



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL

**INSTALACIÓN DE UNA PLANTA DE PIRÓLISIS PARA LA VALORIZACION DE
NEUMÁTICOS FUERA DE USO PARA LA EMPRESA REINVENT**

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN GESTION PARA LA
GLOBALIZACIÓN

PATRICIA ANDREA VALDEAVELLANO NAVARRO

PROFESOR GUIA:

JORGE LARA BACCIGALUPPI

MIEMBROS DE LA COMISION:

ANDREA NIETO EYZAGUIRRE
JAVIER VENEGAS NÚÑEZ

SANTIAGO DE CHILE

AGOSTO 2013

RESUMEN EJECUTIVO

El progreso y el desarrollo traen consigo consecuencias no deseadas, siendo la desproporcionada generación de residuos una de ellas. Un caso muy especial son los neumáticos fuera de uso -NFU-. Al no ser biodegradables, miles se apilan por años esperando por una mejor solución. Nuestro país no está ajeno a este fenómeno, agravado por una falta de políticas que intenten atacar el problema. Siendo un país en constante riesgo de desabastecimiento energético, Chile se vería altamente beneficiado al investigar alternativas para otorgarles a éstos y otros residuos un valor de recurso energético no convencional. Un análisis del contexto nacional, muestra que la incorrecta disposición de NFU es un problema que ha ido creciendo con el tiempo y que existen pocas iniciativas exitosas comercialmente que se hagan cargo de este residuo. Todo podría cambiar luego del ingreso al Congreso de la Ley General de Residuos, que promueve como solución el principio de Responsabilidad Extendida al Productor y un sistema de gestión integral, tal como ocurre en otros países de la OCDE.

Como empresa dedicada a la aplicación y comercialización de tecnologías para la gestión de residuos, Reinvent SpA. se interesó en encontrar alguna alternativa de inversión que permitiera traer a Chile tecnología probada en el extranjero y que diera solución a la problemática de los NFU, aportando asimismo a la diversificación de la matriz energética nacional.

Para emprender esta tarea, en una primera fase se realizó una pesquisa de las tecnologías disponibles en el mundo que se encontrasen en una etapa comercial o al menos post piloto. De las experiencias revisadas se concluyó que los procesos de conversión termoquímicos pueden ser económicamente viables. El éxito parece depender de factores como el financiamiento de la alta inversión inicial, la solidez de los contratos de venta, un suministro constante de materia prima y especialmente la calidad y especificaciones técnicas de los productos, los que su vez dependen de los parámetros de operación de la planta.

En la segunda fase y luego de contactar a posibles proveedores, en conjunto con Reinvent se seleccionó el más idóneo, que además cuenta con una planta operando comercialmente en Turquía. Finalmente esto redundó en el objetivo de este trabajo, esto es, realizar un análisis de competitividad y evaluación económica del proyecto "INSTALACIÓN DE UNA PLANTA DE PIRÓLISIS PARA LA VALORIZACION DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO".

El proyecto consiste en la generación de aceite combustible, negro de carbón y acero recuperado vía pirólisis de neumáticos. La evaluación económica mostró que, con un horizonte de 20 años, el proyecto debería ser acometido dado que tiene un VAN de €4.662.691 descontado al 25%, y con una TIR de 39.2%. Las variables más relevantes en este resultado fueron el precio del fuel oil y el del carbón. Si bien no se consideró una tasa por disposición del neumático, misma que podría ser cobrada en el eventual escenario de una ley REP vigente, en la simulación de escenarios resultó ser la variable más importante y que por sí sola justificaría la existencia de la planta.

EXECUTIVE SUMMARY

Progress and development bring with them unwanted consequences being disproportionate waste generation one of them. Scrap tires are a special case, they are not biodegradable and thousands of them are accumulated for years waiting for a solution. Our country is not unfamiliar to this phenomenon, which is exacerbated by a lack of policies aimed to deal with the problem. As a country under constant energy shortages risk, Chile would be highly benefited from the research in alternatives to give these and other waste streams a value as non-conventional energy resources. An analysis of the national scenario reveals that incorrect disposal of scrap tires is a growing problem and there are few commercially successful initiatives dealing with this type of waste. However, this situation could change after Congress approval of the Law on Waste Management, regulation that promotes both the principle of Extended Producer Responsibility and a comprehensive management system as a combined solution to the problem, as it is happening in other OECD countries.

As a company dedicated to the application and commercialization of waste management technologies, Reinvent SpA was interested in bringing to Chile proven foreign technology that deals with the problem of scrap tires, obtaining in this way both an investment opportunity and a means to contribute to the diversification of the national energetic matrix.

To undertake this task, at a first stage it was accomplished an examination of technologies available at commercial stage in the world. Based on the reviewed experiences it was concluded that thermo-chemical conversion processes can be economically viable. Success seems to depend on factors such as funding of high initial investment, strength of the sales contracts, a steady supply of raw material and quality and technical specifications of produced products, which in turn depend on plant's operation parameters.

In a second stage of this work, after contacting potential suppliers, the most suitable provider was selected. This task was done working together with Reinvent. The chosen provider has a plant in commercial operation in Turkey. Finally, this process led to the objective of this work: a competitiveness analysis and an economic evaluation of the project "Installation of a scrap tires pyrolysis plant for Reinvent SpA".

The project consists in the generation of fuel oil, carbon black and steel scrap through a tire pyrolysis process. With a time horizon of 20 years, economic evaluation showed that the project should be undertaken because it has a NPV of €4.662.691 at a 25% discount rate and has an IRR of 39.2%. For these results, the most important variables were fuel oil and carbon black prices. Even though it could be considered in the case of a valid EPR law, a tire disposal fee was not included in the valuation. Nevertheless, in the simulation of scenarios, a disposal fee turned out to be the most important variable, which alone would justify the existence of the plant.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	2
EXECUTIVE SUMMARY	3
1. ASPECTOS GENERALES	7
1.1. Introducción.....	7
1.2. Justificación de la oportunidad de negocio.....	8
1.3. Alcance	8
1.4. Objetivos	8
1.5. Metodología	9
2. DIAGNÓSTICO DE LA INDUSTRIA	9
2.1. Revisión de neumáticos fuera de uso generados en el mundo	9
2.1.1. Introducción	9
2.1.2. Composición de los neumáticos	11
2.1.3. Eliminación de neumáticos fuera de uso	13
2.2. Revisión de neumáticos fuera de uso generados en Chile	14
2.2.1. Legislación.....	15
2.2.2. Responsabilidad Extendida al Productor	18
2.3. Métodos de Valorización de Neumáticos Fuera de Uso.....	20
2.3.1. Introducción	20
2.3.2. Reutilización	21
2.3.3. Incineración	22
2.3.4. Industria Cementera	23
2.3.5. Industria del Papel y la Pulpa	23
2.3.6. Empresas Eléctricas	23
2.3.7. Calderas industriales/institucionales.....	24
2.3.8. Instalaciones dedicadas a la conversión de Neumáticos en Energía	24
2.3.9. Trituración Criogénica.....	24
2.3.10. Procesos de conversión termoquímicos.....	25
2.3.11. Pirólisis	25
2.3.12. Gasificación.....	27
2.3.13. Tecnología de Plasma.....	27
2.3.14. Ventajas y Desventajas tecnologías disponibles.....	28
2.4. Descripción del proyecto	29
2.4.1. Proveedor	30

2.5.	Análisis de Competitividad – Porter.....	31
2.5.1.	Rivalidad entre firmas	31
2.5.2.	Barreras de entrada.....	32
2.5.3.	Poder de los proveedores.....	33
2.5.4.	Poder de los consumidores	34
2.5.5.	Amenaza de Sustitutos	35
2.5.6.	Grafica análisis de Porter	35
2.6.	Análisis de Competitividad - FODA.....	36
2.6.1.	Fortalezas.....	36
2.6.2.	Oportunidades	36
2.6.3.	Debilidades.....	37
2.6.4.	Amenazas.....	38
2.6.5.	Conclusión análisis FODA.....	38
2.7.	Análisis de grupos de interés	38
2.8.	Impactos no-cuantificables.....	39
2.8.1.	Impacto Medioambiental.....	39
2.8.2.	Impacto Económico	40
3.	IMPLEMENTACIÓN.....	41
3.1.	Modelo de negocios utilizando CANVAS	41
3.1.1.	Segmentacion de Clientes	41
3.1.2.	Propuesta de Valor	46
3.1.3.	Canales de Comunicación y Distribución	47
3.1.4.	Relación con los Clientes	48
3.1.5.	Fuentes de Ingresos.....	49
3.1.6.	Recursos Claves.....	52
3.1.7.	Actividades Claves	53
3.1.8.	Alianzas Claves	54
3.1.9.	Estructura de Costos	54
3.1.10.	Cuadro resumen.....	55
3.2.	Plan de operaciones.....	56
3.2.1.	Flujo de operaciones	56
3.2.2.	Infraestructura física	59
3.2.3.	Plan de producción	63
3.2.4.	Logística inversa.....	63
3.2.5.	Personal de operación.....	65

3.3. Plan de implementación (Gantt).....	65
3.4. Evaluación Económica.....	65
3.4.1. Supuestos.....	65
3.4.2. Financiamiento.....	67
3.4.3. Costos - Inversión.....	67
3.4.4. Costos Operacionales.....	67
3.4.5. Beneficios – Tipping fee.....	68
3.4.6. Beneficios – Subproductos.....	68
3.4.7. Tasa de descuento.....	69
3.4.8. Resultados – Cash Flow.....	70
3.4.9. Análisis de sensibilidad.....	71
3.4.10. Análisis de escenarios.....	73
3.4.11. Conclusiones de la Evaluación Económica.....	74
4. Resultados y Conclusiones.....	75
5. Glosario.....	79
6. Bibliografía.....	82
7. Anexos.....	83
ANEXO A Plantas de conversión termoquímica que procesan NFU.....	83
ANEXO B Matriz residuo-tecnología.....	87
ANEXO C Resultados análisis del aceite combustible realizado por Wärtsilä.....	95
ANEXO D Objetivos específicos del APL.....	97

1. ASPECTOS GENERALES

1.1. INTRODUCCIÓN

Mundialmente, cada día se hace más necesaria la búsqueda de nuevas fuentes energéticas que permitan a las naciones ser más independientes de insumos escasos como el petróleo. Especialmente en Chile, donde la matriz energética es poco diversificada y depende de combustible que se importa a un alto costo. Es por eso, que muchos países desarrollados ya reutilizan sus residuos para convertirlos en energía. Nuestro país en este ámbito no tiene experiencia y por ello constituye una oportunidad. A este desafío se une la necesidad de manejar los desechos de forma ambientalmente sustentable, y Chile en este aspecto ha aceptado la búsqueda de alternativas limpias al formar parte de la OECD, por lo que la solución debe cumplir con las normativas ambientales actuales y en desarrollo en el país.

La tesis propuesta trata sobre el tratamiento de residuos para la conversión a energía. Se compone de dos etapas. La primera es una investigación cualitativa sobre la potencialidad de residuos en Chile para convertirlos a energía, buscando aquel par residuo – tecnología que esté probada en otros lugares del mundo. Una vez hecho este análisis se procederá a elegir un residuo – tecnología en específico para abordarlo en detalle y hacer la evaluación económica y la factibilidad de implementación en Chile. La etapa de investigación y análisis no hará parte de este documento pero el resultado podrá encontrarse en los anexos.

Reinvent es un holding y fondo de inversión que posee empresas relacionadas con el medio ambiente que actualmente trabajan residuos domiciliarios e industriales incluyendo residuos peligrosos. Posee dos empresas asociadas al tratamiento de residuos: Hidronor y Copiulemu. Constantemente la empresa está buscando nuevas oportunidades de inversión relacionadas con el área del medioambiente. La empresa quiere invertir en un proyecto que tenga potencial en Chile, especialmente en el área de conversión de residuos en energía, donde ven que podrían existir mayores sinergias con su proceso productivo actual.

Reinvent es el sponsor de esta tesis, así como el eventual inversionista del proyecto. La empresa proporcionará el *know how* referido al manejo de residuos y realizará la gestión con los contactos de empresas extranjeras para obtener la mayor información posible de los potenciales proveedores.

En la primera etapa del proyecto, se evaluará el potencial de los residuos en Chile versus las tecnologías probadas en el extranjero. En esta etapa se revisarán además temas como análisis de la industria y legislación chilena. Luego, en conjunto con Reinvent se seleccionará una tecnología y un proveedor específicos para desarrollar esta tesis, sobre los cuales se realizará una evaluación en detalle.

1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA OPORTUNIDAD DE NEGOCIO

La generación y posterior disposición de los neumáticos fuera de uso se ha convertido en un problema creciente en las últimas décadas, situación que nuestro país no desconoce. Los neumáticos descartados representan uno de varios residuos especiales que son difíciles de manejar para los municipios. Si se disponen enteros son difíciles de verter en rellenos sanitarios, ya que tienden a flotar a la superficie, por lo que las soluciones a la fecha terminan siendo bien la incineración indiscriminada con el consecuente daño al medioambiente, o la creación de grandes pilas resultando en consecuencias para la salud pública, o bien como último recurso, el volcado en el mar. La industria de la minería no solo no es ajena al problema, sino que lo experimenta amplificado debido a que las dimensiones de los neumáticos que desecha no permiten una disposición sencilla.

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

A pesar de ello, las tecnologías que en el mundo intentan darle valor energético a los residuos, en nuestro país son prácticamente desconocidas. La madurez alcanzada por ellas, el espacio en el mercado chileno y la oportunidad de ser los primeros abre una atractiva opción para incursionar con un proyecto que trate de resolver ambos problemas.

1.3. ALCANCE

El alcance de esta tesis comprende:

1. Exploración de las alternativas más utilizadas actualmente y en operación en el extranjero para la conversión de residuos en energía.
2. Selección de una alternativa cuya implementación en Chile sea viable para la conversión en energía de los Neumáticos Fuera de Uso. Varios factores influirán en esta viabilidad: disponibilidad del recurso NFU en nuestro país; nivel de madurez de la tecnología de tratamiento y situación actual (que no vaya en retirada), calidad de los productos finales del proceso y legislación medioambiental actual.
3. Evaluación de la implementación y operación en Chile de la alternativa seleccionada, incluyendo un análisis competitividad y de costos e ingresos.
4. Conclusiones y recomendaciones de la tesis.

1.4. OBJETIVOS

El resultado esperado para este trabajo es identificar alternativas probadas en el extranjero y que puedan aplicarse en Chile para la transformación de neumáticos fuera de uso (NFU) en energía, ya sea directamente o mediante la generación de productos de valor comercial. Luego de un análisis cualitativo, se pretende evaluar la factibilidad económica de implementar una de ellas.

1.5. METODOLOGÍA

En la selección y posterior evaluación de las alternativas de residuo-tecnología se completaron las siguientes actividades:

- **Análisis de la Industria “Waste to Energy”:** Levantamiento del estado de la práctica en relación a las tecnologías de conversión de residuos en energía en el mundo con el fin de identificar las que estén ampliamente probadas y continúen vigentes actualmente, dado que algunas de estas tecnologías van en retirada.
- **Selección de residuo:** Para ser tratada como tesis individual, por requerimiento de Reinvent se seleccionó la opción de investigar Neumáticos Fuera de Uso (NFU) como fuente de Energía no convencional dada la potencialidad de su uso como recurso energético.

En la segunda fase de esta tesis, se realizó:

- **Selección de proveedor-tecnología:** En conjunto con Reinvent se seleccionó el proveedor de la tecnología elegida para tratar los NFU.
- **Modelo de Negocios:** Descripción del Modelo de Negocios que se desea implementar en Chile, basado en las experiencias en el extranjero. Quien es el cliente, cual es la cadena de creación de valor, cuales son los canales de distribución, cuales son los otros integrantes de esta cadena, proveedores e intermediarios y estimar la estructura de costes y el potencial de ingresos.
- **Desarrollo del Proyecto:** Elaboración de una propuesta de proyecto que garantice una apropiada implementación del modelo de negocios.
- **Análisis y evaluación económica:** Ordenar y sistematizar la información de carácter monetario obtenida antes, para realizar un análisis de rentabilidad económica empleando herramientas tales como VAN, TIR, análisis de break-even y análisis de sensibilidad.

2. DIAGNÓSTICO DE LA INDUSTRIA

2.1. REVISIÓN DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO GENERADOS EN EL MUNDO

2.1.1. INTRODUCCIÓN

John Boyd Dunlop inventó el neumático en el año 1888. Desde la invención de este primer neumático hasta hoy, la producción de neumáticos se ha expandido continuamente, convirtiéndose en una industria que factura, 100 años más tarde, más de 53,4 millones de dólares. Como era de esperar, este aumento en el consumo de neumáticos aumentó también el volumen de neumáticos de desecho, o más comúnmente referidos como “Neumáticos fuera de Uso” –NFU-. Los neumáticos fuera de uso representan aproximadamente el 2% de la cantidad global de desechos sólidos. La generación mundial de neumáticos usados en 2005 fue de

más de 2,5 millones de toneladas en Norteamérica, 2,5 millones toneladas en Europa y 0,5-1,0 millones de toneladas en Japón, lo que significa 6 kg (el peso aproximado de un neumático) por habitante al año. Estas cifras se estiman que aumenten a 17 millones de toneladas por año (aproximadamente 1400 millones de neumáticos) para el 2013, ya que el producto nacional bruto en los países en desarrollo sigue aumentando, lo que fomenta tanto la demanda de automóviles nuevos como la sustitución de neumáticos como medida para una conducción segura. Por ejemplo, el aumento en las ventas de automóviles en Asia, especialmente en China, aumentará rápidamente el número de neumáticos usados en esta zona. Con 1 millón de toneladas en 2005, esta cifra se duplicó en 2010, con un 12% de aumento anual¹. Suponiendo que el 85% de los neumáticos provienen de los vehículos, China se convertirá en el primer productor mundial de neumáticos usados.

