuerdo a los antecedentes detallados en el presente estudio, es posible inferir que la pirólisis y copirólisis, resultan ser las alternativas de procesos más idóneas para la recuperación energética a partir neumáticos usados y de aceites lubricantes residuales.

En la Región de Antofagasta, existen importantes volúmenes de residuos industriales mineros, como son los neumáticos de camiones del tipo “fuera de carreteras” y aceites lubricantes residuales, no aprovechados en la generación de energía. Estos residuos, pueden contribuir a complementar la precaria matriz energética regional y ser un respaldo a las actividades económicas de la región.

La información obtenida a través de las encuestas y de los antecedentes de diferentes estudios e información ambiental disponible en la región, que formaron parte del presente estudio, determinaron la generación anual de 4.378 unidades de neumáticos usados, con una masa disponible para valoración energética de 14.009,6 ton. anuales. La cifra total de neumáticos usados del tipo “fuera de carretera”, que se encuentran en stock llegó a las 27.008 unidades, lo que equivale a una masa estimada para valorización energética de 86.425,6 ton.

El manejo ambiental de los neumáticos usados por parte de las empresas mineras de la Región de Antofagasta, está referido a su almacenamiento y disposición dentro del recinto minero en un lugar especializado, que cumple con las normativas sanitarias y ambientales vigente.

En cuanto a los aceites lubricantes residuales, la información recogida a través de las encuestas y complementada con antecedentes de diferentes estudios e información ambiental disponible en la región, permitió concluir que la generación anual de estos residuos alcanzó a los 18.232,42 m³.

Las cantidades de aceites lubricantes residuales almacenados o en stock disponibles en las diferentes instalaciones de las empresas mineras es bastante reducido, llegando sólo al 4% del total generado anualmente (234 m³, según los antecedentes entregados por las distintas empresas encuestadas). Lo anterior, se explica porque los aceites lubricantes residuales en su mayoría son dispuestos fuera de las instalaciones mineras.

El principal destino que le dan las empresas mineras encuestadas a los aceites lubricantes, es el traslado hacia la empresa INACESA S.A. (Industria Nacional del Cemento S.A.), ubicada en el sector industrial de La Negra a la afueras del sector Sur de Antofagasta. En dicho recinto, los aceites son utilizados como combustible alternativo en los hornos de clinker.

Del presente estudio, se puede inferir una marcada ventaja en cuanto a la valorización energética mediante el proceso de copirólisis de los neumáticos usados y su mezcla con aceites lubricantes residuales, en comparación con el uso de actual de los aceites lubricantes residuales como combustible alternativo en la planta cementera INACESA (donde se utiliza el 95% de los aceites residuales generados en la región). Esto debido principalmente, al poder calorífico obtenido de los productos generados de los procesos copirólíticos, que dependiendo de los parámetros de proceso supera las 16.000 Kcal/kg. Mientras que los aceites lubricantes residuales que llegan a INACESA presentan un poder calorífico en torno a las 8.000 Kcal/kg.

El manejo ambiental para los aceites lubricantes residuales en las faenas mineras, considera el acopio temporal éstos en instalaciones que cumplen con las normativas sanitarias y ambientales vigentes. En general, el tiempo en que los aceites permanecen en las faenas mineras varía desde unos días a no más de tres meses, período en que son retirados éstos residuos por empresas transportistas especializadas.

Las empresas mineras de la región de Antofagasta que fueron consideradas en el presente estudio, están dispuestas a consideran nuevas propuestas de aprovechamiento para los neumáticos usados del tipo “fuera de carretera” y los aceites lubricantes residuales, que consideren la recuperación de los neumáticos usados, para su valorización energética.

Con el propósito de ampliar el inventario de insumos termodegradables, se sugiere la realización de estudios que permitan identificar y caracterizar la disponibilidad de otros insumos que contienen caucho y que se encuentran disponibles en la gran minería, como son las correas transportadoras, geomembranas (HDPE). Además, de sumar al inventario no sólo los neumáticos del tipo “fuera de carretera”, si

no que en general otros tipos de neumáticos utilizados en la industria minera de la Región de Antofagasta.

Además, se deberían de propiciar estudios que permitan evaluar la pre factibilidad técnico-económica para la construcción de una planta de procesamiento de residuos termodegradables, como fuente alternativa de generación de energía, mediante el uso de neumáticos y aceites lubricantes usados en la Región de Antofagasta. Lo anterior, considerando como insumo base, los resultados y conclusiones aportados por el presente estudio. Un claro ejemplo a seguir, si consideramos el estudio que sobre el particular se encuentra en proceso de elaboración a través de una tesis de Magister correspondiente al programa de Magister en Aplicaciones de Ingeniería Ambiental, en la Universidad Católica del Norte.

CAPITULO 6 BIBLIOGRAFÍA

1. Arabiourrutia. M., López. G., Aguado. R y Olazar. M., (2010). Efecto del uso de Catalizadores Ácidos Sobre la Distribución de Productos en la Pirólisis de Neumáticos. Universidad del País Vasco, Dpto. Ingeniería Química, Apartado 644, 48080 Bilbao-España. Información Tecnológica Vol. 21(1), 33-41 (2010), doi:10.1612/inf.tecnol.4149it.08.
2. Berrueco. C., Esperanza. E., Mastral. FJ., Ceamanos. J., García-Bacaicoa. P., (2005). Pyrolysis of waste tyres in an atmospheric static-bed batch reactor: Analysis of the gases obtained. Department of Chemical and Environmental Engineering, Centro Politécnico Superior, CPS, University of Zaragoza, C/María de Luna 3, 50018 Zaragoza, Spain. Received 28 June 2004; accepted 27 October 2004. Available online 25 December 2004. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 74 (2005) 245–253. (www.sciencedirect.com; www.elsevier.com/locate/jaap).
3. Bhaskar ^a. T., Uddin ^b. MD., Muto ^a. A., Sakata ^{a,*}Y., Omura ^cY., Kimura ^d. K., Kawakami ^d. Y., (2003). Recycling of waste lubricant oil into chemical feedstock or fuel oil over supported iron oxide catalysts. ^a Department of Applied Chemistry, Faculty of Engineering, Okayama University, 3-1-1 Tsushima Naka, 700-8530 Okayama, Japan. ^b Process Safety and Environment Protection Group, School of Engineering, The University of Newcastle, Callaghan, NSW 2308, Australia. ^c San-Ken Industries, Shimane, Japan. ^d San-In-Kogyo, Shimane, Japan. Received 17 March 2003; revised 6 June 2003; accepted 11 June 2003; available online 29 July 2003. Fuel 83 (2004) 9-15. (Science and Direct- www.sciencedirect.com; www.fuelfirsts.com).
4. Cáceres. P., (2005). Diseño de Investigación por Encuesta. Documento de Investigación de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso-Chile año 2005.
5. Caputo. A., Pelagagge *. P.M., (2001). RDF production plants: I Design and costs. Faculty of Engineering, University of L'Aquila, 67040 Monteluco, L'Aquila, Italy. Received 21 June 2001; accepted 5 October 2001. Applied Thermal Engineering 22 (2002) 423–437. (www.elsevier.com/locate/apthermeng).