Los neumáticos fuera de uso tradicionalmente han sido clasificados como "residuos especiales", los cuales no son considerados tóxicos. En los Estados Unidos, la clasificación precisa es "residuos sólidos municipales con características especiales". En España la clasificación es "residuos no especiales pero diferentes de los residuos sólidos municipales"². Pueden ser considerados una categoría de residuos relativamente homogénea. Sin embargo, hay tantos tipos y formulaciones diferentes de neumáticos como fabricantes disponibles, pues la composición de cada neumático varía enormemente dependiendo de su fabricante, del grado y de la edad del mismo³.

Disponer de los neumáticos fuera de uso de manera segura y ambientalmente apropiada es un reto, principalmente debido a su tamaño, forma y naturaleza fisicoquímica. Los vertederos de neumáticos en desuso plantean dos importantes amenazas para la salud: las plagas y el fuego. Las plagas que acarrean enfermedades, como los roedores, puede vivir perfectamente en las pilas de neumáticos; los mosquitos pueden reproducirse en el agua lluvia estancada dentro de los neumáticos; varias variedades de mosquitos pueden acarrear enfermedades mortales, incluyendo dengue y encefalitis. Para empeorar la situación, los programas de erradicación y control de plagas y mosquitos son difíciles de llevar a cabo. El fuego es la segunda preocupación. Los neumáticos pueden arder durante largos períodos de tiempo y son difíciles de extinguir. Además liberan un humo negro y espeso y pueden contaminar el suelo con un residuo grasoso.

Durante muchos años la problemática relacionada con los neumáticos fuera de uso ha ocupado las mentes tanto de los creadores de las políticas gubernamentales como de los fabricantes en la industria del neumático. Sin embargo, aún no se gestionan los neumáticos en desuso de la manera como debería hacerse. La mayoría de los neumáticos son eliminados en un vertedero pero también hay un

¹ López et al., 2009.

² Conesa et al 2004, Conesa, Fullana & Fuente 2000

³ Kyari, Cunliffe & Williams 2005

número significativo que son desechados ilegalmente. Estas prácticas legales e ilegales fallan en extraer cualquier valor de los neumáticos fuera de uso.

No obstante, los neumáticos poseen ciertas características que pueden ayudar a las buenas prácticas en su gestión: la principal ventaja es que pueden ser recolectados en un centro de reemplazo de neumáticos (las “servitecas” que existen en Chile) y por lo tanto no tienen que ser separados de otros tipos de residuos. Esto los convierte en un tipo de residuo relativamente homogéneo y que no está contaminado en el punto de recolección. Aunque se acopien en numerosos puntos de recolección, siempre será posible determinar su número, pues son fácilmente identificables y cuantificables. Por último, al final de su vida, un neumático todavía conserva mucho de su estructura original y de su composición física y química. Esto otorga grandes oportunidades para su reutilización y para la extracción de energía a partir de ellos.

2.1.2. COMPOSICIÓN DE LOS NEUMÁTICOS

Los neumáticos contienen caucho vulcanizado añadido a tela goma con refuerzo de cuerdas textiles, aros de acero y perlas de refuerzo de alambre de acero. Diferentes formulaciones de caucho tanto natural como sintético se utilizan para producir neumáticos. Los cauchos más utilizados son el caucho natural (natural rubber), caucho butilo (butyl rubber) y caucho de estireno butadieno (stirene-butadiene rubber)⁴. Otros componentes en el neumático incluyen: negro de carbono o negro de humo, que es utilizado para reforzar el caucho y ayudar a la resistencia a la abrasión; aceite extensor, que es una mezcla de hidrocarburos aromáticos que sirve para ablandar la goma y mejorar la vida útil; azufre, que es utilizado para vincular las cadenas de polímero dentro de la goma y para prevenir la excesiva deformación a temperaturas elevadas; un acelerador, normalmente un compuesto órgano-sulfúrico, añadido como un catalizador para el proceso de vulcanización; finalmente, óxido de zinc y ácido esteárico, utilizado para controlar el proceso de vulcanización y mejorar las propiedades físicas del caucho⁵.

El neumático no cambia mucho con el uso, pero debido al contacto físico con las carreteras durante su vida útil, los neumáticos en desuso pesan aproximadamente un 18% menos en comparación con los neumáticos nuevos. La tabla siguiente enumera los componentes de los neumáticos típicos, tanto nuevos como usados⁶.

⁴ Conesa et al 2004, Conesa, Fullana & Fuente 2000

⁵ Kyari, Cunliffe & Williams 2005.

⁶ Pehlken, Essadiqi 2005, Zabaniotou, 2003 Stavropoulos, Sharma et al 2000, Sharma et al 1998

Componentes	Peso %				
	Neumático pasajeros		Neumático camiones		
	Nuevo	Usado	Nuevo	Usado	
Caucho total		48	47	45	43
Natural		14	N/A	27	N/A
Sintético		27	N/A	14	N/A
Otros		7	N/A	7	N/A
Negro de humo		22-31	22-31	22-31	22-31
Acero		14-15	16	14-25	27
Fibras, rellenos		16-17	N/A	16-17	N/A
Aceite Extendedor		1.9-8	7.5	6	6
Óxido de Zinc		1.2-1.9	1	2.2	2
Ácido esteárico		1.2	N/A	N/A	N/A
Azufre		1	1	1	1
Acelerador		0.8	N/A	N/A	N/A
Peso promedio		11 kg	9 kg	54 kg	45 kg

Tabla 1. Componentes típicos del neumático

Los componentes básicos del caucho de neumático se enumeran a continuación⁷.

Composición	% Peso	Ingredientes principales
Caucho	51	Natural, sintético
Agente reforzador	25	Negro de humo, sílice
Suavizante	19.5	Aceite para procesamiento de petróleo, resina sintética
Acelerador de la vulcanización	1.5	Acelerador de Tiazol, acelerador de sulfenamida
Agente vulcanizador	1	Azufre, vulcanizadores orgánicos
Coayudante al acelerador de la vulcanización	0.5	Óxido de zinc, ácido esteárico
Antioxidantes	1.5	Amino-Antioxidantes, antioxidantes para el fenol, cera
Relleno		Arcilla, carbonato de calcio

Tabla 2. Componentes típicos del caucho de neumático

El alto contenido de carbono, similar al del carbón, le otorga un alto valor calorífico. También en comparación con el carbón, los neumáticos fuera de uso tienen un bajo contenido de oxígeno y nitrógeno. Esto es una ventaja para los procesos de pirólisis y gasificación, ya que, además de bajas relaciones estequiométricas, se forman menos contaminantes que utilizan nitrógeno combustible y oxígeno, tales como CO y NOx. El neumático residual tiene bajo contenido de humedad y alto contenido de volátiles, lo cual también facilita el proceso de combustión. Por otro lado, el contenido de cenizas es relativamente alto, siendo este un subproducto que debe eliminarse del proceso.

⁷ Pehlken, Essadiqi 2005

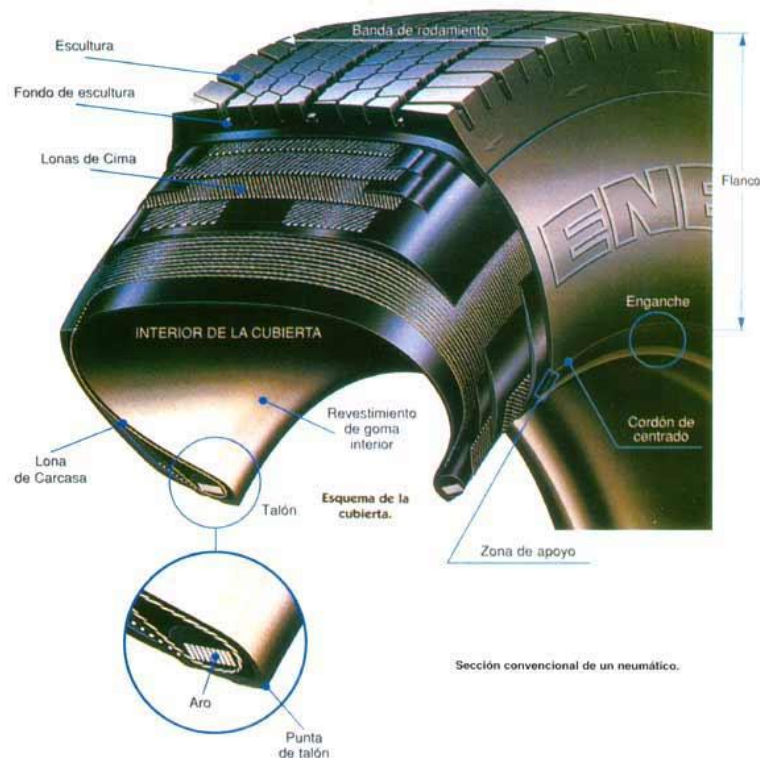


Figura 3. Estructura de un neumático

2.1.3. ELIMINACIÓN DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO

La generación mundial de neumáticos fuera de uso se estima en 1000 millones de neumáticos al año representando alrededor del 2% del volumen global de residuos sólidos⁸. Los vertederos de neumáticos representan, como hemos dicho, el método con mayores riesgos ambientales y de salud, por lo que una gran mayoría de países están creando leyes para reutilizar, reciclar o eliminar neumáticos de una manera más ecológicamente sustentable. La tabla siguiente muestra un resumen de las cantidades de neumáticos en desuso generados alrededor del mundo y sus diferentes métodos de disposición en diferentes países.

País	Neumáticos usados (millones/año)	Recuperación de Energía (%)	Ingeniería Civil y Materiales (%)	Vertederos, basura descartada y otros (%)
------	----------------------------------	-----------------------------	-----------------------------------	---

⁸ López et al 2009, Kyari, Cunliffe y Williams 2005

USA	292	53	33	14
Europa	250	41	43	16
China	112	N/A	N/A	N/A
Japón	80	70	15	15
México	30	0	90	10
Brasil	27	69	13	18
Corea del Sur	23	77	16	7
Canadá	22	20	75	5
Australia	20	22	8	70
Malasia	14	N/A	N/A	N/A
Sudáfrica	12	N/A	N/A	N/A
Irán	10	N/A	N/A	N/A
Israel	3	N/A	N/A	N/A
Nueva Zelandia	4	0	15	85

Tabla 4. Generación de NFU y tendencias de disposición (2007)

2.2. REVISIÓN DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO GENERADOS EN CHILE

Según el informe “Acuerdo de Producción Limpia: Prevención y Valorización de Neumáticos Fuera de Uso”, en nuestro país se producen anualmente casi 3 millones de neumáticos fuera de uso, lo que equivale a unas 42.000 toneladas de residuo. En el análisis realizado en ese reporte, un primer diagnóstico sobre la gestión de los neumáticos fuera de uso determinó que del total de neumáticos 2,5 millones provienen de vehículos livianos, generando 22 mil toneladas de residuo; 85 mil provienen del transporte público, que corresponden a 4 mil toneladas de residuo; 300 mil provienen de vehículos de carga, representando 14 mil toneladas de residuo; y por último 3 mil de vehículos agrícolas, representando aproximadamente 300 toneladas de residuo.

Un análisis más reciente efectuado por el Ministerio del Medio Ambiente en el estudio de Evaluación de Impactos Económicos, Ambientales y Sociales de la Implementación de la Responsabilidad Extendida del Productor (REP) en Chile habla ya de un total de 60 mil toneladas de neumáticos en todo el territorio nacional⁹.

No menos importante, la industria minera representa una fuente adicional y especial de generación de neumáticos fuera de uso. La minería desecha alrededor de 12.000 toneladas al año de neumáticos OTR (Off the Road) y la tendencia indica que el volumen anual debería incrementarse notablemente dado que hay comprometidos USD \$50m en proyectos mineros para los próximos 5 años, además de existir un enorme stock anterior que necesita ser tratado. Cada neumático OTR pesa en promedio 3 toneladas y actualmente no existe una solución que permita cortarlos en pedazos más pequeños lo que obliga a disponerlos intactos.

Por otra parte, como consecuencia de nuestra geografía física y económica existe una alta dispersión de las fuentes de generación de neumáticos fuera de uso.

Si se incluyen solamente los neumáticos de hasta determinado tamaño utilizados en camiones, la Región Metropolitana concentra casi un 40% de la generación nacional de los neumáticos fuera de uso. El resto se distribuye geográficamente como sigue:

⁹ Revista SustentaBit, número 8, Marzo 2011

las regiones de la zona central (Valparaíso, O'Higgins) el 10%, el norte del país (hasta la Región de Coquimbo) un 14,5%, la zona sur (de la Región del Maule hasta los Lagos) el 33,5% y las regiones del extremo sur un 2%.

El mismo estudio estableció que 2000 toneladas están destinadas a ser utilizadas como combustible alternativo en la incineración en hornos de la industria cementera. Concretamente esto ocurre en Cemento Melón, en alianza con neumáticos Goodyear y también en la planta Curicó de Cementos BioBio. Otras 1500 toneladas se destinan a otros usos como la estabilización de laderas de rellenos sanitarios y uso agrícola. Este diagnóstico estaría revelando que para más del 90% de los neumáticos fuera de uso generados al año, se ignora el vertido final.

En lo referente a los actores involucrados en el ciclo de vida del neumático, en nuestro país conviven paralelamente dos realidades. Por un lado participan los grupos y entidades formales, es decir, fabricantes, importadores, distribuidores, talleres automotrices y empresas de recauchaje entre otros. Paralelamente existe un mercado informal que le da valor al neumático fuera de uso y que está detrás de buena parte de ese 90% de NFU con destino desconocido.

Cualquier solución que pretenda hacerse cargo de estos residuos, partiendo lógicamente por su adecuada recolección, deberá además hacerse cargo de las diferencias en el tamaño de los neumáticos, lo que representa un problema concreto respecto a la cantidad efectiva de NFU que pueden ser recolectados. Estas diferencias nos hacen pensar que podría requerirse de cierta especialización en su tratamiento y por lo tanto dificultar la creación de empresas con tratamientos estandarizados dentro de un sistema de gestión integral de los NFU a nivel nacional.

2.2.1. LEGISLACIÓN

La mayoría de los países miembros de la OCDE cuentan con legislación exclusiva para estas materias. Otros países, que se encuentran en vías de desarrollar sistemas de gestión de manejo sustentable de residuos, están en etapa de generación de leyes apropiadas.

En contraste, Chile hoy en día carece de una legislación específica para la gestión del ciclo de vida de los neumáticos fuera de uso. No existe una reglamentación que tienda a la minimización de la generación de estos residuos, ni en la fase de producción ni en la importación de los neumáticos a nuestro país. Esta estrategia es corrientemente aplicada en países más desarrollados, donde a la activa cooperación de todos los eslabones de la cadena económica se suma la participación de los organismos públicos. En Chile por el contrario, tampoco hay normativas tendientes a fiscalizar la calidad del neumático que hoy ingresa al mercado nacional, pues no existe un procedimiento de homologación en la importación que permita no solo garantizar un estándar de calidad y seguridad del neumático, a través del respaldo del productor y también del importador, sino además aplicar una metodología que prolongue la vida útil del neumático.

No obstante lo anterior, sí existen normas oficiales de Acuerdos de Producción Limpia que aunque se aplican de forma general para el ámbito medioambiental, de higiene y seguridad laboral, resultan relevantes para el tratamiento de los neumáticos fuera de uso¹⁰:

- Ley N° 19.300 sobre “Bases Generales del Medio Ambiente”, publicada en el Diario Oficial con fecha 09 de abril de 1994.
- Decreto Supremo N° 95/01, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, que fija el texto refundido, coordinado y sistematizado del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, publicado en el Diario Oficial el 7 de Diciembre de 2002.
- Decreto con Fuerza de Ley N° 725 de 1967 del Ministerio de Salud, Código Sanitario, publicado en el Diario Oficial con fecha 31 de Enero de 1968.
- Decreto Supremo N° 594, Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales
- básicas en los Lugares de Trabajo, Ministerio de Salud, publicado en el Diario Oficial con fecha 29 de abril de 2000.
- Decreto Supremo N° 189/2005, Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias y de Seguridad Básicas en los Rellenos Sanitarios, Ministerio de Salud, publicado en el Diario Oficial con fecha 5 de Enero de 2008.
- Resolución Exenta N° 1.108/1994 del Ministerio de Salud, Aprueba Plan Nacional para evitar la Introducción del Mosquito Aedes Albopictus en el País, que entre otras materias, prohíbe la importación al territorio nacional de neumáticos usados, cualquiera sea su país de origen.
- Normas Chilenas Oficiales:
 - _ NCh 2797 Of. 2009, Acuerdos de Producción Limpia (APL) – Especificaciones.
 - _ NCh 2796 Of. 2003, Acuerdos de Producción Limpia (APL) – Vocabulario.
 - _ NCh 2807 Of. 2009, Acuerdos de Producción Limpia (APL) - Seguimiento y control, evaluación de la conformidad y certificación.
 - _ NCh 2825 Of. 2009, Acuerdos de Producción Limpia (APL) - Requisitos para los auditores y procedimiento de la auditoría de evaluación de la conformidad.