6. Carrasco. F^a., y Roy. C^b., (1991). Reutilización y Reciclaje de Neumáticos Usados. Aspectos Químicos, Ambientales y Económicos. Département d'Ingénierie. Université du Québec á Trois-Rivières (Canadá)^a. Département de Génie Chimique. Université Laval^b.
7. Chang. Y.M., (1996). On pyrolysis of waste tire: degradation rate and product yields. Environmental Engineering Laboratory, DCE, National Taipei Institute of Technology, Chung-Shiao E. Road, Taipei, Taiwan, ROC. Received 3 May 1994, revision received 12 April 1995; accepted 11 May 1995. Resources, Conservation and Recycling 17 (1996) 125-139.
8. COCHILCO., (2010). Oportunidades de Negocios en la Minería del Cobre, Potencial Demanda de Bienes e Insumos Mineros, Año 2007-2010.
9. CODELCO., (2005). “Procedimiento de Manejo y Disposición de Aceites Residuales, División CODELCO Norte”. Sistema de Gestión Ambiental, Vigente desde año 2005.
10. CODELCO., (2006). Proyecto: “Disposición de Neumáticos Mediante Confinamiento en Depósito de Lastre de CODELCO Chile-División CODELCO Norte” Declaración de Impacto Ambiental, año 2006.
11. CODELCO., (2010). Proyecto: “Planta de Materias Primas y Polvorines para Tronaduras Centro de Trabajo Radomiro Tomic, CODELCO Norte”. Declaración de Impacto Ambiental, año 2010.
12. CONAMA., (2005). Política de Gestión Integral de Residuos Sólidos, Chile.
13. CONAMA y GTZ., (2007). Guía Técnica Para Generadores de Aceites Industriales Usados. Proyecto CONAMA/GTZ. Gestión de Residuos Peligrosos en Chile. Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) y Sociedad Alemana para la Cooperación Técnica (GTZ).
14. CONAMA., y GTZ., (2010). Gestión de Residuos Peligrosos en Chile. Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) y Sociedad Alemana para la Cooperación Técnica (GTZ), “Proyecto Respel” 2010.
15. Conesa*. J., Gullón. I.M., Font. R., (2004). Rubber tire thermal decomposition in a used oil environment. Department of Chemical Engineering, University of Alicante,

- Ap 99, E-03080 Alicante, Spain. Received 8 June 2004; accepted 28 September 2004. Available online 25 December 2004. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 74 (2005) 265–269. (www.sciencedirect.com; www.elsevier.com/locate/jaap).
16. Corti. A., y Lombardi. L., (2004). End life tyres: Alternative final disposal processes compared by LCA. Dipartimento di Energetica “Sergio Stecco”, Università degli Studi di Firenze, Via Santa Marta 3, 50139 Florence, Italy. *Energy* 29 (2004) 2089-2108. (www.sciencedirect.com; www.elsevier.com/locate/energy).
 17. De Marco. I., Caballero*. B.M., Cabrero. M.A., Laresgoiti. M.F., Torres. A.J., Chomón. M.J., (2007). Recycling of automobile shredder residues by means of pyrolysis. Dpto. Ingeniería Química y del Medio Ambiente, Escuela Superior de Ingenieros de Bilbao, Alda. Urquijo s/n, 48013 Bilbao, Spain. Received 23 June 2006; accepted 4 December 2006. Available online 12 January 2007. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 79 (2007) 403–408. (www.sciencedirect.com; www.elsevier.com/locate/jaap).
 18. De Marco. I^a, Caballero^{a*}. B.M., Chomón^a M.J., Laresgoiti^a M.F., Torres^a A.J., Fernández^a. G., Arnaiz^b. S., (2008). Pyrolysis of electrical and electronic wastes. ^aDpto. Ingeniería Química y del Medio Ambiente, Escuela T.S. de Ingeniería de Bilbao, Alda, Urquijo s/n, 48013 Bilbao, Spain. ^bCentro Tecnológico GAIKER, Parque Tecnológico, Edificio 2002, 48170 Zamudio, Spain. Received 18 December 2007. Accepted 14 March 2008. Available online 22 March 2008. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 82 (2008) 179-183. (journal homepage: www.elsevier.com/locate/jaap).
 19. Farhat. M*, Rahman.¹ F., Hamdan. A.J., (1995). Techno-economic evaluation of waste lubes oil rerefining. Department of Chemistry. King Fahd University of Petroleum & Minerals, Dhahran. Saudi Arabia. Received 21 February 1995; accepted 31 October 1995. *Int. J. Production Economics* 42 (1995) 263-273
 20. Farrell. M., y Block. D., (1999). Funding innovative uses for scrap tires. *Biocycle, The Journal of Composting and Recycling* 1999. 40 (31), 61.

21. Ferrer. G., (1996). The economics of tire remanufacturing. Insead, Technology Management Area, Blvd. Constance, F-77305 Fontainebleau, France. Received 25 July 1996; revised 16 September 1996; accepted 25 September 1996. Resources, Conservation and Recycling 19 (1997) 221-255.
22. Hamad.^{a1} A., Al-Zubaidy.^a E., Fayed^{b*} M.E., (2005). Used lubricating oil recycling using hydrocarbon solvents. ^a Department of Chemical Engineering, American University of Sharjah, P.O. Box 26666, Sharjah, United Arab Emirates. ^b Department of Chemical Engineering, Ryerson University, 350 Victoria Street, Toronto, ON, Canada, M5B 2K3. Journal of Environmental Management 74 (2005) 153-159. (www.elsevier.com/locate/jenvman)
23. INACESA., (2006). Proyecto: “Horno Cal N° 3 INACESA S.A., Antofagasta”. Estudio de Impacto Ambiental, año 2006.
24. INACESA., (2010). Información Operacional Industria Nacional del Cemento S.A. (INACESA S.A.). Planta La Negra, Región de Antofagasta año 2010.
25. Ko. D.C., Mui. E.L., Lau. K.S., McKay*. G., (2004). Production of activated carbons from waste tire - process design and economical analysis. Department of Chemical Engineering, Hong Kong University of Science and Technology, Clear Water Bay, Kowloon, Hong Kong SAR, China. Accepted 19 March 2004. Waste Management 24 (2004) 875–888. (www.sciencedirect.com; www.elsevier.com/locate/wasman).
26. Leung^{a*}. D.Y., Yin^b. X.L., Zhao^b. Z.L., Xu^b B.Y., Chen^b. Y., (2002). Pyrolysis of tire powder: influence of operation variables on the composition and yields of gaseous product. ^aDepartment of Mechanical Engineering, The University of Hong Kong, 7/F Haking Wong Building, Pokfulam Road, Hong Kong, China. ^bGuangzhou Institute of Energy Conversion, Chinese Academy of Sciences, 81 Xianlie Zhong Rd., Guangzhou 510070, China, Accepted March 2002. Fuel Processing Technology 79 (2002) 141 - 155. (www.elsevier.com/locate/fuproc).
27. Mastral*. A.M., Murillo. R., García. T., Navarro. M.V., Callen. M.S., López. J.M., (2002). Study of the viability of the process for hydrogen recovery from old tyre oils. Instituto de Carboquímica, CSIC, M Luesma Castan 4, PO Box 589, 50015

- Zaragoza, Spain. Received 27 July 2001; received in revised form 21 November 2001; accepted 1 February 2002. *Fuel Processing Technology* 75 (2002) 185– 199. (www.elsevier.com/locate/fuproc).
28. Minera El Tesoro., (2006). Proyecto: “Continuidad Operacional Mina El Tesoro (Antofagasta Minerals)”. Declaración de Impacto Ambiental, año 2006.
 29. Minera Escondida Ltda., (2003). Proyecto: “Sistema de Disposición de Neumáticos Usados de Equipos Mineros, de Minera Escondida Ltda.”. Declaración de Impacto Ambiental, Año 2003.
 30. Minera Lomas Bayas-Xstrata Cooper., (2006). Proyecto: “Extensión Lomas Bayas (Xstrata Cooper)”. Declaración de Impacto Ambiental, año 2006.
 31. Minera Mantos Blancos S.A., (2006). Proyecto: “Lixiviación Dinámica San José II, Minera Mantos Blancos S.A. (Anglo American)”. Declaración de Impacto Ambiental, año 2006.
 32. Minera Spence., (2011). Proyecto: “Optimización Spence, de Minera Spence BHP Billiton Chile Inc”. Declaración de Impacto Ambiental, año 2011.
 33. MINSAL., (1999). D.S. N° 594/1999 Aprueba Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo.
 34. MINSAL., (2003). D.S. N° 148/2003, Ministerio de Salud Chile. Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos.
 35. MINSEGPRES., (2001). D.S. N° 95/2001, Reglamento del Sistema de Evaluación del Impacto Ambiental. Ministerio Secretaría General de la Presidencia.
 36. MINSEGPRES., (2010). Ley N° 20.417/2010 que Crea la Nueva Institucionalidad Ambiental (www.mma.gob.cl) y que modifica la Ley N° 19.300/1994 Sobre Bases Generales del medio Ambiente. Ministerio Secretaría General de la Presidencia.
 37. Miranda*. R.C., Segovia. C.C., y Sosa. C.A., (2006). Pirólisis de Llantas Usadas: Estudio Cinético e Influencia de Variables de Operación. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Químicas. Depto. de Ing. Química Av. Pedro de Alba S/N, Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza, CP 66450 Nuevo León-México. *Información Tecnológica*-Vol. 17 N°2-2006, pág.: 7-14.

38. Montes. M., (2003). Trabajo de Tratamiento de Residuos, Re-Refinados de Aceites Usados. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial. Universidad de Vigo-España. 47 pp.
39. Murillo. R., Aylón. E., Navarro. M.V., Callén. M.S., Aranda. A., Mastral*. A.M., (2005). The application of thermal processes to valorise waste tyre. Instituto de Carboquímica, CSIC, M Luesma Castan 4, 50018-Zaragoza, Spain. Received 18 May 2005; received in revised form 7 July 2005; accepted 7 July 2005. *Fuel Processing Technology* 87 (2006) 143 – 147. (www.elsevier.com/locate/fuproc).
40. Park. J.K., Edil, T.B., Kim, J.Y., (1996). Mitigation of organic compound movement in landfills by shredded tires. *Water Environment Research* 68 (1), 4–10, 1996.
41. Pickering. S.J., (2005). Recycling technologies for thermoset composite materials-current status. School of Mechanical, Materials and Manufacturing Engineering, the University of Nottingham, University Park, Nottingham NG7 2RD, UK. Received 27 April 2005; accepted 13 May 2005. *Composites: Part A* 37 (2006) 1206-1215. (Science and Direct: www.sciencedirect.com; www.elsevier.com/locate/compositesa).
42. Qu. W., Zhou. Q., Zhong Wang*. Y., Zhang. J., Lan. W.W., Wu. Y.H., Yang. J.W., Wang. D.Z., (2006). Pyrolysis of waste tire on ZSM-5 zeolite with enhanced catalytic activities. Institute of Recycling of Polymeric Materials, Center for Degradable and Flame-Retardant Polymeric Materials, College of Chemistry, Sichuan University, 29 Wangjiang Road, Chengdu, Sichuan Province 610064, PR China. Received 30 December 2005; received in revised form 28 March 2006; accepted 30 March 2006. *Polymer Degradation and Stability* xx (2006) 1-7. (www.sciencedirect.com www.elsevier.com/locate/polydegstab).
43. Rincón.^{a*} J., Cañizares.^b P., García^c M.T., (2006). Regeneration of used lubricant oil by ethane extraction. ^aDepartamento de Ingeniería Química, Universidad de Castilla-La Mancha, Facultad de Ciencias del Medio Ambiente, Avda. Carlos III, s/n. 45071 Toledo, España. ^bDepartamento de Ingeniería Química, Universidad de Castilla-La Mancha, Facultad de Ciencias Químicas, Avda. Camilo José Cela, 10. 13004C Real,