La reciente incorporación a la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico, OCDE, ha venido a cambiar un poco este panorama, porque Chile ha hecho el compromiso de revisar su política relativa a los residuos sólidos, dentro de cuya definición se encuentran los neumáticos fuera de uso. Concretamente, Chile debe realizar avances en dos materias: la armonización de la normativa ambiental nacional atinente a residuos sólidos y la consolidación de la estrategia jerarquizada dentro de las leyes y políticas de gestión de residuos sólidos¹¹.

En este nuevo contexto, se hace obligatorio delinear un nuevo enfoque de la gestión de residuos sólidos en Chile, desde uno en donde el énfasis estaba puesto en los aspectos sanitarios, hacia uno en donde la adecuada disposición final sea el último

¹⁰ Acuerdo Producción Limpia - Prevención y Valorización de Neumáticos Fuera de Uso, Septiembre 2009

¹¹ Políticas Ministeriales – Ministerio del Medio Ambiente 2010

eslabón de una cadena en la cual se privilegian todas las etapas anteriores. Esto significa seguir los principios aceptados internacionalmente para la eliminación de residuos: minimizar su generación, reutilizarlos, reciclarlos, valorarlos adecuadamente, incluyendo, por cierto, su aprovechamiento energético y solo al final disponer de ellos de forma apropiada.

Para contar con un marco regulatorio apropiado, el MMA junto la Conama elaboró un anteproyecto de ley de residuos sólidos, el cual ya ha sido presentado en diferentes foros. Su objetivo es la implementación y fomento de medidas asociadas a la reducción, reciclaje y reutilización de los residuos. Una vez aprobada, esta ley permitirá corregir las trabas existentes y establecer los incentivos necesarios para fomentar la reducción, la reutilización y el reciclaje de residuos y, a su vez, incorporará el principio de responsabilidad extendida del productor.

La nueva visión en la Gestión de Residuos Sólidos requiere reforzar lo que en muchos países se conoce como la política de las 3R –reducir, reciclar, reutilizar–. Este enfoque genera ganancias ambientales muy importantes, reduciendo el énfasis en el uso intensivo de recursos naturales no renovables y frenando la generación de nuevos pasivos ambientales y otros tipos de residuos, disminuyendo junto con ello los altos costos que conlleva su eventual disposición.

Las acciones e instrumentos que se pretenden realizar para fortalecer la gestión de los residuos con este nuevo enfoque son:

- Contar con una Ley General de Residuos, Ley 3R. De esta acción ya ha nacido una propuesta o proyecto de Ley. Este instrumento establecerá un marco jurídico para la gestión integral de residuos sólidos, orientado a la implementación de una estrategia jerarquizada en el manejo de residuos, promoviendo la prevención de la generación de un residuo y, si ello no es posible, fomentar en este orden su reducción, reutilización, reciclaje, valorización energética, tratamiento y la disposición final de los mismos. Todo ello para efecto de proteger la salud de las personas y el medio ambiente.
- Elaborar los reglamentos relacionados con la Responsabilidad Extendida del Productor, REP. Los reglamentos se aplicarán a diversos productos de consumo masivo entre los cuales se encuentran los neumáticos.
- Implementar un sistema de información integral de residuos. Al contar con información precisa y oportuna acerca de la disposición y transferencia de residuos en Chile, es posible una correcta toma de decisiones. Se pretende trabajar con el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes, RETC, para visualizar dicha información en línea. Además, se incorporará información relacionada con el manejo de residuos industriales peligrosos.
- Revisar la normativa vigente.

Concretamente, en relación con el tema de los neumáticos fuera de uso, en Septiembre del año 2009 se celebró un acuerdo¹² entre los principales proveedores

¹² Ver Normativa Vigente aplicable al sector en anexos de este documento.

de neumáticos¹³ asociados en la Cámara de la Industria del Neumático de Chile (CINC), la CONAMA, el MOP, entre otros organismos del gobierno, quienes se propusieron aplicar en el corto plazo el concepto de Responsabilidad Extendida al Productor a los neumáticos fuera de uso, el cual se centra primordialmente en el ciclo de vida del producto e intenta que todos los eslabones de la cadena, productores, distribuidores, intermediarios, usuarios finales, y grandes empresas usuarias compartan, junto al Estado, la responsabilidad de minimizar el impacto que el producto ocasiona en el medioambiente.

Según el Acuerdo de Producción Limpia “la implementación del sistema de gestión propuesto sería respaldada, en primera instancia, por la Comisión Nacional de Medio Ambiente por la participación como proyecto piloto en el proyecto ‘Gestión de Residuos Sólidos en Chile’ y por el Consejo de Producción Limpia bajo el desarrollo de un Acuerdo de producción Limpia, junto con la Cámara de la Industria del Neumáticos de Chile, el cual permitirá generar un modelo de gestión, que proporcione las bases de desarrollo para la ley de residuos específica del sector basados en un modelo de responsabilidad extendida al productor”.

Este acuerdo concierne a todos aquellos neumáticos con un diámetro menor o igual a 1200 mm y un peso de hasta 100 kilos, que sean generados en las regiones Metropolitana, de Valparaíso y del Libertador Bernardo O’Higgins¹⁴.

2.2.2. RESPONSABILIDAD EXTENDIDA AL PRODUCTOR

El modelo de responsabilidad extendida¹⁵ aplicado en la mayoría de los países miembros de la OCDE postula dos premisas principales:

- Incentivar al productor a la creación de productos con diseños más ecológicos, que permitan una mayor reutilización, mayor vida útil y mejores condiciones de reciclaje una vez que terminen su utilización, siempre basándose en un modelo de beneficios que incentiven su desarrollo.
- Ampliar al productor y a los agentes económicos, la responsabilidad que inicialmente está sólo en manos del Estado, esto es, gestionar mediante la recolección y valorización sustentable, los residuos que se generen una vez que termina la vida útil de sus productos, basados en un modelo de incentivos y un marco regulatorio específico.

El Acuerdo de Producción Limpia se hace cargo del segundo punto, pues pretende incorporar en los distintos actores de la cadena económica del rubro neumáticos el concepto de Responsabilidad Extendida al Productor con la finalidad de prevenir la generación de NFU, garantizar una gestión sustentable de los mismos y servir como base para el futuro reglamento de REP para el sector.

¹³ Michelin, Goodyear, Pirelli y Bridgestone

¹⁴ Ver objetivos ampliados del APL en anexos de este documento.

¹⁵ Acuerdo de Producción Limpia: Prevención y Valorización de Neumáticos Fuera de Uso

La responsabilidad del productor recae sobre aquél que efectúa la primera puesta en el mercado del producto prioritario.

Dado lo anterior, para implementar en Chile una ley de REP para los neumáticos fuera de uso es necesario que se establezcan mínimamente los siguientes aspectos claves:

a) La activa participación de los **productores y/o importadores** junto a su cadena comercial, incentivando la entrega de los NFU al sistema por parte de los usuarios, para una correcta gestión del residuo.

b) El compromiso de los **distribuidores y grandes clientes** de participar en el proceso mediante un almacenamiento temporal apropiado, un aviso programado para el retiro de sus NFU, evitar la venta de neumáticos usados para no fomentar un mercado informal y una entrega organizada y controlada al organismo recolector.

c) El compromiso de los **usuarios**, ya sea, personas naturales o jurídicas dejando sus neumáticos en los puntos de venta al momento de realizar sus recambios o en el caso de empresas, disponiendo de una bodega temporal para el retiro de sus NFU para evitar su ingreso a un sistema informal de disposición.

d) La implementación, por parte de los **organismos de la Administración del Estado competentes**, del marco regulatorio necesario para soportar y enmarcar los esfuerzos y acciones de las partes en un entorno sostenible, libre de ambigüedades, y que determine claramente los derechos y deberes de las partes.

La siguiente figura muestra una comparativa entre el actual manejo del neumático como un producto común a una gestión con el concepto de REP incorporado. Se muestra además que esta incorporación trae consigo un aumento en el precio del producto el cual sería en primera instancia pagado por el consumidor.

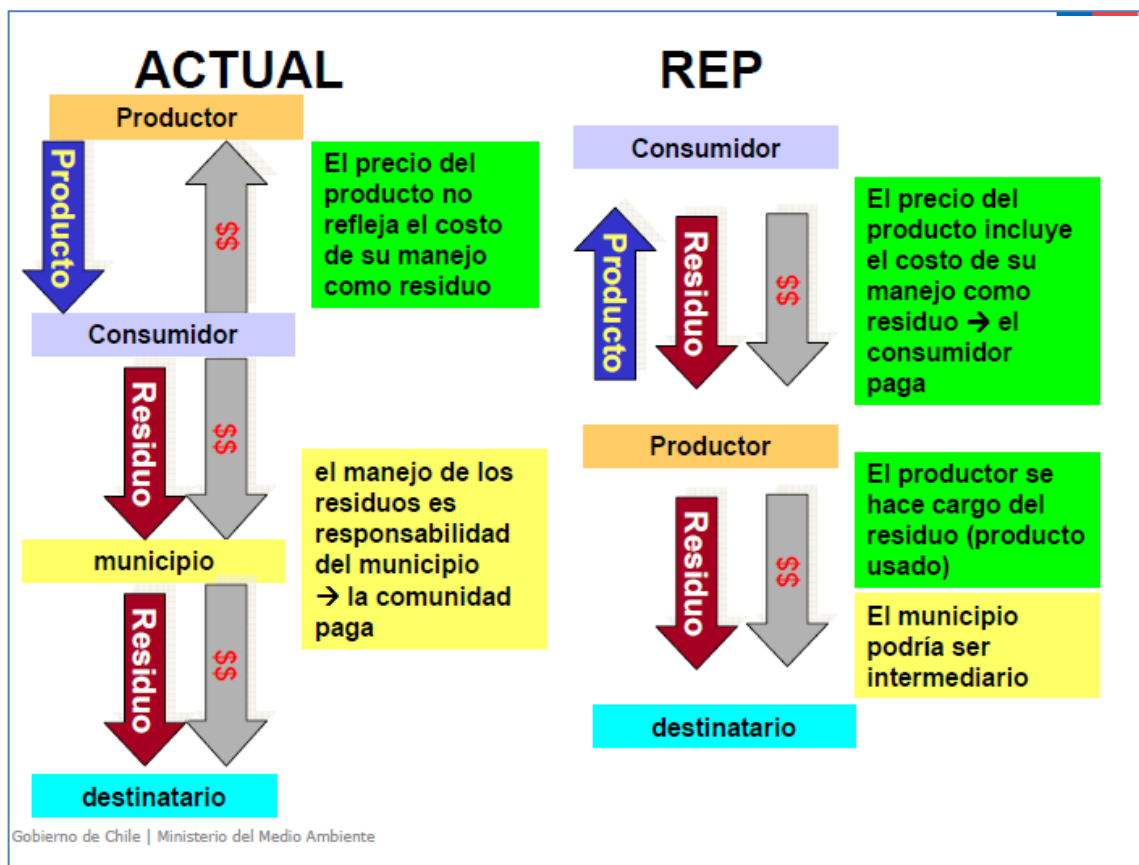


Figura 5. Gestión de residuos actual y con REP

2.3. MÉTODOS DE VALORIZACIÓN DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO

2.3.1. INTRODUCCIÓN

Como con otros tipos de residuos, los neumáticos fuera de uso deberían ser tratados de acuerdo a la siguiente jerarquía de tratamiento establecida internacionalmente: reducir, reutilizar, reciclar, convertir los residuos en energía (Waste to Energy) y disponer de ellos en una instalación adecuada. Los neumáticos fuera de uso presentan una disposición especial que hace que reutilizarlos represente un reto debido a su tamaño, forma y naturaleza fisicoquímica. Por otra parte, descartar los neumáticos fuera de uso en los vertederos no es una política adecuada. En la última década, los gobiernos de los países pertenecientes a la OCDE han promulgado leyes para desalentar el vertido de los neumáticos fuera de uso debido a que éstos se descomponen lentamente, tienen alta flotabilidad, son voluminosos y representan un serio peligro de incendio, haciendo del descarte en vertederos una opción altamente insatisfactoria. Además, el vertido de neumáticos también es visto como una pérdida de un recurso (“un residuo, un recurso”). Las opciones de reutilización, tales como la producción de caucho regenerado y recauchutado probablemente han llegado al punto de saturación del mercado. Otros tratamientos incluyen la producción de pasta de goma para uso en superficies deportivas y asfalto en las carreteras, así como también la recuperación del caucho vía desvulcanización bajo

una alta temperatura y alta presión para producir una goma que puede utilizarse en aplicaciones menores como neumáticos de bicicleta, cintas transportadoras y calzado. Sin embargo en nuestro país, estas aplicaciones no tienen un mercado muy grande, por ejemplo, la opción de utilización de neumáticos para canchas de tenis y otros, aunque en un principio era vista como promisoría, ahora se encuentra sin demanda.

Debido a los altos costes del combustible, la incineración con recuperación de energía es cada vez más popular como una opción de eliminación. Hay un renovado interés en procesos termoquímicos como la gasificación y la pirólisis para la eliminación de neumáticos de desecho. La pirólisis de neumáticos produce un aceite combustible, un tipo de carbón llamado “negro de humo” y gas, además de acero, todos productos que tienen el potencial de ser reciclados. Los aceites combustibles derivados de pirólisis de neumáticos pueden ser quemados directamente o agregados a combustibles derivados del petróleo. Valiosos compuestos utilizados en la industria química, como el benceno, tolueno y limoneno, también están presentes en altas concentraciones en estos aceites. Los gases de pirólisis pueden ser utilizados para proporcionar la energía necesaria en el mismo proceso de pirólisis. El carbón sólido tiene potencial como un combustible sólido o como un negro de carbono de baja graduación¹⁶. Otro tipo de proceso de descomposición de neumáticos que está ganando interés es la electro-tecnología. Estos procesos utilizan electricidad para crear altas temperaturas que cambian las formas físicas y químicas de la materia prima y de los precursores de la contaminación. Este capítulo examinará los diferentes métodos de disposición de neumáticos fuera de uso.

2.3.2. REUTILIZACIÓN

Un importante mercado de reutilización de neumáticos fuera de uso es el recauchado. Cuando se realiza el recauchado del neumático, uno elimina al exterior del mismo, la banda de rodamiento y la reemplaza con una nueva. Sólo 26 litros de petróleo se utilizan para recauchar un neumático, comparado con los 83 litros que se necesitan para producir uno nuevo. Como resultado, el recauchado de neumáticos ahorra millones de litros de petróleo cada año. Los beneficios del recauchado son: (1) ahorra recursos exigiendo 70% menos de petróleo para la producción, (2) contiene 75% de material post-consumo, (3) representa 30% a 70% menos costos que un neumático nuevo, y (4) ahorra espacio en vertederos.

Después de la eliminación del aro de acero, los neumáticos fuera de uso pueden ser cortados, golpeados o estampados en varios productos de caucho, tales como tapetes, correas, juntas, suelas de zapatos, parachoques, sellos y hasta artículos de moda como bolsos.

Los neumáticos enteros pueden ser reciclados o reutilizados como barreras de carretera, de parachoques de barco en muelles marinos y para diferentes propósitos agrícolas.

¹⁶ Cunliffe, Williams 1999

La fragmentación o separación de los neumáticos se ha vuelto común como parte del proceso de eliminación. La destrucción puede reducir el volumen de un neumático hasta en un 75%, lo que convierte al neumático en un material que puede ser dispuesto en un vertedero más fácilmente. Esta reducción de volumen también puede reducir los costos de transporte, porque puede ser puesto más material en el transportador y se requieren menos viajes. Las tiras de neumáticos almacenados sobre el suelo suponen menos peligro que los neumáticos enteros. Se acumulan menos agua y menos aire en el neumático, reduciendo la cantidad de roedores y mosquitos, y reduciendo también el riesgo de incendio. La principal desventaja de la destrucción de neumáticos de desecho antes de su disposición es que es necesario un paso de procesamiento adicional que supone un costo. Las tiras de neumáticos se utilizan para una variedad de productos. Barreras de sonido de carretera, que son barreras absorbentes de sonido para reducir el ruido de la carretera y se preparan con una mezcla de hormigón agregados, cemento, agua y pequeños trozos de caucho triturado de neumáticos fuera de uso. La pared desvía las ondas de sonido entre sus rincones y recovecos hasta que pierden energía. También aplicaciones deportivas y recreativas utilizan goma de neumáticos reciclados como superficie de sus instalaciones. El material absorbe gran parte del impacto de las caídas, ofreciendo mayor seguridad a los niños. Recientemente se están produciendo durmientes de ferrocarril revestidas de goma con neumáticos fuera de uso. Estos durmientes tienen un núcleo de viga de acero lleno de hormigón que está revestido con 36 kilos de neumáticos descartados y botellas de plástico desechadas, adheridas con un pegamento especial. Así compuestos, estos durmientes son más de un 200% más fuertes que los durmientes de madera, permitiendo utilizar menos durmientes por kilometro de distancia. Además, son más longevos pues podrían durar de 60 a 90 años versus los 5 a 30 años de los durmientes de madera¹⁷.

2.3.3. INCINERACIÓN

Los neumáticos fuera de uso pueden utilizarse como combustible debido a su alto valor calórico. En comparación con otros combustibles sólidos (madera 10.178 kJ/kg, residuos sólidos municipales 12.374 kJ/kg, lignito 16.983 kJ/kg, carbón sub-bituminoso 24.428 kJ/kg), los neumáticos tienen un contenido altamente calórico (neumáticos 33.035 kJ/kg).

Los neumáticos fuera de uso se han utilizado normalmente como un suplemento a los combustibles tradicionales como el carbón o madera, pero más recientemente se están construyendo instalaciones especiales para dar cabida a los residuos sólidos como fuentes de energía, incluyendo neumáticos. Los neumáticos se procesan bien como combustible derivado de neumáticos (TDF por las siglas en inglés de "Tire Derived Fuel") ya sea en forma de tiras, o enteros, dependiendo del tipo de instalación de combustión. Además de la reducción del tamaño, el uso de neumáticos puede requerir pre-procesamiento adicional, tal como quitar los aros de acero. Las principales ventajas de utilizar neumáticos como combustible son (1) los neumáticos producen la misma cantidad de energía que el petróleo y el 25% más de

¹⁷ <http://www.epa.gov/osw/conservation/materials/tires/index.htm>

energía que el carbón, (2) los residuos de cenizas de TDF pueden contener un contenido más bajo de metales pesados que algunos carbones y (3) menores emisiones de NO_x y SO_x en comparación con muchos carbones, particularmente los carbones con alto contenido de azufre.

2.3.4. INDUSTRIA CEMENTERA

La industria cementera quema neumáticos fuera de uso como combustible en hornos utilizados para hacer clínker, un componente principal del cemento Portland (el cemento más comúnmente utilizado). Piedra caliza, arcilla y pizarras son calentados en un horno de cemento, a muy altas temperaturas, produciendo una reacción química que las transforma en clínker. El clínker se muele junto con el yeso para formar el cemento Portland. Algunos tipos de hornos de cemento permiten la utilización de neumáticos enteros. Los neumáticos son entregados por camiones hasta el final de una cinta transportadora donde son descargados manualmente desde el camión. La cinta transportadora luego alimenta un mecanismo que inserta un neumático a la vez en el horno en intervalos de tiempo especificados. La ventaja de usar neumáticos enteros es que no son necesarios costes de pre-procesamiento de los mismos porque dado que los hornos de cemento tienen una necesidad de hierro en sus procesos, la eliminación del acero es innecesaria. Por otro lado, usar chips de neumático reduciría el trabajo manual necesario para colocar los neumáticos en la cinta transportadora, pero producir los chips es más costoso.

2.3.5. INDUSTRIA DEL PAPEL Y LA PULPA

Los molinos de pulpa y papel tienen grandes calderas que se utilizan para suministrar energía para la fabricación de papel. Esta energía es suministrada normalmente por los propios residuos de madera; sin embargo, la madera varía en valores calóricos y contenido de humedad, por lo que las fábricas a menudo complementan la leña con otros combustibles, tales como el carbón o el petróleo, para estabilizar el funcionamiento de la caldera. El TDF es usado por muchas plantas en el mundo como un suplemento a la madera debido a su alto valor calórico y bajo contenido de humedad. El inconveniente de utilizar TDF es que necesita estar libre de los aros de acero porque a menudo obstruyen los sistemas de alimentación. Por otro lado, muchos agricultores a veces compran la ceniza resultante, siempre y cuando esté libre de hierro. El TDF libre del aro de acero puede costar hasta un 50% más que el TDF regular.

2.3.6. EMPRESAS ELÉCTRICAS

En la industria eléctrica, las calderas suelen quemar carbón o petróleo para generar electricidad. El TDF es utilizado a menudo como un combustible de suplemento en calderas de utilidad eléctrica debido a su mayor valor calórico, menores emisiones de NO_x y costo competitivo en comparación con el carbón. Sin embargo, sólo ciertos tipos calderas pueden utilizar neumáticos de desecho. Las calderas de ciclón no requieren ningún cambio a la caldera en sí misma, lo que reduce la inversión de capital, y el único equipo adicional necesario es un transportador que transporte las

piezas de neumático a la caldera. Sin embargo, sólo pueden utilizarse trozos de neumático sin acero lo que eleva el costo del TDF. El tamaño óptimo de los trozos de neumático es de 2,5 cm x 2,5 cm. Las calderas Stoker son también económicas. En las calderas Stoker, el tiempo de residencia del combustible es mayor, con lo cual pueden utilizarse trozos más grandes de neumáticos. El tamaño óptimo de estas piezas es de 5 cm x 5 cm. Esto reduce el costo del combustible y resulta más económico.

2.3.7. CALDERAS INDUSTRIALES/INSTITUCIONALES

Las calderas industriales son más pequeñas y normalmente utilizan una variedad de combustibles, entre ellos los neumáticos fuera de uso, que normalmente se destruyen para este uso. Pero no todas las calderas son compatibles con el TDF. La aglutinación y la obstrucción son comunes, lo que prohíbe el uso de TDF en muchas instalaciones. Además si el metal en los neumáticos no se elimina antes de la combustión, termina en la ceniza y puede crear problemas para la disposición de la misma.

2.3.8. INSTALACIONES DEDICADAS A LA CONVERSIÓN DE NEUMÁTICOS EN ENERGÍA

Las instalaciones dedicadas a la conversión de neumáticos en energía están diseñadas específicamente para quemar TDF como su único combustible. La incineración de neumáticos fuera de uso puede definirse como la reducción de desechos combustibles en residuos inertes debida a una combustión controlada a altas temperaturas. El proceso de combustión es espontáneo por encima de los 400°C, es altamente exotérmico y una vez iniciado es autosuficiente. El calor generado durante la incineración produce vapor, que puede utilizarse para calentar edificios, para procesamiento industrial o para la producción de electricidad. Una alta eficiencia en la combustión, definida como la proporción entre la energía térmica producida con respecto a la energía de entrada, depende de muchos factores, tales como las características del combustible, el diseño de la planta y las condiciones de operación. Por ejemplo, características del combustible tales como materia volátil, humedad, contenido mineral, características estructurales (densidad, relación área/volumen) afectan la eficiencia de la caldera. La ventaja de utilizar TDF reside en sus relativamente homogéneas características. Aunque las plantas dedicadas a la conversión de neumáticos en energía han demostrado lograr tasas de emisión mucho menores que la mayoría de las plantas que utilizan combustibles sólidos, la gran cantidad de tiempo y alto costo inicial pueden obstaculizar la construcción de nuevas instalaciones.

2.3.9. TRITURACIÓN CRIOGÉNICA

Este proceso consiste en enfriar trozos de neumáticos con nitrógeno líquido para reducir su temperatura hasta -87°C , haciéndolos frágiles y de fácil trituración. Esta tecnología necesita unas instalaciones muy complejas, con un mantenimiento de la maquinaria y del proceso difícil y muy costoso, lo que hace que estas plantas no

sean económicamente viables. Lo anterior sumando a la baja calidad de los productos resultantes (el mismo neumático pero triturado), la dificultad material y económica para purificar y separar el caucho y el metal entre sí y de los materiales textiles que forman el neumático, hacen que este método sea poco explotado.

2.3.10. PROCESOS DE CONVERSIÓN TERMOQUÍMICOS

Pirólisis, gasificación y licuefacción son tecnologías termoquímicas que se utilizan para tratar neumáticos fuera de uso. Estas tecnologías se utilizan principalmente para el procesamiento de materias primas puras como el carbón y mixtas como los residuos sólidos municipales, pero las tecnologías están mejorando y se están ampliando a nuevas materias primas. Una mayor regulación acerca del tratamiento y disposición de los neumáticos fuera de uso y el aumento de los precios de los combustibles fósiles hacen a las tecnologías termoquímicas mucho más comercializables hoy que cuando se iniciaron las primeras plantas piloto.

Por ejemplo, en Europa hay un énfasis creciente en este tema. Específicamente debido a dos directivas de la CE que influyen en la gestión de neumáticos fuera de uso, existe un creciente interés en el desarrollo de tecnologías alternativas para el reciclaje de neumáticos, como pirólisis, gasificación y también el arco de plasma.

2.3.11. PIRÓLISIS

La aplicación de pirólisis como un medio de reutilización de neumáticos fuera de uso ha sido objeto de renovado interés recientemente. La pirólisis es la degradación térmica del componente de polímero de caucho del neumático en ausencia de oxígeno. Las altas temperaturas y la ausencia de oxígeno tienen el efecto de destruir los enlaces químicos. Aparecen entonces cadenas de hidrocarburos. Es la forma de obtener, de nuevo, los compuestos originales del neumático, por lo que es el método que consigue la recuperación total de los componentes del neumático: aceite, gas y un producto de carbón, además del refuerzo de acero.

La calidad y cantidad de estos productos dependen de la temperatura del reactor y el diseño. La tabla siguiente muestra la gama de composición y propiedades de cada producto. Se hace gas pirolítico a partir de parafinas y olefinas con un número de carbonos de uno a cinco. El aceite pirolítico está compuesto por aceites pesados (moléculas de hidrocarburos con 8 o más átomos de carbono), aceites livianos (moléculas de hidrocarburos con carbonos de 3-7), benceno y tolueno. El carbón resultante es un material particulado fino compuesto de negro de humo, ceniza, rellenos de arcilla, azufre, óxido de zinc, carbonatos de calcio y magnesio, y silicatos. Otros subproductos sólidos de la pirólisis son acero, fibras de rayón, algodón y nylon.

Producto	Composición	Valor calorífico
Gas	Mixtura de Hidrocarburo con bajo contenido de azufre	19-45 MJ m-3
Combustible	Contiene menos de 1% de azufre	42 MJ kg-3
Carbón (sólido)	Contiene 2-3% de azufre y 4-5% de zinc	28-33 MJ kg-3

Tabla 6. Características de los productos de la pirólisis de neumáticos

La pirólisis tiene la ventaja que potencialmente todos los productos del proceso pueden utilizarse: el aceite puede usarse como combustible o materia prima química, el carbón tiene potencial como negro de humo o carbón activado, el gas tiene suficiente poder calorífico para utilizarse como combustible proceso y el aro de acero tiene valor comercial¹⁸. Los aceites derivados de la pirólisis del neumático pueden ser quemados directamente o agregados a los combustibles derivados del petróleo, aunque la destilación de este aceite mejora enormemente su valor económico. Por ejemplo, las fracciones más ligeras pueden utilizarse como fuente de productos químicos de alto valor como el BTX (benceno, tolueno, xileno) y limoneno y como aceite extensor en la formulación de goma, mientras que las fracciones pesadas pueden utilizarse como aditivos en betún de carretera o como materia prima para la producción de coque. El carbón sólido tiene potencial como un combustible sólido o como un negro de carbón de baja graduación. El carbón pirolítico se puede usar como un aditivo para betún para carreteras. Los gases de pirólisis se pueden utilizar para proporcionar la energía requerida para el proceso de pirólisis¹⁹.

La pirólisis es un proceso endotérmico. Reciclando en lugar de quemar, la pirólisis permite que puedan recuperarse materiales valiosos. El aceite y el gas, por ejemplo, pueden utilizarse como combustibles dentro del mismo sistema de pirólisis o para una planta adyacente tal como un sistema combinado de calor y energía. El carbón y el acero también se recuperan desde el proceso. La alta temperatura y el medio libre de oxígeno descomponen el neumático químicamente, disminuyendo la formación de NOx y SOx en comparación con los incineradores. El proceso generalmente comienza con la destrucción de los neumáticos en un molino, luego el precalentamiento del neumático triturado antes de que alimente un destilador. En este destilador o reactor de pirólisis, el residuo es calentado a la temperatura requerida, establecida de acuerdo a los materiales de descomposición deseados. Para quitar los aceites o alquitrans (que, a su vez, se devuelven al destilador para su volatilización), el gas es limpiado por separadores de líquido.

La proporción de fracciones de aceite y gases depende de las condiciones de operación: temperatura, presión y tiempo de residencia en el reactor de pirólisis y el tipo de catalizador empleado. La fracción de aceite, compuesta principalmente por hidrocarburos oleofínicos y aromáticos, se condensa a presión y temperatura

¹⁸ Kyari, Cunliffe & Williams 2005

¹⁹ Cunliffe, Williams 1999, Li et al. 2004

normales. Un aumento en la temperatura del reactor da como resultado un aumento correspondiente en el valor calórico del producto pero también aumenta el contenido de hidrocarburos. Los gases no condensables tiene un valor calórico de aproximadamente 10.000 kcal/Nm³ y están compuestos principalmente de hidrocarburos ligeros que pueden utilizarse para calentar el reactor de pirólisis. La fracción de aceite puede utilizarse como combustible en un horno convencional. El otro subproducto importante, el carbón, se utiliza como combustible o para la producción de carbones activados o como aditivo inerte para el caucho. Disponibles comercialmente, los carbones activados son materiales carbonosos muy porosos. Estas propiedades hacen del carbón activado un excelente absorbente y comúnmente se utiliza para eliminar contaminantes del gas o líquidos.

Es importante recalcar que la pirólisis no es un proceso de combustión y se realiza en reactores cerrados con limitada o sin presencia de oxígeno. Por lo tanto, a diferencia de la incineración, la pirólisis se caracteriza por una menor emisión de partículas y menores volúmenes de gases de combustión que necesiten ser tratados. Esto convierte a la pirólisis en un proceso menos contaminante y potencialmente más barato que la incineración por el ahorro en el costo de tratamiento de sus emisiones.

2.3.12. GASIFICACIÓN

La gasificación es otro método atractivo para recuperar eficientemente energía y subproductos desde residuos. En particular la gasificación de neumáticos produce mucho menos alquitrán que la de biomasa. La gasificación a altas temperaturas (por encima de 800°C) no es económica dado que una considerable cantidad de calor se pierde a altas temperaturas, pero a bajas temperaturas es probablemente una opción más atractiva para recuperar energía (syngas) y subproductos (negro de carbón) de neumáticos fuera de uso.

2.3.13. TECNOLOGÍA DE PLASMA

El procesamiento utilizando arcos o antorchas de plasma consiste en calentar un gas a temperaturas altísimas. Los dos principales tipos de técnicas de antorcha de plasma de altas temperaturas incluyen arcos transferidos y arcos no-transferidos. En el arco no transferido, la antorcha de plasma se pasa entre dos electrodos. En el arco transferido, el plasma está formado directamente entre un único electrodo y el material a ser procesado. Los arcos transferidos son adecuados para el tratamiento de sólidos mientras los no transferidos funcionan mejor en el procesamiento de gases y líquidos tóxicos. Las temperaturas en el centro del arco de plasma están en el rango de 10.000 a 20.000°C y la temperatura del material sólido procesado por el arco de plasma va en un rango de 1.600 a 2.000°C. Las altas temperaturas proporcionadas por el plasma derriten prácticamente todo de modo que, tras el enfriamiento, el material se convierte en escoria vitrificada, que es una forma altamente estable mucho más adecuada para la eliminación en vertederos. Es necesario suministrar una fuente de combustible externo para obtener las altas temperaturas usadas en el procesamiento de arco de plasma. Los costos totales

podrían estar en el rango de US\$100 a US\$200 por tonelada de residuos y el requerimiento de energía podría ser inferior a 1.000 kWh por tonelada. Los sistemas de prueba han utilizado una variedad de diseños, tanto de cobre enfriado por agua como tecnologías de electrodos de grafito. Este tipo de sistema es el más adecuado para disponer desechos sólidos, desechos peligrosos y desechos biológicos. Tentativas de plantas piloto e incluso comerciales han intentado establecer unidades de plasma para la eliminación de residuos.

Las tecnologías de tratamiento de neumáticos fuera de uso basadas en arco de plasma tienen ventajas como una alta tasa de tratamiento y un volumen de espacio reducido. La principal desventaja es el alto consumo de energía. Las distribuciones de los subproductos de la pirólisis de arco de plasma y la pirólisis térmica convencional de neumáticos son significativamente diferentes. La pirólisis térmica convencional entrega gases, líquidos y productos sólidos. La pirólisis de arco de plasma entrega sólo dos subproductos: un tipo de gas combustible y carbono pirolítico. En la descarga de plasma se encuentran una gran cantidad de especies altamente reactivas, incluyendo iones, radicales libres, átomos activados y moléculas. Estos reaccionan con los compuestos de hidrocarburos pesados liberados del contenido volátil de los neumáticos, formando hidrógeno y compuestos de hidrocarburos ligeros.