- España. ^cDepartamento de Ingeniería Química, Universidad de Castilla-La Mancha, Escuela Universitaria Politécnica de Almadén, Plaza Manuel Meca, 1. 13400, Almadén (C. Real), España. Received 10 March 2005; received in revised form 8 February 2006; accepted 6 March 2006. J. (www.sciencedirect.com; www.elsevier.com/locate/supflu).
44. Rogers. J.N., Vanini. J.T., Crum. J.R., (1998). Simulated traffic on turfgrass topdressed with crumb rubber. *Agronomy Journal* 1998. 90 (2), 215–221.
45. Scala.^{a*} F., Chirone.^a R., Salatino.^b P., (2002). Fluidized bed combustion of tyre derived fuel. ^aInstitute di Ricerche sulla Combustione - CNR, Piazzale Tecchio 80, 80125 Napoli, Italy. ^bDipartimento di Ingegneria Chimica, Università degli Studi di Napoli Federico II, Piazzale Tecchio 80, 80125 Napoli, Italy. Received 6 January 2002; received in revised form 17 June 2002; accepted 9 July 2002. *Experimental Thermal and Fluid Science* 27 (2003) 465–471. (www.elsevier.com/locate/etfs).
46. Sharma. V.K., Fortuna. F., Mincarini. M., Berillo. M., Cornacchia. G., (2000). Disposal of waste tires for energy recovery and safe environment. ENEA C.R. Trisaia, AMB-TEIN-RIF Unit, 75025 Policoro (MT), Italy. *Applied Energy* 65 (2000) 381-394. www.elsevier.com/locate/apenergy.
47. Takeshi.^a A., Themelis^b N.J., Wernick.^{c*} I.K., (1999). Resource recovery from used rubber tires. ^aMitsubishi Heavy Industries (Visiting Scholar, Columbia University, 9/97-9/98), Technical Headquarters, Yokohama R&D Center, 1-8-1, Sachiura, Kanazawa-ku, Yokohama 236-8515, Japan. ^bColumbia University, Earth Engineering Center, 500 West 120th St., New York, NY 10027, USA. ^cColumbia Earth Institute, 405 Low Library, New York, NY 10027, USA. Received 9 June 1999; received in revised form 17 August 1999; accepted 25 August 1999. *Resources Policy* 25 (1999) 179-188. (www.elsevier.com/locate/resourpol).
48. Ucar^a S., Karagoz^a S., Yanik^b J., Saglam^c M., Yuksel^c M., (2005). Copyrolysis of scrap tires with waste lubricant oil. ^aDokuz Eylul University, IMYO, Chemistry Program, 35160 Buca, Izmir, Turkey. ^bEge University, Faculty of Science, Department of Chemistry, 35100 Bornova, Izmir, Turkey. ^cEge University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, 35100 Bornova. Izmir,

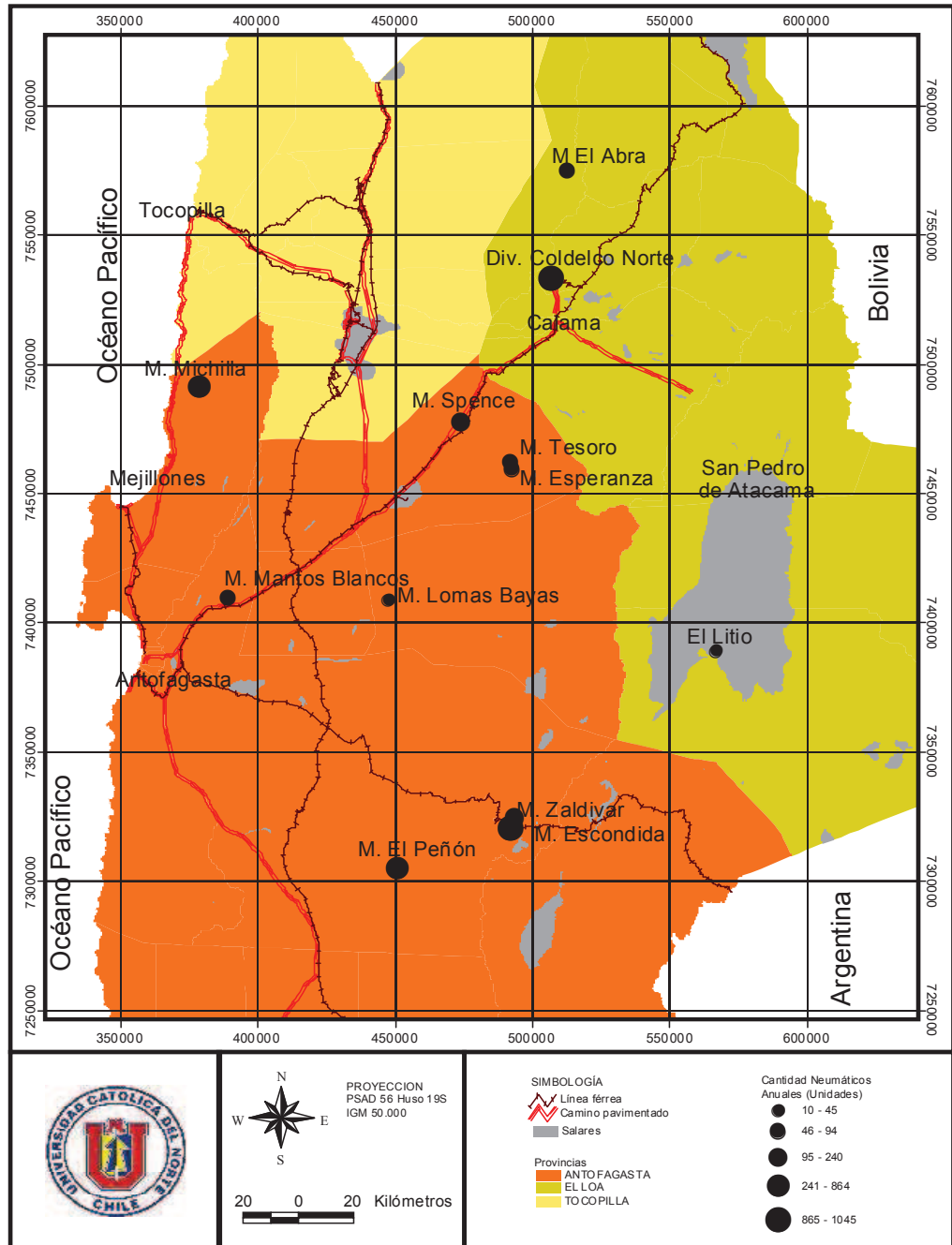
Turkey. Received 15 December 2004; received in revised form 14 January 2005; accepted 14 June 2005. *Fuel Processing Technology* 87 (2005) 53 - 58. (www.elsevier.com/locate/fuproc).

49. Xiao. R., Chen. X., Wang. F., Yu*. G., (2009). Pyrolysis pretreatment of biomass for entrained-flow gasification. Key Laboratory of Coal Gasification of Ministry of Education, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, PR China. Received 2 December 2008. Received in revised form 14 June 2009. Accepted 16 June 2009 Available online 12 July 2009. *Applied Energy* 87 (2010) 149–155. Journal homepage: www.elsevier.com/locate/apenergy .

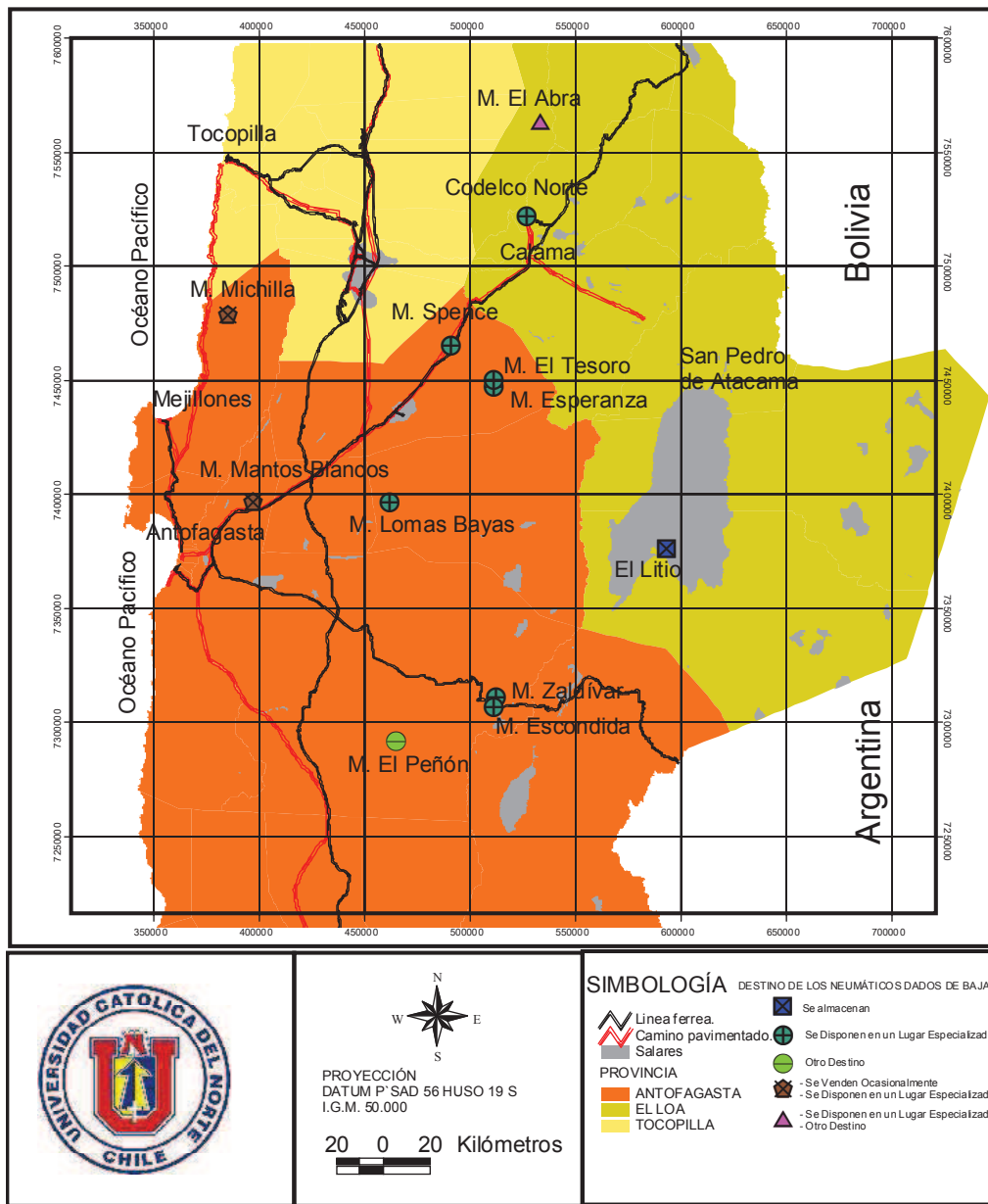
CAPITULO 7 ANEXO 1

CARTOGRAFIAS AMBIENTALES TEMATICAS

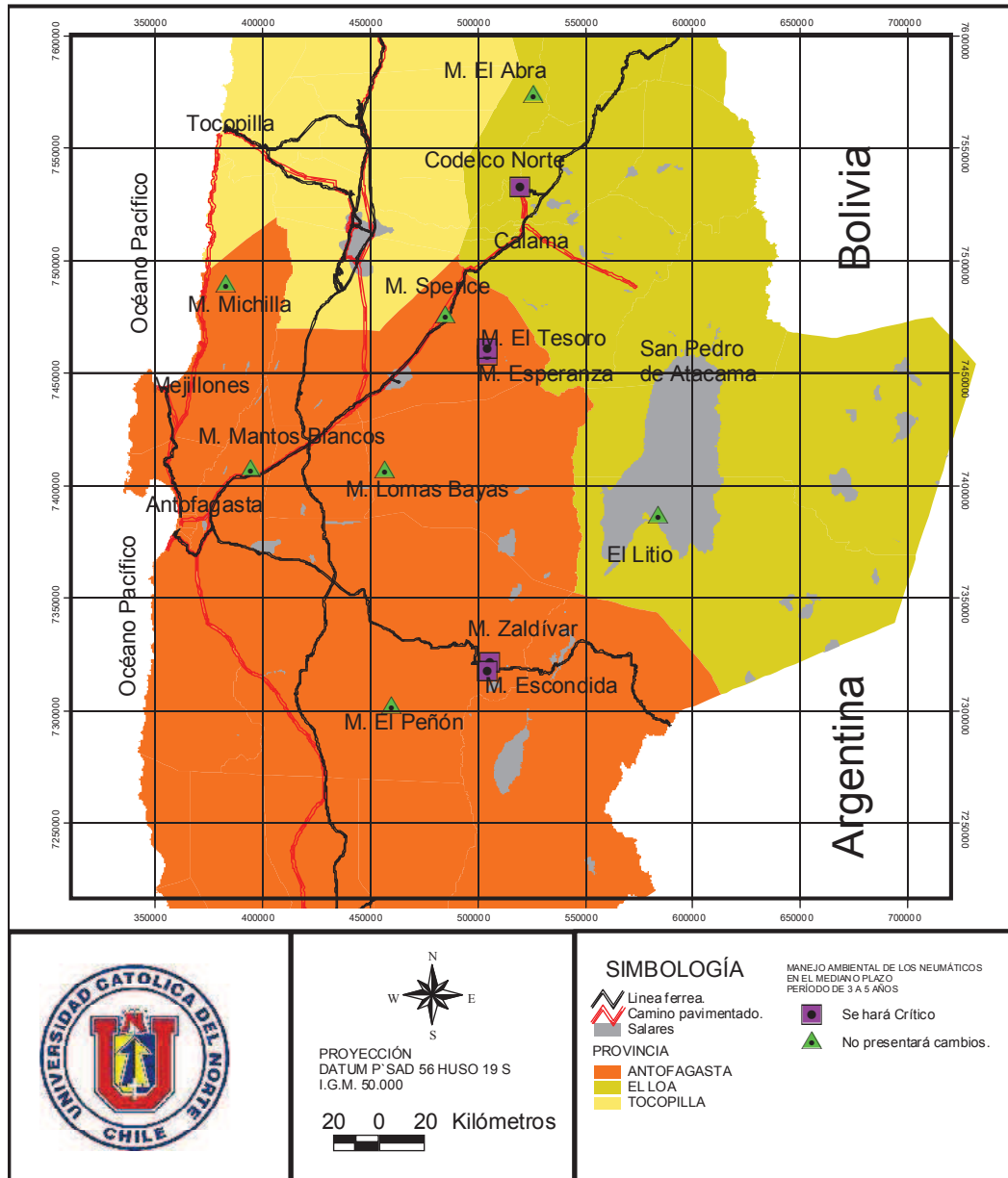
VISUALIZACION CARTOGRAFICA SIG: CANTIDAD ANUAL GENERADA DE NEUMÁTICOS USADOS DEL TIPO “FUERA DE CARRETERA”



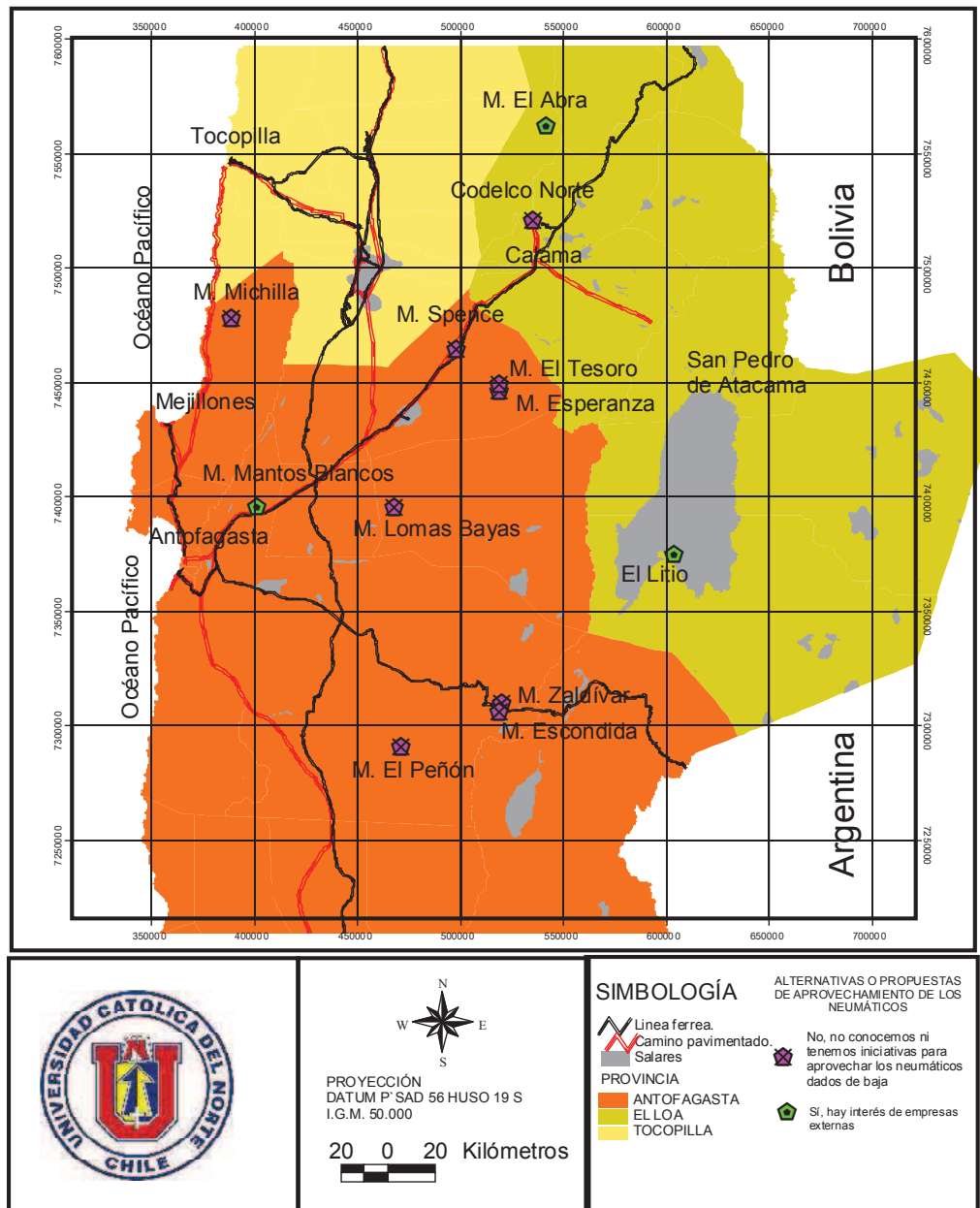
VISUALIZACION CARTOGRÁFICA SIG: DESTINO DE LOS NEUMÁTICOS USADOS DEL TIPO “FUERA DE CARRETERA” DADOS DE BAJA