Condiciones más moderadas (menor presión y temperatura del gas en el rango de 1500-1800 K) permiten un consumo de energía relativamente bajo²⁰. Puede incluso mejorarse el proceso de conversión mediante la adición de vapor en el gas portador. El carbón pirolítico bajo estas condiciones contiene un 85% de carbono. En comparación con el arco de plasma, los reactores de plasma de baja presión tienen las siguientes ventajas: (1) se evita la erosión del electrodo, (2) el agua de refrigeración para el electrodo y el reactor no es necesaria, (3) el encendido del plasma es fácil, (4) el volumen de descarga del plasma es grande y la velocidad de flujo de gas es lenta.

2.3.14. VENTAJAS Y DESVENTAJAS TECNOLOGÍAS DISPONIBLES

A modo de resumen se presentan en la siguiente tabla las ventajas y desventajas de cada tecnología.

Tecnología	Características	Ventajas	Desventajas
Reutilización	Sustitución de las gomas viejas de los neumáticos y reconstrucción de la estructura original.	-Se necesita menos cantidad de crudo que en neumático nuevo. -Reducción coste fabricación 30-50%	-Número limitado de recauchutados. -Características ligeramente disminuidas
Tratamientos mecánicos	Trituración previa de los NFU para reducir el tamaño	-Permite reducción de volumen, importante en vertederos. -Facilita molienda u otras técnicas.	-Es más un paso previo a otro proceso que un medio de disponer NFU
Incineración	Combustión directa y controlada de los NFU ya sea en tiras o enteros para	-NFU producen misma energía que el petróleo y 25% más que el carbón -cenizas de TDF pueden contener un	-Problemática ambiental debida a las emisiones emisiones de dioxinas y

²⁰ Huang, Tang 2009

	utilizarlo como Tire Derived Fuel (TDF)	contenido más bajo de metales pesados que algunos carbones -Menores emisiones de NOx y SOx en comparación con muchos carbones -Ampliamente utilizado	furanos, por su negativo impacto en la salud de las personas
Tecnologías de reducción de tamaño	-Molienda a temperatura ambiente (mecánica) -Molienda criogénica (enfriamiento del caucho mediante N ₂) -Molienda húmeda (por chorro de agua)	-Reduce a tamaños desde 500nm a inferiores a 500µm. -M.criogénica permite menor tamaño, sup. más suave y menor oxidación superficial.	-Coste elevado. -M. Criogénica coste adicional del N ₂ y fase adicional de secado.
Conversión termoquímica: Pirólisis	Calentamiento del granulado de NFU a temperatura 400-800°C en ausencia de O (o cantidad limitada)	-Productores netos de energía con recuperación de material -Descomposición de los componentes del neumático. -Gases pirolíticos tienen elevado poder calorífico. -Negro de humo se puede reutilizar para fabricación de nuevos elementos. -Negro pirolítico para coloración y absorbente de luz UV. -El volumen de NFU se reduce un 90%. -Capaces de destruir la mayoría de los componentes orgánicos peligrosos	-Problemática con la aplicación de los aceites condensables obtenidos. - Características de los productos dependen de las condiciones del proceso. Importante un ajuste de los parámetros. -Se deben disponer adecuadamente las cenizas
Conversión termoquímica: Arco de Plasma	Consiste en calentar un gas a temperaturas altísimas (de 10.000 a 20.000°C) y con éste derretir un material (T° material de 1.600 a 2.000°C.) para tras el enfriamiento disponer de la escoria vitrificada.	-Alta tasa de tratamiento y un volumen de espacio reducido.	-Costes elevadísimos -Alto consumo de energía

Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 7. Ventajas y Desventajas de los métodos para la disposición de NFU

2.4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Como hemos visto, existen probadas ventajas asociadas a la creación de plantas Waste-to-Energy para realizar un tratamiento y disposición final de residuos. Y dentro de ellas, las que utilizan tecnologías termoquímicas tienen un mayor potencial. Los neumáticos fuera de uso son un tipo particular de residuo que tiene incluso ventajas por sobre otros tipos y que en Chile no tienen solucionado el problema de su disposición final. Por esto, uno de los objetivos planteados por el gobierno es gestionar mediante acuerdos económicos privados la creación e implementación de proyectos de valorización con mayor probabilidad de éxito, con lo cual la implementación de una planta de estas características está adscrita completamente.

Debido a estas razones, y para estar preparado ante un eventual cambio en la legislación es que Reinvent pretende explorar la viabilidad económica de una planta de WTE en Santiago de Chile para tratamiento de neumáticos fuera de uso.

En una primera etapa se realizó una investigación de las tecnologías que estaban siendo utilizadas en otros lugares del mundo²¹, para encontrar aquella que mejor se adaptara al escenario de nuestro país. Basado en este análisis, se eligió evaluar la implementación de una planta con tecnología basada en pirólisis pues esta tecnología no solo reduce la cantidad de residuos, y por lo tanto, la contaminación ambiental, sino que se visualiza una mejor comercialización de los productos resultado de su proceso.

La planta estaría ubicada en terrenos de la empresa Hidronor, en la comuna de Pudahuel. El hecho que en esos terrenos ya exista una planta de tratamiento de residuos peligrosos es altamente positivo porque reduce notablemente las dificultades logísticas y sanitarias para ubicar un sitio de disposición final.



Figura 8. Terrenos de planta Hidronor en Pudahuel, región Metropolitana

2.4.1. PROVEEDOR

La ingeniería de la planta sería entregada por Marmore Yeşil Mühendislik A.Ş. (Marmore Green Engineering Co. Inc.²²), empresa localizada en Estambul, Turquía, que ofrece servicios de consultoría, investigación & desarrollo, análisis y diseño de proyectos y soluciones de nivel industrial, especializándose en la conversión de residuos sólidos en productos con valor agregado y la generación de energía mediante el uso de tecnología basada en pirólisis. Marmore ha completado más de cien proyectos de energía, y entregado plantas de producción de energía en Grecia, Ucrania, Rusia e Irán.

La planta a realizar en Chile estaría basada en la planta que actualmente está en operación en Erzincan, provincia de la Anatolia Oriental turca.

Es una planta de reciclado y generación de energía basada en la pirólisis de neumáticos fuera de uso, esto es, convierte las llantas de desecho en productos con valor agregado.

Marmore también podría proporcionar la tecnología necesaria para la etapa de conversión de esos subproductos directamente en energía eléctrica, pues compra a

²¹ Ver comparativa de casos en Anexos de este documento.

²² <http://eng.marmore.com.tr/>

proveedores como Jenbacher (Austria) o Wärtzilä (Finlandia) los generadores de electricidad apropiados para su sistema. Pero para nuestra evaluación solo consideraremos un caso idéntico al de la planta de Erzincan, esto es, sin generación eléctrica directa, dejando para una etapa futura la incorporación de esta funcionalidad.

Esta tecnología es más una solución ingenieril que un equipo-listo-para-usar que pueda ser vendido y embarcado a su destino. Normalmente sólo el software, la ingeniería y algunas partes especiales deben ser embarcados, pero más de alguna pieza deberá ser fabricada directamente en Chile y luego ensamblada localmente junto a todo lo demás. Marmore vende entonces la ingeniería y puesta en operación de la planta, además de la capacitación del personal y acompañamiento durante la marcha blanca.

La decisión de optar por este proveedor y no otro consideró una serie de factores que fueron abordados en una etapa previa. El principal factor consistió en el hecho de contar con una planta en operación comercial lo que reduce el riesgo. También el ofrecimiento de contar con asesoría in-situ de ingenieros expertos durante la marcha blanca es un factor que diferencia con respecto a optar por comprar ya sea solo la licencia o bien la planta pero llave en mano y sin acompañamiento ninguno, oferta muy común de encontrar en proveedores chinos y de otros lugares de Asia. Otros factores que se pueden mencionar fueron una oportuna y adecuada entrega de datos acerca de la operación de la planta turca, ciertas similitudes entre la realidad económica de Turquía y la de nuestro país, coincidencia en la tecnología usada por este proveedor y la tecnología mejor evaluada en la etapa previa²³, entre otros.

2.5. ANÁLISIS DE COMPETITIVIDAD – PORTER

2.5.1. RIVALIDAD ENTRE FIRMAS

No existe una presencia muy fuerte de empresas con plantas WTE en nuestro país. Menos aun existe alguna que particularmente se haga cargo de los neumáticos para generar productos destinados a la generación de energía. Las industrias que forman parte de la diversificación energética en general nacen en un esquema económico de alta competencia y muy complejo para ellas debido a que la mayoría se encuentran en etapa de crecimiento y desarrollo.

Desde el punto de vista del servicio que se hace cargo de la disposición de neumáticos, los competidores directos son las empresas recicladoras, las cementeras que utilizan el neumático en sus hornos (Cemento Melón en acuerdo con Goodyear, y también Cementos BioBio en su planta de Curicó, la única a nivel nacional que tiene la capacidad de incinerar neumáticos enteros) y en menor medida los talleres de recauchaje y similares. La rivalidad entre competidores no alcanza a ser tan fuerte como para que ejerza una presión sobre la industria. El nivel de compromiso de las cementeras es el más alto dado que los neumáticos representan

²³ Ver tabla comparativa de tecnologías en los anexos de este documento.

una fuente de energía barata y casi diseñada ex profeso para ellas. Para el resto de estos competidores podríamos decir que el compromiso es menor porque su giro comercial es otro y ven la disposición de neumáticos como un negocio adicional pero no esencial.

Analicemos ahora los competidores de los productos que se obtienen del proceso. El driver más importante de los subproductos de la pirólisis es la calidad del producto. Esto es, a los consumidores les interesa que los productos estén certificados y sus propiedades aseguradas en el tiempo. Para cumplir estos estándares es que los productores realizan costosos procesos para refinar sus cualidades.

Entre los proveedores de combustibles tenemos por un lado a ENAP como gran productor e importador, y luego a las tradicionales grandes empresas distribuidoras de combustibles como Copec, Shell, etc. quienes están evidentemente mejor posicionados en el mercado y por otro lado tenemos una serie de pequeños competidores que trabajan a pequeña escala y también producen este aceite pesado como resultado de sus procesos. Sin embargo tenemos que hacer hincapié en que en el caso de los pequeños competidores los productos no son necesariamente comparables puesto que sus características físicas difieren dado que existe un abanico de posibilidades dependiendo de la calidad del fuel oil (valor calorífico, propiedades de combustión, etc.) la cual es altamente dependiente del proceso en que fue creado. El nivel de compromiso de los competidores de la talla de los productores/distribuidores de combustibles es evidentemente alto. No así el de los pequeños competidores que en no pocas ocasiones son proveedores de combustibles sólo como consecuencia del tratamiento de algún subproducto de otro proceso principal.

Para el caso del subproducto derivado del carbón vemos que existen numerosas empresas químicas proveedoras tanto en el mercado internacional como en Chile. Por ejemplo, BASF, Oxiquim, etc., mismos que tienen un nombre muy bien establecido en el mercado desde hace bastantes años y por lo mismo un alto nivel de compromiso.

Las barreras de salida en general son altas. No es sencillo cambiar de giro o cerrar una vez se ingreso al mercado con una planta que debe tener cierto tiempo operando para recuperar el alto capital invertido. Sin embargo, a mediano y largo plazo es posible que esta situación cambie, pues si la legislación se torna favorable, el mercado de la valorización de residuos se volverá más atractivo para que nuevos competidores ingresen a él.

2.5.2. BARRERAS DE ENTRADA

Actualmente, eventuales competidores tendrían que sortear las siguientes barreras de entrada:

- Alta inversión inicial.
- Elevados costos de mantenimiento.
- Complejidad de la tecnología.

- Especialización del personal.
- Apoderamiento de nichos de mercado: el hecho que la logística inversa esté resuelta para un competidor en particular significa que ciertas rutas y zonas de generación de NFU estén cubiertas. Con lo cual eventuales nuevos competidores tendrían que apuntar a áreas geográficas distintas.
- Contratos de exclusividad: el punto anterior involucra alianzas ya definidas con los gestores de los puntos de recolección.
- Normativa estatal: este es un mercado altamente dependiente del marco regulatorio existente y de las políticas públicas que el gobierno de turno impulse.
- Incertidumbre: Escasa información de la competencia, del funcionamiento de las tecnologías disponibles, de la calidad de los subproductos resultantes.

En la práctica varias de estas condiciones harían que una empresa ya posicionada tenga características de un monopolio natural, provocando que exista una gran dificultad de un eventual competidor para ingresar a este mercado. Tampoco se vislumbra que a mediano y largo plazo esta situación se simplifique.

Se prevé que además se deba incurrir en un fuerte esfuerzo de posicionamiento, no tanto por la reputación de eventuales competidores, sino precisamente por lo contrario: no existe un mercado completamente definido, la normativa no es conocida por todos, los potenciales clientes no tienen hoy en día muy clara la necesidad y existe en el sistema una política de *laissez faire* en lo que respecta a la disposición de neumáticos, que está provocando las graves consecuencias medio ambientales que ya hemos discutido.

Los canales de distribución para los productos resultantes de la pirólisis están prácticamente cautivos, siendo el del combustible el más definido. Sin embargo, dada la siempre creciente necesidad energética no es imposible encontrar un espacio de distribución a los clientes, pensando en que la opción más viable sería una entrega directa al consumidor final de combustible, carbón y acero, sin intermediarios.

Para la línea de negocio de la valorización de neumáticos la situación es la opuesta, pues habría que definir y construir los canales de distribución. Nuevamente aquí vemos que no es necesario que existan intermediarios. Lo necesario aquí es poder establecer una apropiada logística inversa que permita abastecerse de los neumáticos y con ello el servicio ya estaría siendo entregado. Este punto es desarrollado con más detalle en un punto posterior.

2.5.3. PODER DE LOS PROVEEDORES

El poder de los proveedores es alto porque existen variadas alternativas para disponer los neumáticos. Se puede recurrir a la alternativa más ampliamente difundida que es la de incinerarlos para usarlos como TDF (tire derived fuel), ya sea solos o junto a otros combustibles como carbón o madera. Pero si al dueño de los neumáticos no le interesa la energía, sino solo deshacerse de ellos, puede enterrarlos, reciclarlos o incluso simplemente dejarlos en un botadero o tirarlos al

mar. El poder es alto además porque el óptimo funcionamiento de la planta depende de un suministro constante neumáticos.

En el mediano y largo plazo esta situación podría mejorar. En la eventualidad de que rija una Ley General de Residuos y se aplique la responsabilidad extendida al productor, habrá una necesidad para disponer de los neumáticos, de manera de evitar multas.

La concentración de los proveedores depende del punto de vista que vayamos a adoptar. Si nuestro proveedor de neumáticos fuera de uso se limitará a un eventual contrato con Goodyear y la CINC, entonces estaría altamente concentrado sumando aun más poder a este rol del que ya hemos mencionado. Pero si decidimos incluir a las empresas de transporte público, al Metro de Santiago, a las servitecas, y empresas de reciclaje entonces la dispersión de los proveedores sería muy alta, salvo la obvia concentración por motivos geográficos de la cual somos dependientes al menos en esta primera etapa. Además se ve poco factible que los proveedores decidan integrarse hacia adelante debido al escaso interés de actores exitosos en sus giros comerciales en arriesgarse con una planta de disposición de neumáticos con un tan alto costo inicial de inversión.

2.5.4. PODER DE LOS CONSUMIDORES

Analizando los consumidores que comprarán los subproductos de la pirólisis, tenemos que los potenciales clientes están dispersos y son de variada índole. Por una parte, para los sólidos de carbón (negro de humo) tenemos a los fabricantes de neumáticos, correas transportadoras y productos de goma, pero también fabricantes de tintas y textiles. Por el lado del fuel oil tenemos todo aquel que necesite combustible para operar sus calderas y que opte por una alternativa más barata del petróleo diesel. Y por último tenemos a los fabricantes de elementos con acero como materia prima como también a los captadores de acero reciclado.

La factibilidad de encontrar productos sustitutos para cualquiera de estos productos es alta en el mercado, además la posibilidad de realizar un cambio de producto es relativamente sencilla para los consumidores, todo lo cual les otorgaría un poder de negociación considerable, pero sin llegar a ser alto debido a que en todos los casos la entrega de los subproductos estará asociada a un contrato, con lo cual al menos durante el tiempo que dure el contrato la venta estará asegurada.

Ahora, si consideramos que otro producto que se está poniendo en el mercado es el servicio prestado asociado a la disposición del residuo neumático, los consumidores son otros, básicamente municipalidades, gobierno regional, productores/importadores de neumáticos, servitecas, metro, líneas de transporte urbano, mineras (si se resuelve el tema de la trituración de neumáticos OTR) y hasta el gobierno. Los consumidores en este caso no son muchos, están bien localizados y si bien antes de tomar la decisión de utilizar una planta de pirólisis para valorizar sus NFU tienen opción de considerar otras alternativas o seguir como están ahora, una vez contratados los servicios de una planta de este estilo lo más probable es

que el contrato sea por años, por lo tanto la barrera de salida desde el punto de vista del consumidor se vuelve más alta.