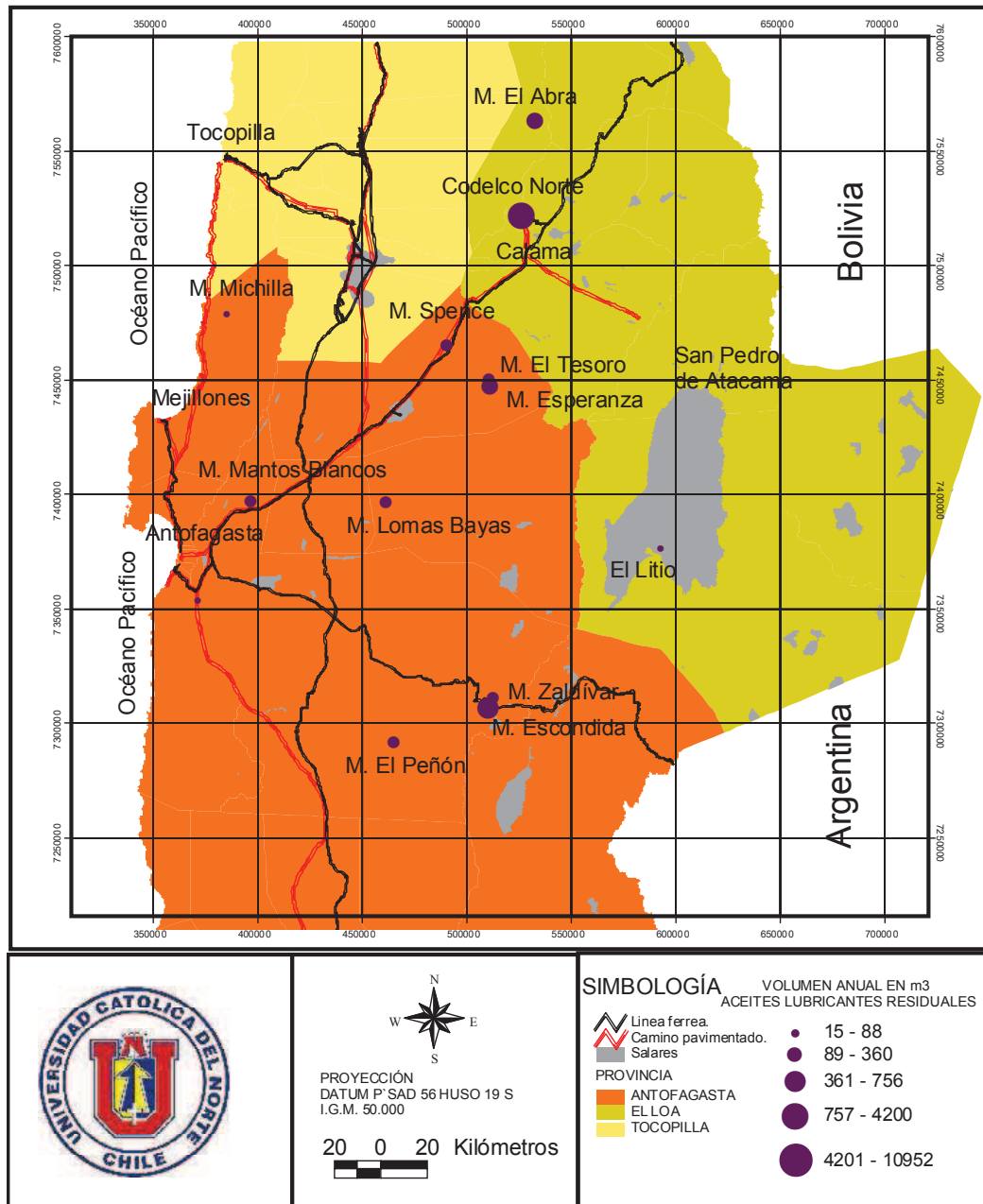
VISUALIZACION CARTOGRÁFICA SIG: MANEJO AMBIENTAL DE LOS NEUMÁTICOS USADOS DEL TIPO “FUERA DE CARRETERA”



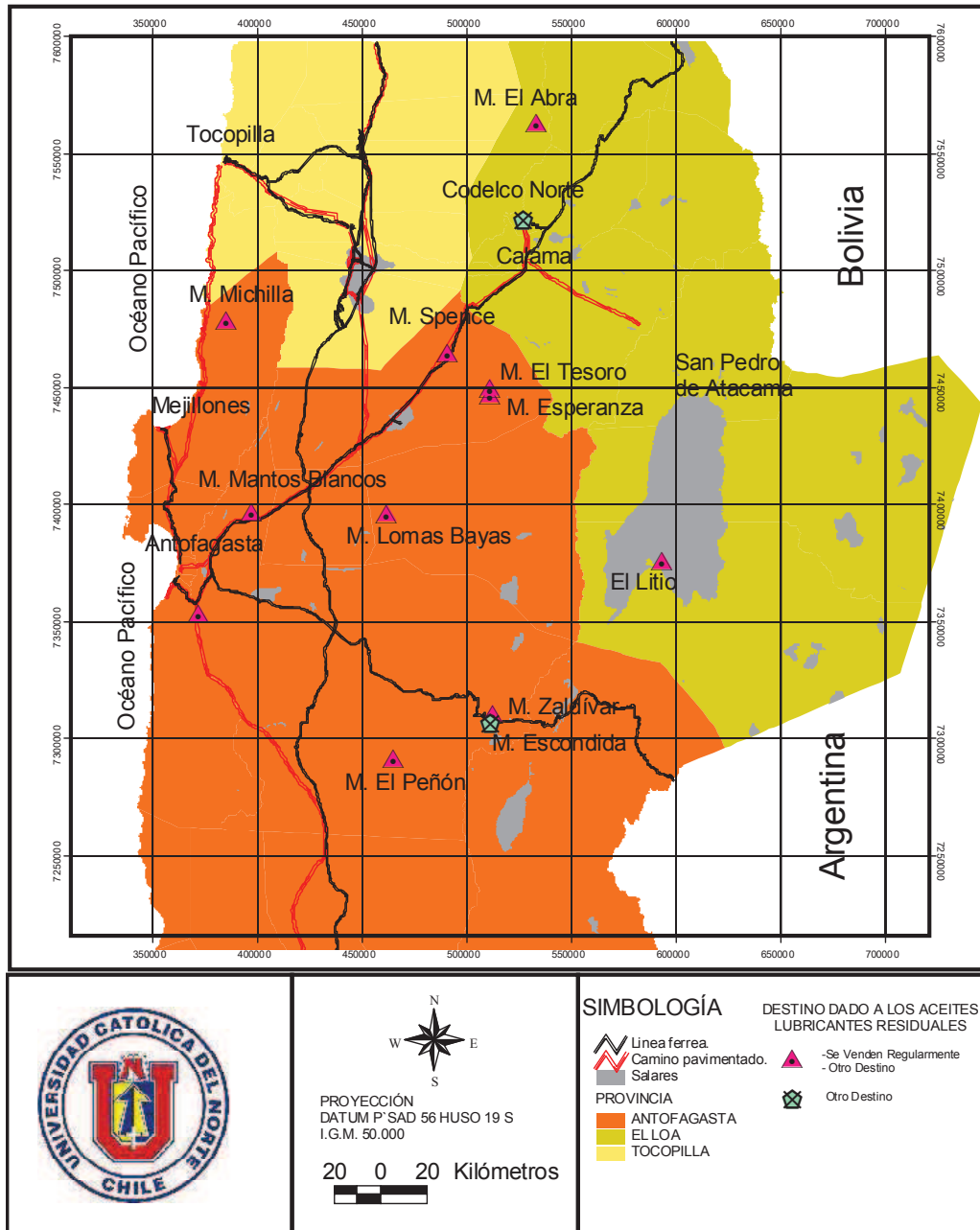
VISUALIZACION CARTOGRAFICA SIG: ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO DE LOS NEUMÁTICOS USADOS DEL TIPO “FUERA DE CARRETERA”



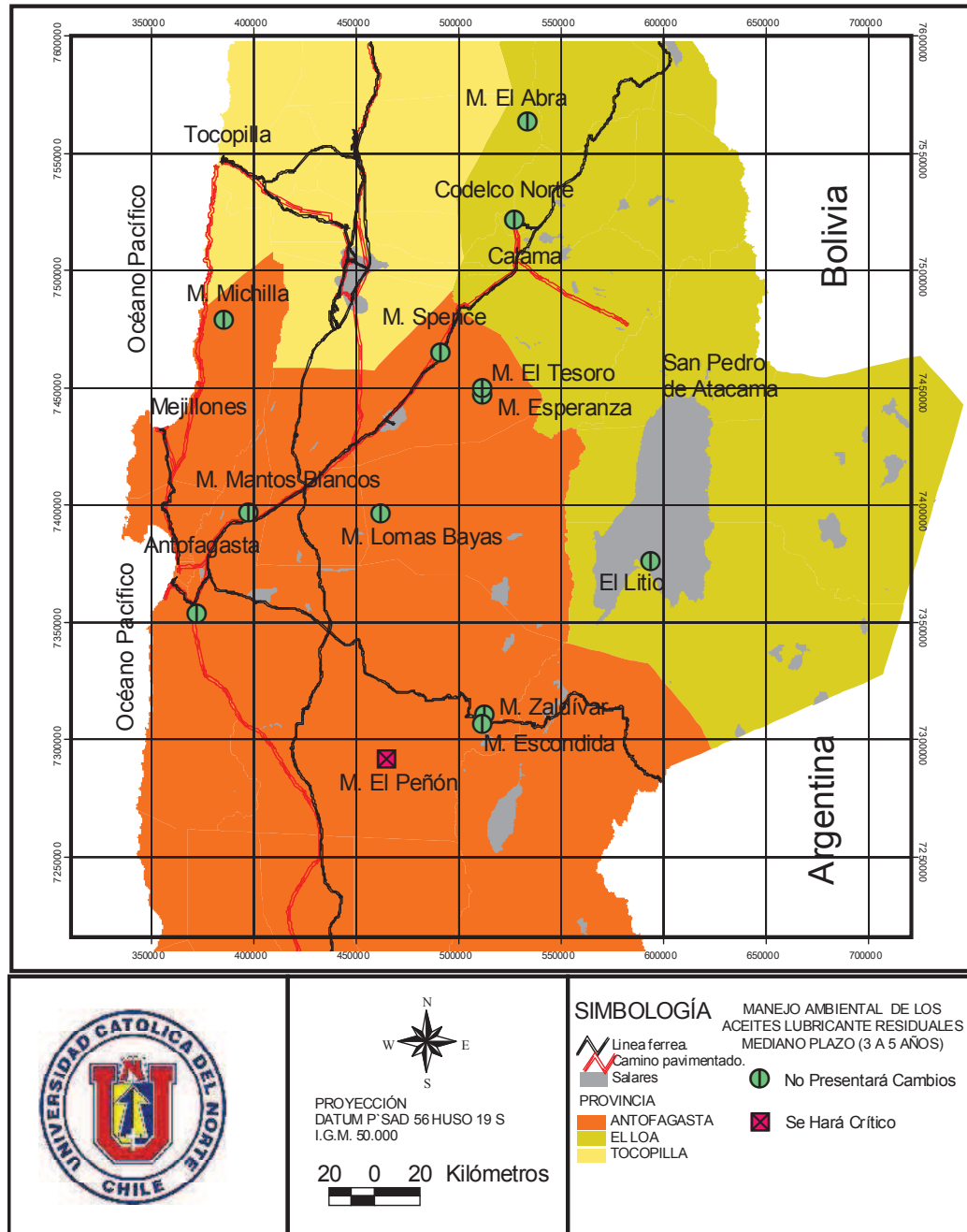
VISUALIZACION CARTOGRAFICA SIG: VOLUMEN (m³) DE ACEITES LUBRICANTES RESIDUALES GENERADOS ANUALMENTE



VISUALIZACION CARTOGRAFICA SIG: DESTINO DE LOS ACEITES LUBRICANTES RESIDUALES GENERADOS ANUALMENTE



VISUALIZACION CARTOGRAFICA SIG: MANEJO AMBIENTAL DE LOS ACEITES LUBRICANTES RESIDUALES GENERADOS ANUALMENTE



VISUALIZACION CARTOGRÁFICA SIG: ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO DE LOS ACEITES LUBRICANTES RESIDUALES GENERADOS ANUALMENTE