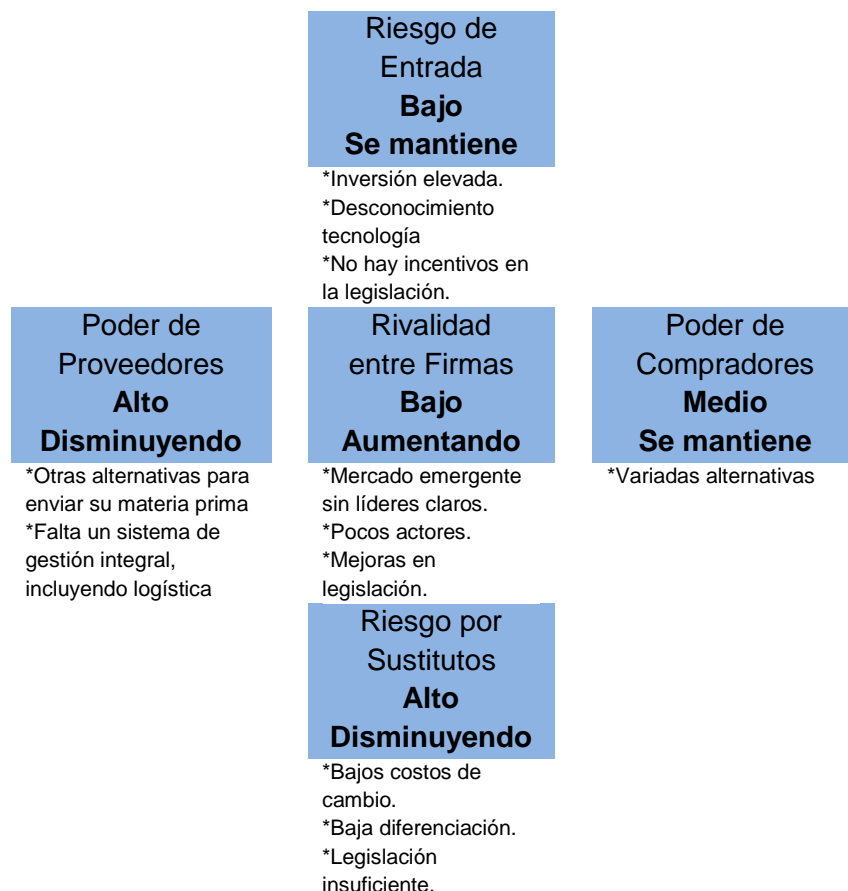
Es poco probable que los consumidores se integren hacia atrás por las mismas razones mencionadas para los proveedores, esto es, el alto costo inicial de la inversión, la necesidad de contratar el know-how para operar la tecnología, normativa aun en ciernes, entre otros.

2.5.5. AMENAZA DE SUSTITUTOS

El nivel de amenaza de los productos sustitutos es alto porque las innovaciones tecnológicas han ayudado a crear nuevas alternativas energéticas (biocombustibles, etc.) además de las tradicionales (carbón, petróleo, hídrica, etc.). Siempre será posible acudir a la compra de la materia prima virgen y fuentes tradicionales de energía que actúan como sustitutos directos. En este caso el petróleo diesel como combustible, caucho natural como materia prima de los neumáticos, gas natural, etc.

Si pensamos en el servicio de disposición de neumáticos fuera de uso, también tenemos sustitutos más baratos como son la incineración, el reciclaje o simplemente enterrarlos en vertederos. Esto lleva a que la decisión final de los consumidores este expuesta a variadas opciones presentes en el mercado. Con una ley REP vigente, este riesgo tendería a bajar.

2.5.6. GRAFICA ANÁLISIS DE PORTER



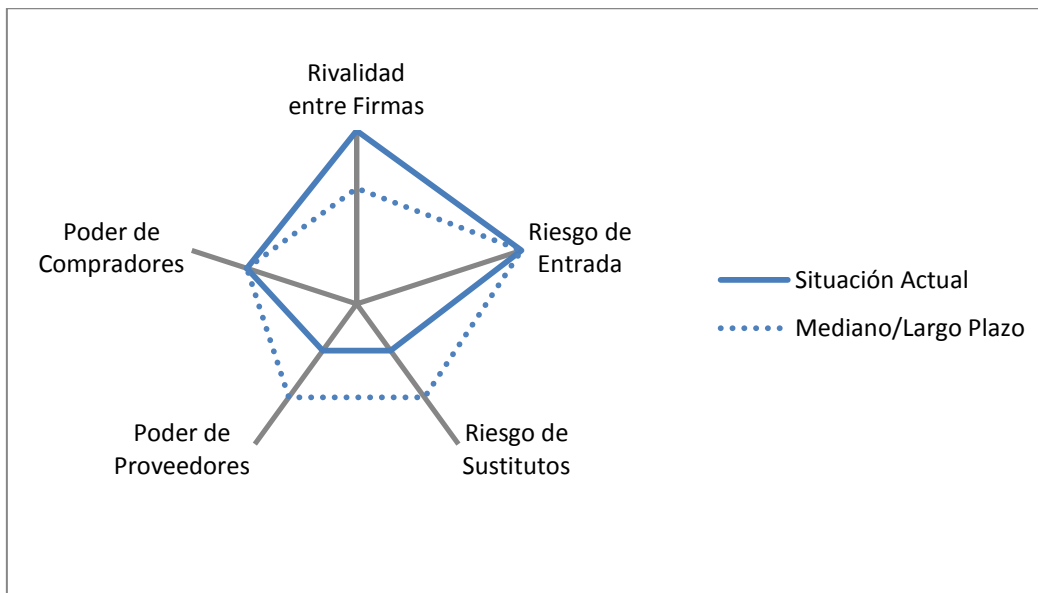


Figura 9. Evolución de las condiciones de mercado para la industria de la valorización de los NFU en Chile.

2.6. ANÁLISIS DE COMPETITIVIDAD - FODA

2.6.1. FORTALEZAS

El proveedor de la tecnología cuenta con una planta de características similares funcionando.

El hecho de que se disponga de un terreno que ya cuente con autorizaciones sanitarias para la disposición de residuos facilita la consecución de permisos para la construcción de la planta.

La experiencia en disposición de residuos que tiene Reinvent hace que tengan claridad en los procedimientos, legislación, riesgos que están enfrentando dado el contexto de nuestro país.

2.6.2. OPORTUNIDADES

La gran cantidad de neumáticos fuera de uso que se acumulan en Chile actualmente. Un caso especial es el de las empresas ligadas a la minería ubicadas principalmente en la Zona Norte del país, que si bien no están contempladas en una primera instancia en el modelo, si sería posible incorporarlas en una segunda etapa una vez asegurada la tecnología para el tema de la trituración de neumáticos OTR.

Necesidad urgente de tratar el stock de neumáticos almacenados en botaderos, producto del impacto ambiental, sanitario y el costo de acarreo de los mismos a estos espacios.

La gran cantidad de empresas mineras con procesos productivos en curso que tienen la misma necesidad de tratar sus stocks de neumáticos fuera de uso, pueden establecer iniciativas conjuntas donde parte del financiamiento para la

implementación de estas plantas lo entreguen precisamente estas empresas mineras. En Chile ya existen casos de pilotos de valorización de neumáticos donde la minera pone el financiamiento, el espacio y hasta los servicios.

Tendencia mundial orientada a la regulación del tratamiento de residuos e impacto ambiental, que empuja a los países a establecer marcos regulatorios que obliguen a las empresas a tener un manejo responsable y oportuno de productos como los neumáticos fuera de uso y a definir los deberes y obligaciones de todos los actores de la cadena económica del residuo en general.

La mayor oportunidad de todas, sin embargo, se producirá en la eventualidad de la promulgación de una Ley General de Residuos con responsabilidad extendida al productor.

2.6.3. DEBILIDADES

De la tecnología

Aunque el proveedor tiene experiencia previa, existe un riesgo inherente al proyecto de instalar tecnología que si bien esta siendo más y más conocida, no está lo suficientemente expandida como para asegurar rendimientos.

Además como hemos visto, los rendimientos de los subproductos obtenidos en el proceso de pirólisis son altamente dependientes de los parámetros de operación de cada planta en sí y de las materias primas. Entre los factores asociados a la planta se encuentran: temperatura, presión, velocidad de calentamiento, tamaño de partícula, masa inicial, sistema intercambiador de calor, entre otros. Los factores que inciden por parte de la materia prima tienen relación con la composición del neumático, que como hemos dicho depende del fabricante de origen.

Calidad del producto

Se encargaron pruebas a un proveedor en Finlandia²⁴ para certificar las características de los combustibles líquidos resultantes de la pirólisis de la planta de Marmore en Turquía. Las propiedades de ignición y de combustión resultaron algo pobres, el combustible testeado tuvo un retardo en el tiempo de encendido, pero la combustión fue bastante buena. La conclusión es que el combustible de prueba se inflamará y arderá bien con altas cargas pero un funcionamiento con baja carga puede tener problemas, especialmente en marcha al vacío.

Los resultados de todos los otros tests fueron aceptables o buenos: el contenido de cenizas fue muy bajo, la viscosidad resultó de acuerdo a la información entregada y ligeramente similar a la de un combustible ligero, la densidad no fue alta significando que, de estar presente, el agua puede ser separada fácilmente, las partículas encontradas resultaron escasas y fácilmente filtrables.

Por lo tanto se debería tener una actitud conservadora frente a los resultados.

²⁴ Ver en Anexos: Resultados análisis del aceite combustible realizado por Wärtsilä

2.6.4. AMENAZAS

No existe un modelo de post venta para los subproductos de la pirólisis de neumáticos que permita asegurar un volumen de venta para proyectar el negocio en el mediano y largo plazo, como por ejemplo contratos con fabricantes de neumáticos en nuestro país o en el extranjero, concesionarias de autopistas, generadoras de energía eléctrica que tengan plantas que utilicen fueloil, compañías que utilicen hornos y calderas o incluso el Gobierno, quien podría asegurar el uso de combustibles alternativos.

Una futura incorporación de los neumáticos OTR al modelo de negocios podría verse amenazada porque está en análisis un posible cambio en el modelo de adquisiciones de los neumáticos para la minería. Las empresas mineras buscan reemplazar el concepto de compra por el de arriendo, trasladando a los proveedores de neumáticos la responsabilidad de su tratamiento posterior, una vez que estos hayan cumplido con su vida útil. Además, en el mediano y largo plazo, se prevé un cambio del tipo de explotación de minas de rajo abierto a subterráneas, lo que disminuye el uso de los grandes camiones que utilizan neumáticos OTR.

La postergación indefinida de una ley de responsabilidad extendida al productor.

2.6.5. CONCLUSIÓN ANÁLISIS FODA

Del análisis interno del proyecto es posible decir que las debilidades, esto es, la calidad variable del producto y la tecnología no tan expandida, están claramente identificadas y por lo mismo, acotadas. Las fortalezas y ventajas tienen que ver básicamente con el conocimiento y experiencia tanto del proveedor de la tecnología como del inversionista, por lo tanto el riesgo inherente puede ser, en cierta forma, mejor enfrentado. Dicho de otro modo y para graficar con un ejemplo, es posible que se presenten dificultades para lograr estandarizar productos de características definidas, pero la experiencia tanto del proveedor como del inversionista podrán hacer frente a este problema rápidamente y ajustar las variables que corresponda para cambiar este escenario.

Lo que se desprende del análisis externo es completamente opuesto, puesto que aquí la incertidumbre es mucho mayor. Si bien existe una oportunidad, un mercado para el producto y una tendencia general hacia la valoración de los residuos, la carencia de una ley que regule este ámbito y el hecho de que en nuestro país no existan experiencias al respecto, en este caso no son aspectos positivos.

2.7. ANÁLISIS DE GRUPOS DE INTERÉS

Stakeholder	Interés	Posible influencia
Ministerio del Medio Ambiente	El proyecto requiere una evaluación de impacto ambiental	Término, retraso o modificación del proyecto
Servicios con competencia ambiental: SAG, SEREMI de Salud, de Vivienda y Urbanismo	Se pronuncian respecto al proyecto frente a la Comisión Regional de Medio Ambiente	Término, retraso o modificación del proyecto
Cámara de la Industria del	Si la REP se aprueba, tendrían una	Proveen la logística para la recolección

Neumático de Chile - proveedores	alternativa para disponer de sus NFU	de NFU
Movimiento de Recicladores de Chile: agrupación de recicladores de base	Un cambio en la gestión de NFU puede afectar o eliminar su fuente de ingresos	Pueden desviar la recolección de NFU al mercado informal
Comunidades vecinas del sector	Plusvalía del terreno puede subir. Lado negativo, tránsito de camiones de entrega, ruidos.	Si la planta se ve como simple incineración, pueden realizar protestas.
ONG medioambientales	Buscan reducir el impacto de los NFU sobre el medio ambiente.	Término, retraso o modificación del proyecto debido a protestas si la planta se ve como simple incineración.
Empresas de recolección y transporte	Desean ampliar su negocio	Costos elevados por el transporte.
Proveedores productos sustitutos (combustibles, carbón)	No desean competencia en el mercado	Si perciben pérdida de consumidores, pueden bajar sus precios, hacer contratos a más largo plazo, más convenientes, etc.
Empresas de Reciclaje de NFU	No desean perder su porción del mercado ni el suministro de NFU a precios bajos	Mermar el suministro de NFU el cual se requiere que sea constante
Empresas Cementeras	No desean que suba el precio de los NFU, lo que ocurriría con la REP y si existiesen alternativas para disponerlos, como esta planta	Mermar el suministro de NFU el cual se requiere que sea constante
Municipalidad de Pudahuel	Tendrían una alternativa para disponer de sus NFU	Provee NFU para la planta
Municipalidades vecinas del sector	Tendrían una alternativa para disponer de sus NFU	Proveen NFU para la planta

2.8. IMPACTOS NO-CUANTIFICABLES

2.8.1. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

Como hemos dicho, una característica de los neumáticos fuera de uso es que sus componentes varían muy poco y por lo tanto, sus emisiones también son menos variadas y se pueden predecir más fácilmente. Hay variadas tecnologías disponibles para controlar las emisiones de los procesos termoquímicos de neumáticos fuera de uso, y el tipo a emplear dependerá de los requerimientos del país, del proceso y de la dimensión de las instalaciones. Las principales ventajas del tratamiento termoquímico, comparado con la combustión convencional, son: (1) Generan productos gaseosos intermedios que pueden ser convertidos en combustible o productos químicos con casi sin emisiones directas; (2) los procesos de pirólisis y gasificación utilizan muy poco o nada de aire u oxígeno, por lo que el volumen de gas de emisión de un reactor termoquímico es mucho menor por tonelada de materia prima procesada que el volumen de un proceso de incineración equivalente. Estos factores hacen del control de las emisiones de aire menos costoso y menos complejo; (3) el proceso termoquímico proporciona un paso intermedio donde puede realizarse la limpieza del gas. La incineración está limitada a la aplicación de equipos de control para la contaminación del aire para los gases de escape totalmente incinerados; (4) la salida de gases y líquidos de los procesos

termoquímicos ocurre normalmente en un entorno de reducción y pueden ser utilizados, en contraste con los incineradores, de escape oxidativo; (5) Los productos gaseosos de la combustión son gases de bajo peso molecular que son más limpios que los productos gaseosos de la combustión de combustibles fósiles. Las emisiones de gases de un proceso termoquímico son similares a la combustión de gas natural.

Al considerar las emisiones de gases de efecto invernadero, la conversión termoquímica debe ser comparada con el uso de vertederos (landfilling). No hay estudios específicos para los neumáticos, pero como éstos son una forma de residuos sólidos, sólo que más homogénea y con un superior contenido calórico, las ventajas son similares. El procesamiento de residuos sólidos con tecnologías de conversión termoquímica reduce los Gases de Efecto Invernadero (GHG por sus siglas en inglés) de dos maneras: (1) Se elimina el metano que se formaría si los residuos se depositan en vertederos. Esto es importante puesto que el metano tiene un potencial de calentamiento global de 23 veces más que el del CO₂. Para muestra típica de residuos sólidos urbanos, la reducción de gases de efecto invernadero debido a la eliminación del metano es de aproximadamente 1,5 toneladas de CO₂ por tonelada de residuos tratados en comparación con los vertederos que no tienen captura de metano. (2) La potencia generada a partir de los procesos termoquímicos desplaza a la potencia de otras fuentes, tales como el carbón. Una tonelada de residuos sólidos urbanos produce alrededor de 1,2 MWh de energía que se traduce en 0,6 tonelada de CO₂ de GHG. Una planta de generación a carbón libera 1,2 toneladas de CO₂ de GHG, a la vez que produce la misma cantidad de energía. Por lo tanto, el desplazamiento de 1,2 MWh de generación eléctrica de carbón a la conversión termoquímica reduce las emisiones de gases de efecto invernadero en cerca de 0,6 toneladas de CO₂. En total, las reducciones de emisiones de GHG por el desplazamiento del metano y la sustitución del carbón como fuente de energía dan como resultado un total combinado de reducción total de emisiones de 2,1 toneladas de CO₂ por tonelada de residuos tratados.

En conclusión, en comparación con el uso de vertederos, la conversión térmica de neumáticos fuera de uso, que son un tipo especial de residuo sólido urbano, disminuye el impacto sobre las emisiones de gases de efecto invernadero.

2.8.2. IMPACTO ECONÓMICO

El impacto económico es la contribución que produce una actividad en la economía de una región, medida en los ingresos, el empleo y los salarios directamente asociados con los trabajadores de la planta, así como los impactos indirectos por la generación de nuevos negocios y/o empleos atribuidos a la planta pero en otros sectores.

Empleo

La llegada de una industria nueva a la zona moverá de manera directa el mercado de empleos, pues la planta como tal requerirá alrededor de 42 personas para solventar sus necesidades de operación. Un impacto de esto también es que se esperaría que se lograra con el tiempo cierto grado de especialización en los empleados, lo cual redundaría en otro punto positivo, pues con el tiempo la especialización se irá pagando mejor. Indirectamente también se generarán empleos en otros sectores tanto por la construcción de la planta en sí como para apoyar la operación de la misma, por ejemplo: gente necesaria en los puntos de recolección de neumáticos, quienes trasladan la materia prima a la planta, etc.

También se prevé que se requiera una infraestructura comercial e industrial, que le abastezca de otros insumos necesarios (aparte de los neumáticos) para su funcionamiento. Dichos sectores económicos generan empleos indirectos que de no existir la planta, no tendrían razón de ser.

Plusvalía del terreno

Los terrenos aledaños a instalaciones para la disposición de residuos, como es el caso de la zona donde se encuentra la planta de Tratamiento de Residuos Peligrosos de Hidronor, siempre ven disminuida su plusvalía debido al impacto negativo que ven los vecinos y residentes permanentes. Esta situación podría ser de alguna manera revertida si se percibe como diferente la instalación de una planta termoquímica que pretende tanto reducir el daño ambiental de continuar con la disposición tradicional de neumáticos como darle un valor agregado al transformarlos en productos comercializables.

3. IMPLEMENTACIÓN

3.1. MODELO DE NEGOCIOS UTILIZANDO CANVAS

Para poder describir el modelo de negocios se utilizará la plantilla para generación de modelos CANVAS, analizando cada uno de los componentes de la plantilla.

3.1.1. SEGMENTACION DE CLIENTES

Tenemos que separar el negocio en dos líneas principales: por un lado tenemos a las entidades que desean o necesitan resolver el problema del acopio desmedido de neumáticos fuera de uso y ojalá a la vez darles un valor mediante un proceso medioambientalmente sustentable. Y por otro tenemos la línea de negocio que apunta a vender los subproductos resultantes del proceso de pirólisis de neumáticos.

I. Valorización de neumáticos fuera de uso.

En el escenario por el que está apostando Reinvent, esto es, un país post aplicación de la ley de Responsabilidad Extendida al Productor, quien coloca el producto por primera vez en el mercado (productor o importador) sería quien a cambio del pago

de la tasa cobrada a los usuarios finales del producto (equivalente más o menos a \$ 500 en el caso de un neumático para autos, y a \$2.500 en el caso de un neumático para camión), debería encargarse de que haya una solución para ese producto cuando se convierta en residuo. Por lo tanto serían los mismos productores e importadores los principales clientes. En este escenario, el principal interesado en este servicio sería la Cámara de la Industria del Neumático (CINC) por representar a los cuatro principales proveedores: Bridgestone, Goodyear, Michelin y Pirelli. Pero también deberemos incluir a todos los otros entes involucrados en la venta representados por las servitecas existentes.

En el escenario actual sin embargo, la naturaleza de los clientes es mucho más heterogénea:

Municipalidades. Aunque, la municipalidad no tiene entre sus responsabilidades la obligación de hacer el acopio de los neumáticos sí tiene la obligación de mantener el aseo en la comuna. En los contenedores municipales tarde o temprano terminan apareciendo neumáticos, con lo cual el municipio termina heredando todos los problemas asociados a estos desechos. Este hecho no es menor pues, cada mes los municipios de la Región Metropolitana recolectan unos ocho mil neumáticos, estimándose que en realidad son desechados diez mil por comuna, lo que representa anualmente una cifra de dos millones y medio.

Servitecas. Sólo en la región metropolitana se pueden hallar alrededor de 80 servitecas. Si ellos lo desean, los neumáticos descartados por los clientes son recepcionados y posteriormente acopiados en dependencias de la misma mal utilizando el espacio disponible. Por estas razones estos elementos son considerados desechos y por lo tanto o bien son regalados a quién desee llevárselos o son dispuestos en vertederos, para lo cual la serviteca debe incurrir en un costo.

Sólo los pocos neumáticos que son susceptibles de ser recauchados, son enviados a empresas recauchadoras. Esencialmente nos referimos aquí a neumáticos de transporte de carga (camiones), pues son los que ofrecen mejores condiciones y porque económicamente se justifica el recauchado comparado con la más costosa opción de adquirir un neumático nuevo.

Transporte público urbano. Transantiago publica que en Santiago existen alrededor de 6.220 buses, cada uno de los cuales desecha entre 6 y 8 neumáticos por año. Si consideramos sólo este concepto, entonces en los terminales de los recorridos de la región metropolitana podrían recolectarse 2.770 toneladas de neumáticos fuera de uso al año. En el caso de regiones ciertamente hablamos de una cifra inferior, pero de forma análoga recorriendo las líneas de transporte se puede obtener un tonelaje no despreciable.

Empresas de transporte de carga. Otra fuente de neumáticos desechados la constituyen las empresas de transporte, que normalmente deben realizar el recambio de sus neumáticos, ya sea en talleres propios como en talleres de terceros. Aquí se vuelve más interesante el segmento de empresas grandes con

talleres propios, dado que se vuelve más sencillo asegurar el acopio de neumáticos teniendo estos talleres ya identificados y sin tanta dispersión y dado el mayor volumen de neumáticos comparado con el de los pequeños talleres de terceros.

Líneas del metro. Los neumáticos de los carros del metro, son de características similares a los de los microbuses. De hecho una práctica ilegal consiste en reutilizar estos neumáticos para las líneas de buses de transporte urbano. Según ejecutivos del Metro, se desechan alrededor de 700 unidades anualmente, los cuales se encuentran en su mayoría en los talleres de la estación San Pablo. Cerca del 90% de estos, se acopia para luego proceder a eliminarlos vía vertedero.²⁵

Sin una REP vigente, la idea sería apuntar a lograr un contrato con más de una de las entidades mencionadas (o todas) para así asegurar un volumen constante de materia prima. Diferente sería el escenario con REP, porque en ese caso la CINC sería el cliente más interesado en lograr un eventual contrato para valorar sus neumáticos, con lo que esta planta sería un socio ideal.

II. **Venta productos de pirólisis.**

La otra línea de negocio tiene relación con la venta de los productos de la pirólisis de neumáticos, esto es, aceites combustibles, negro de humo y acero recuperado (el gas producido en la planta se destinaría para autoconsumo de la misma).

Acero. A nivel mundial las estimaciones informan que el 40% del consumo de acero proviene del reciclaje de distintos tipos de chatarra. Esta alta tasa de reciclaje se debe a las excelentes propiedades que tiene el acero, que luego de reiterados usos no pierde sus cualidades.

La industria siderúrgica nacional está concentrada en dos grandes actores²⁶:

- a) Compañía Siderúrgica Huachipato del Grupo CAP que representa el 70% de la producción de acero crudo.
- b) Gerdau Aza que representa el 30% restante de la producción.

Gerdau Aza, filial del grupo brasileño Gerdau, es el principal productor nacional de acero a partir del reciclaje del mismo. En nuestro país alrededor del 44% del acero consumido proviene del reciclaje de distintos tipo de chatarra, donde Gerdau Aza es la principal empresa siderúrgica consumidora de chatarra en nuestro país con alrededor de un 75% de la demanda.

Para su producción, Gerdau Aza cuenta con dos plantas localizadas en la Región Metropolitana, una ubicada en Colina y la otra en Renca. Estas dos plantas producen acero a partir de la fundición de chatarra en un horno de arco eléctrico.

²⁵ Utilización de neumáticos desechados como combustible alternativo en fábricas de cemento. Dennis Quezada V. 2001

²⁶ http://www.cochilco.cl/productos/pdf/mercado_internacional_hierro_y_acero.pdf

Hace poco Gerdau Aza suscribió un acuerdo con la Municipalidad de Isla de Pascua para reciclar el metal chatarra de la isla. También tiene convenios con el Punto Limpio de recolección y reciclaje de Vitacura. Dado lo anterior, es completamente plausible asumir que un convenio para comprar el acero recuperado de una planta de pirólisis de neumáticos estaría dentro de sus intereses.

Combustible. Los aceites producto de la pirólisis poseen altas concentraciones de productos muy valiosos como benceno, tolueno y xileno, y por ello pueden emplearse como fuente de productos químicos interesantes en el mercado. Este aceite también podría refinarse hasta conseguir un diesel, pero implicaría incurrir en costos adicionales que en una primera etapa no están contemplados.

Si se vende el producto tal cual se obtiene, equivale a un fuel oil #5 o #6. El fuel oil puede usarse como:

- Combustóleo para barcos
- Componente de mezclado
- Materia prima
- Combustible de central eléctrica

El mercado que comprende es entonces el Industrial y el mercado Eléctrico para el caso de plantas termoeléctricas que actualmente utilicen fuel oil (en Chile el más utilizado es el fuel oil N°6).

Sólo en el caso de poder cumplir con algún volumen mínimo y estándares establecidos, se podría apuntar a empresas de gran volumen como ENAP o las empresas distribuidoras de hidrocarburos. Si bien ENAP importa petróleo crudo y lo refina produciendo toda la gama de combustibles del petróleo, suplementariamente se ve obligado a comprar faltantes de combustibles para entregarlos al mercado. En general, no tiene clientes consumidores finales en Chile, pues toda la venta nacional la realiza a través de las compañías distribuidoras²⁷. Las compañías distribuidoras (Copec, Shell, Esso, Terpel) compran a ENAP o importan combustibles por sus propios medios para abastecer la demanda del mercado nacional.

Pero la opción más viable es complementar directamente a los consumidores finales lo que no son capaces de suministrar ENAP o las distribuidoras.

Los consumidores finales pueden distinguirse en los siguientes tipos:

- Clientes menores, abastecidos a través de estaciones de servicio
- Clientes industriales, comerciales o empresas de transporte que compran combustibles entregados en sus propias instalaciones (estanques propios o de propiedad de la cía. Distribuidora).
- Industrias mayores

²⁷ Mercado de los combustibles líquidos en Chile. http://www.cnc.cl/pdfs/Pres_CamaraBelga_final.pdf

De este modo podría ser vendido a las empresas cementeras como se hace con los aceites usados, o también podría ser vendido como combustible líquido para ser usado en los explosivos de las empresas mineras y en sus hornos de fundición.

Negro de Carbono. El carbón obtenido en el proceso de pirólisis tiene potencial para ser usado como combustible sólido, carbón activado o negro de carbón.

En este punto debemos discutir cual de los tres usos podremos darle al producto, y de esa manera determinar el consumidor final.

Utilizar este residuo carbonoso como combustible sólido, es decir homologándolo al carbón natural, es el uso más simple y barato al que podríamos apuntar. Es un insumo que normalmente se ocupa en la industria minera y numerosas otras como briqueta para la operación de equipos de transferencia de calor.

Como carbón activado y por sus propiedades de filtrado puede ser usado en cualquiera de los procesos de tratamiento de Riles, aguas servidas o separación de materia orgánica de inorgánica y para la limpieza de gases que también son necesarias en la industria minera. Se debe destacar, que el carbón activado es un producto de elevado interés comercial e industrial, con un valor añadido muy representativo respecto a otros compuestos químicos.

En Turquía el negro de carbón de la planta Marmore es comprado por Pirelli para la fabricación de sus neumáticos. En nuestro país podría ser vendido a productores locales como Goodyear o internacionales.

Con unas ventas totales por US\$ 5.200 millones en el segundo trimestre del año, equivalente a 39,2 millones de unidades vendidas, Goodyear es una de las empresas más grandes del rubro y el líder indiscutido en Chile. En el año 2011, obtuvo el 20% de nuestro market share, lo que representa un 10% de su producción total que es de 175.000 tpa. El resto es exportado a países vecinos. Según información reciente²⁸, la planta Goodyear localizada en Maipú, está siendo remodelada y ampliada por un total de US\$ 400 millones en lo que representa la tercera inversión más grande de la firma en el mundo, con el fin de transformarse en una de las más tecnológicas del mundo, enfocada en líneas de productos premium, como los neumáticos de alto desempeño, de camioneta y camión radial, y para la minería. Esta planta produce hoy el 50% de los compuestos vendidos en Chile.

Lo natural sería entonces apuntar a negociar un contrato a largo plazo con Goodyear para venderle el negro de carbón para que sirva de pigmento y refuerzo en la fabricación de sus 17.500 toneladas de neumáticos que produce al año. Sin embargo, y ante cualquier eventualidad, siempre existirá la opción de darle el uso más sencillo que es el servir de combustible.

²⁸ <http://diario.latercera.com/2012/08/12/01/contenido/negocios/27-115894-9-la-estrategia-de-goodyear-para-liderar-en-los-segmentos-de-neumaticos-premium.shtml>

3.1.2. PROPUESTA DE VALOR

Tomando como base la afirmación “un residuo es un recurso”, el proyecto pretende dar solución al acopio desmedido de neumáticos fuera de uso, valorizándolos a través de la aplicación de una tecnología (pirólisis) medioambientalmente sustentable.

La venta de los productos resultantes de la pirólisis es un valor agregado al objetivo principal, y apunta a complementar la oferta en el siempre complejo escenario energético de nuestro país, siempre ávido de recursos energéticos no convencionales.

La propuesta de valor resuelve un problema o da solución a una necesidad pero de una manera que debe ser percibida como mejor que la competencia.

Para ello es necesario diferenciarse y este proyecto puede recurrir a varios factores de diferenciación en los cuales basar la propuesta de valor:

Novedad: No existe hoy en día en nuestro país una entidad que ofrezca este servicio. Existe el uso de neumáticos en la industria cementera utilizando la incineración, que esta acotado a un solo caso; también algunas pequeñas empresas que se dedican a la reutilización de los neumáticos, una única empresa que se dedica al reciclaje mediante la pelletización de los mismos y muchísimos intermediarios que disponen los neumáticos en vertederos o rellenos, pero ninguna empresa valoriza los neumáticos mediante pirólisis.

Desempeño y funcionalidad: La experiencia en otros lugares del mundo podrá garantizar que la valorización de los neumáticos fuera de uso realmente realiza las funcionalidades para las que fue concebida de un modo más beneficioso, debido principalmente a que sería un procedimiento eficiente, seguro, normado, estandarizado internacionalmente y además con un beneficio ecológico.

Calidad: La calidad de los subproductos derivados de la pirólisis de neumáticos es un importante factor a mostrar. No solo por un tema de marketing sino porque es necesario comprobar ciertos estándares para poder comercializarlos.

“Hacer el trabajo”. Ésta es una tarea molesta que debe ser realizada y que diversas entidades se ven obligadas a hacer. El valor se crea en este caso simplemente porque ellas confiarían esta labor a la planta, donde se realizará de forma no sólo eficiente sino ecológica permitiendo que los clientes se focalicen en sus propios procesos productivos.

Conveniencia: Adecuadamente implementada la logística, el proceso simplificaría la realización de una actividad cotidiana de municipalidades y otras entidades. Se debe hacer hincapié en que se está intentando también hacerles la vida más sencilla a actores involucrados en procesos productivos que luego no tienen como deshacerse de estos residuos.

Reconocimiento: Existe una ventaja que se puede aprovechar dada por el hecho de que los clientes estarían valorizando sus residuos de forma medio ambientalmente

más amigable que cualquiera de las alternativas ya existentes en nuestro país (salvo el reciclaje, pero dado que no existe demanda para el subproducto, no es una opción económicamente viable). Este es un valor agregado con el que los clientes podrían mejorar su imagen y utilizarlo en el marketing de su marca mostrándose como partícipes de un proceso ecológico.

Reducción de riesgos: Las opciones tradicionales de disposición de neumáticos como son los vertederos y la incineración conllevan riesgos importantes en la manipulación y otros asociados muchas veces a la falta de normas y procedimientos. Este proyecto ofrece una solución que minimiza dichos riesgos y por lo tanto puede generar mayor confianza en el cliente.

Basándonos en los criterios anteriormente mencionados, la propuesta de valor del proyecto se puede resumir en convertir residuos en recursos, más concretamente convertir neumáticos fuera de uso en productos de valor agregado usando para ello tecnología medioambientalmente sustentable basada en pirólisis.

3.1.3. CANALES DE COMUNICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN

I. Valorización de neumáticos fuera de uso.

Municipalidades. En este caso funcionaría bien la instalación de puntos verdes de acopio donde tanto las municipalidades como usuarios individuales podrían entregar los neumáticos que hayan recolectado. Si bien el modelo es asimilable al del Punto Limpio Vitacura por ejemplo, donde se acopian vidrios, papeles, cartones y latas, debido al tamaño de un neumático este lugar debería ser de mayor envergadura. Se propone utilizar el mismo patio de la planta en Pudahuel y habilitarlo como Punto Limpio.

Servitecas. Las servitecas constituyen una fuente importante de neumáticos, en primer lugar por su cercanía y contacto directo con los consumidores finales y en segundo lugar por su ubicación estratégica tanto en Santiago como en las principales ciudades de las zonas centro y sur del país. Se estima que alrededor de 20 neumáticos diarios son abandonados por los consumidores finales en las servitecas, en cuyas dependencias son acopiados sin mucha alternativa. Dado que su market share es de un 50%, un acuerdo con servitecas y concesionarios de marcas, podría intentar asegurar, optimistamente, una cifra equivalente de neumáticos desechados.

Transporte público urbano. En los mismos terminales de los recorridos del área metropolitana podrían recolectarse los neumáticos que han sido desechados, los cuales, como hemos dicho, representan una cifra no despreciable.

Empresas de transporte de carga. Debido a que los transportistas viajan continuamente a diferentes destinos, es difícil determinar los puntos exactos donde son desechados los neumáticos de camiones una vez recambiados. Sin embargo, la tarea de recolección se simplifica contactando a las empresas de tamaño significativo que tienen taller mecánico propio, que es donde se encontrarían estos

neumáticos. Según estimaciones del sector, un 20% del total de neumáticos desechados en la región metropolitana se encontrarían en estos talleres.

Líneas del metro. El punto de recolección serían los talleres de la estación San Pablo que es donde se encuentran los neumáticos desechados por las diferentes líneas.

II. Venta productos de pirólisis.

Gerdau Aza recolecta acero desde varios puntos tanto en Santiago como en otras regiones. Se podría acordar la misma logística que mantiene con la municipalidad de Vitacura y especificar un Punto Limpio de recolección. El valor a pagar por el traslado se descontaría del precio del acero.

Por su parte, el aceite combustible debería ser envasado y de allí transportado a la planta que corresponda.

Una vez que el negro de carbono se muele en el molino vibratorio, este fino polvo es enviado a un bunker separado para ser envasado en una máquina de llenado de bolsas. Ya envasado, es sencillo trasladarlo a la planta de Goodyear en Maipú o donde se estime conveniente.

3.1.4. RELACIÓN CON LOS CLIENTES

I. Valorización de neumáticos fuera de uso.

Para lograr la fidelización de los clientes más importantes, esto es, que contribuyen con el mayor volumen y flujo de neumáticos, se deberá proveer asistencia personal dedicada mediante un ejecutivo de cuentas cuyo principal objetivo será detectar las necesidades anexas a la sola disposición del residuo y que con poco esfuerzo sería posible entregar: por ejemplo detectar la conveniencia de los lugares, horarios, rutas para la recolección, etc. La relación con los clientes deberá en todos los casos ser contractual y a largo plazo.

Se debe considerar que en algunos casos (líneas de transporte público urbano o el transporte de carga por ejemplo) no es posible exigir un volumen constante de neumáticos fuera de uso, pero al menos se puede estimar un mínimo necesario para asegurar el flujo de materia prima para el proceso de pirólisis.

II. Venta productos de pirólisis.

El pilar para construir las relaciones con los clientes consumidores de los sub-productos de la pirólisis de neumáticos, se basa en el asegurar permanentemente los estándares necesarios para cada uno de ellos, esto es, las propiedades y características de combustión deseadas para el caso del combustible, la composición del negro de humo y no contaminación del acero. De ahí en más, también se deberán mantener ejecutivos de cuenta clave para asegurar la fidelidad de los clientes. En este caso se debe principalmente a que se prevé que no sean tantos, y se debe asegurar al menos uno importante para cada tipo de producto: combustible, negro de carbón y acero recuperado.

La relación con estos clientes también deberá en todos los casos ser contractual y a largo plazo.

Ante la eventualidad de que el flujo de neumáticos no sea constante, deberán tomarse las precauciones contractuales con los compradores de combustible, carbón y acero para que no sean exigidos volúmenes imposibles de alcanzar en un periodo de tiempo muy corto. Este punto debe ser estudiado con cuidado.

3.1.5. FUENTES DE INGRESOS

Todos los valores asociados a los eventuales ingresos percibidos se detallan más adelante. En este apartado describiremos en qué consisten.

a) Ingreso por venta de aceite combustible.

En Chile, los precios de los distintos combustibles se fijan en base al concepto de “paridad de importación”, que representa el costo que resulta de la compra de importación. Se parte de la base que las refinerías chilenas están compitiendo con la oferta del mercado internacional. Este enfoque no es nuevo, pues está presente en los mecanismos de fijación de precios de diversos países de la región. En Chile tiene una definición matemática bastante precisa, utilizando indicadores de mercado que se calculan periódicamente y algunos parámetros de ajuste negociados.

Solo como información adicional dado que no es este el precio al que colocaremos el producto, el precio convencional del combustible pagado por el cliente final se compone de los siguientes elementos:

- Precio de venta de ENAP (paridad de importación)
- En el caso de la zona central, transporte hasta el punto de entrega a la compañía distribuidora
- Subsidio o impuesto por efecto de los fondos de estabilización de precios
- Impuesto específico para las gasolinas y diesel (N/A para fuel oil)
- Impuesto al valor agregado IVA
- Margen de la compañía distribuidora

Consideremos el precio de paridad. Según ENAP²⁹ actualmente ronda los 644 US\$/m³ (496 €/ton) para el Fuel Oil N°6. La propuesta inicial de precio se basará en el precio de venta del combustible producido en la planta de pirólisis de Marmore en Turquía, el cual es de 400 €/ton sin considerar costos de transporte al destino (este costo puede acordarse por separado). Si bien los escenarios europeo y latinoamericano son diferentes, el mercado de los combustibles tiene un comportamiento global. Además, apuntando a un producto de características y calidad similares es plausible apuntar a un precio también similar, el cual, favorablemente, resulta ser menor al precio de paridad haciéndolo más atractivo para nuestro mercado nacional.

²⁹ http://www.enap.cl/comercial_relations/tabla_precios_paridad.php

b) Ingreso por venta de negro de carbón.

El escenario al que se apunta es a vender el residuo sólido carbonoso convenientemente molido y envasado como negro de carbón. Al ser consultados los precios de este commodity en el mercado global, vemos que incluso para aquellos proveedores considerados más económicos e informales (provenientes de China) los precios no bajan de los USD\$400 USD la tonelada, llegando a dispararse a USD\$2000 o hasta USD\$2500 la tonelada. De esta manera siendo muy conservadores, es razonable utilizar como punto de comparación el precio de venta de la planta hermana de Marmore, en Turquía y situar el precio alrededor de los 325 US\$/ton (unos 250 €/ton) de manera de ser atractivos para el mercado. Como efectivamente existen argumentos que pueden justificar un precio más alto, se partirá de este precio como base para la introducción del producto, pero apuntando a mejorarlo una vez madure la red de clientes y contactos.

Otra estrategia es situarnos en el peor escenario posible, esto es, que no podamos posicionar el producto sólido como negro de carbón y debemos venderlo como simple carbón combustible a ser utilizado primordialmente en calderas o generadoras de energía eléctrica. El precio del carbón depende enormemente del contrato realizado por cada empresa generadora. Así, por ejemplo, la central Gualcolda III tiene un contrato por 74,6 US\$/ton mientras que Nueva Ventanas tiene un contrato de abastecimiento por 102,5 US\$/ton³⁰. Además su precio es altamente fluctuante. Durante 2003, el precio promedio del carbón importado por Chile anduvo en torno a los 30 dólares por tonelada, mientras que entre 2004 y 2007 bordeó los 60 dólares. En 2008, todos los precios de los combustibles fósiles subieron por las nubes y el carbón, como miembro de la “familia fósil”, evidentemente también, alcanzado la cifra récord de 140 dólares por tonelada. En 2009 y 2010 el precio se redujo tras la crisis financiera mundial, fluctuando en torno a los 80 dólares, pero el 2011 volvió a subir.³¹

Pensando en el peor de los escenarios asumiremos un precio de 80 US\$/ton (unos 60 €/ton) que nos será de ayuda para cuando se realice el análisis de sensibilidad.

c) Ingreso por venta de Acero recuperado.

En Chile los precios de referencia utilizados para la comercialización de productos de acero aparecen semanalmente en la publicación especializada Metal Bulletin en la sección de precios del acero para Latinoamérica. Cada índice de precios del acero se estima a partir de las transacciones de una canasta de productos de acero transados en un determinado mercado. El índice global de precios de acero al carbono (Global Price Index) corresponde al valor ponderado de las transacciones de los productos de acero al carbono. Uno de ellos corresponde al índice global de precios que considera las transacciones por chatarra, arrabio y hierro procesado por reducción directa³². De esta forma, los precios de los productos comercializados en

³⁰ <http://web.ing.puc.cl/~power/alumno10/bosque/carbon.html>

³¹ <http://ciperchile.cl/2011/04/11/el-gas-de-frei-el-carbon-de-pinera/>

³² Mercado Internacional del Hierro y el Acero. Cochilco.

Chile se mueven junto con la evolución internacional del precio, aunque para el caso de la chatarra el precio es inferior en el mercado interno.

El precio de la chatarra de acero en Chile tiene un valor de US\$200 la tonelada (aproximadamente 150 €/ton), mientras que en el mercado global está entre US\$100 a US\$150 más caro (entre 230 a 270 €/ton), lo que provoca que cierto sector prefiera exportarla, acrecentando el problema de déficit de este material que existe hoy en nuestro país.

Considerando estos factores, podríamos decir que tanto en el mercado internacional como en el nacional somos precio aceptantes: en el primer caso porque el precio se fija a partir de la canasta de productos del acero, y en el segundo porque en la práctica existe un monopsonio del mercado del acero reciclado en las manos de Gerdau Aza.

d) Ingreso por disposición de neumáticos fuera de uso (“tipping fee”).

Para este ítem se ha propuesto un precio base de cero, lo cual presupone el escenario más pesimista, asumiendo que bajo las actuales circunstancias país no existe una normativa que exija a los productores e importadores hacerse cargo del destino final de sus neumáticos (REP). Sin embargo, como veremos existen algunos factores que harían factible el cobro por disponer estos residuos aun hoy.

Hasta la fecha, la política de la empresa Goodyear es no hacerse cargo de la disposición final de los desechos, dejando en manos de las servitecas su disposición final en vertederos. Estas últimas, estarían por ende, dispuestas a externalizar el servicio de eliminación de los neumáticos desechados (sin posibilidad de recauchaje) pagando a una empresa recolectora por el retiro. Si la REP estuviera vigente, este costo sería financiado con un aumento marginal de su precio de venta, como ha sido el caso en los Estados Unidos³³. Al no existir la REP, ese costo es, como ahora, responsabilidad de cada serviteca.

Lamentablemente no todo el volumen de neumáticos descartados podría ser destinado a la planta, pues una práctica muy común consiste en entregarlos a algún particular que esté interesado en adquirir parte o la totalidad de estos neumáticos, sin costo alguno para el particular, simplemente retirándolos de las dependencias de la serviteca. Incluso existen casos muy puntuales, principalmente en las zonas agrícolas del Maule y Santiago donde, sin autorización expresa de la empresa, las servitecas venden hasta en 1.000 pesos la unidad de neumático tamaño camión. El propósito es utilizarlos para combatir las heladas quemándolos en los campos durante los meses de invierno. No obstante, esta es una práctica ilegal desde el año 2009, pues trae consigo un grave deterioro del medioambiente.

En la práctica Goodyear, a través de sus servitecas, dispone de sus neumáticos desechados depositándolos en vertederos incurriendo en un costo. Es razonable

³³ Utilización de neumáticos desechados como combustible alternativo en fábricas de cemento. <http://www.monografias.com/trabajos13/neuma/neuma.shtml>

pensar que por medio de un convenio o contrato a largo plazo, se le permita a nuestra empresa recolectora, retirar los neumáticos de sus dependencias, sin costo de adquisición e incluso percibiendo un pequeño “fee”. Esto es sensato si se piensa que Goodyear lograría ventajas competitivas en términos de imagen debido al involucramiento en un proyecto de una naturaleza más limpia, además de conseguir un ahorro significativo al prescindir de los costos de disposición final de sus neumáticos en los que actualmente incurre. De todas maneras lo razonable es suponer que la máxima disposición de pago por este “fee” nunca debería superar el precio en que actualmente incurren para disponer sus NFU.

El costo de disponer los neumáticos usados no importando el aro, esto es, incluyendo el costo de retiro, basado en los precios de una empresa dedicada al rubro es de aproximadamente \$126000 pesos/tonelada³⁴. Ahora, existen estimaciones que indican que en vertederos se cobra aproximadamente \$17500 pesos/tonelada de neumático desechado en el lugar (sin gestión ni transporte).

Una aproximación más racional sería pensar en un precio al menos similar a lo que se cobra hoy por disponer de la basura domiciliar normal, esto es de unos 25 US\$/ton, es decir alrededor de 19 €/ton.

3.1.6. RECURSOS CLAVES

El primer recurso clave del proyecto son los neumáticos fuera de uso, porque es necesario asegurar un flujo continuo de materia prima. Si bien sabemos que existe un stock enorme acumulado a lo largo de los años, y que debido al crecimiento del parque automotriz se prevé que este siga aumentando, el punto clave es asegurar que un porcentaje importante de los neumáticos descartados de la zona central del país se destine a la planta.

El segundo recurso gravitante es la tecnología del proceso de pirólisis. Como hemos dicho una de las debilidades de los procesos termoquímicos, es que los rendimientos asociados a un proyecto no son nunca equivalentes aunque el proveedor de la tecnología sea el mismo, pues dependen de los parámetros de la planta en si además de las características de los insumos. De esta manera, asegurar ciertos estándares de las propiedades de los productos debería ser clave porque de esta manera se podrá acceder a compromisos contractuales a largo plazo.

La tecnología es determinante de otro modo también, pues debido a que es novedosa en nuestro país, se espera una cierta curva de aprendizaje por la cual debería transitar el personal de la planta antes de adquirir la experiencia necesaria. Así, el factor humano es relevante pues deberá ser formado o en su defecto, buscar contratar personal especializado por un tiempo hasta que sean capacitados los reemplazos.

³⁴ Fuente Bravo Energy Chile S.A

3.1.7. ACTIVIDADES CLAVES

Logística inversa.

Es imprescindible contar con una cadena de recolección que asegure que buena parte de ese 50% de neumáticos fuera de uso que se concentra en la zona central de nuestro país, sea enviado a la planta. Los consumidores finales entregarían sus neumáticos fuera de uso a una cadena de recolectores (como hemos dicho, sitios acordados con municipalidades, privados, grandes marcas multinacionales de neumáticos, entre otros) con responsabilidad ambiental. También sería deseable integrar a los recolectores informales quienes realizarían tareas de separación y clasificación de los neumáticos con el debido equipamiento de seguridad e higiene. Luego estos insumos serían direccionados a la planta. La clave aquí es acordar contratos con las partes de la cadena.

Control de calidad del fueloil.

A medida que el mercado del fueloil se ha vuelto cada vez más diverso y sofisticado, la necesidad de un análisis detallado en profundidad y consistente ha ido creciendo. Lo que una vez fue un producto bastante ordinario con unos límites muy básicos de definición se ha convertido en un mercado mundial tremendamente complejo.

De esta manera el control de calidad del fueloil es una operación esencial para productores, comerciantes y distribuidores. Consiste en una serie de pruebas de acuerdo con estándares como normas ISO, EN, GOST o para límites de contratos específicos.

Las cargas de fueloil pueden ser examinadas en pruebas que pueden incluir:

- Determinación rutinaria de destilación
- Contenido en azufre
- Contenido de trazas metálicas (como sodio-vanadio o aluminio)
- Viscosidad
- Densidad y determinación del punto de escurrimiento, entre otras

Si bien el producto aceite combustible de la planta de Turquía ya ha sido testeado en Finlandia, para un eventual contrato a largo plazo el cliente exigiría testear el producto de la planta de Santiago, dado que como hemos dicho anteriormente, cada planta es diferente. Este costo podría traspasarse al cliente si es lo suficientemente grande y tiene la capacidad de realizar estas pruebas en sus propias instalaciones (ENAP es un ejemplo), pero aun a costo cero, esta actividad seguiría siendo de máxima importancia.

Mantenciones de la planta.

Al no ser la tecnología del proceso de pirólisis de conocimiento masivo y expandido, se debería asegurar en el contrato con el proveedor de la misma un cierto tiempo de garantía y mantención. Luego de este tiempo, se debería asegurar que se haya traspasado el conocimiento necesario a personal interno de la planta.

Contratos a largo plazo.

Se deben asegurar contratos a largo plazo con los compradores de los productos de la pirólisis, sin embargo con las salvaguardas del caso para no incurrir en multas si no es posible obtener los volúmenes comprometidos.

Obtención de permisos municipales, ambientales y de salud.

Aunque gran parte del camino ya está recorrido al elegir utilizar terrenos de Hidronor para situar nuestra planta (terrenos legalmente aptos para tratar residuos peligrosos), es imprescindible obtener todos los permisos necesarios para la planta de pirólisis antes de comenzar con el proyecto.

3.1.8. ALIANZAS CLAVES

Se deben establecer alianzas estratégicas tanto con productores e importadores de neumáticos, ojala a través de la CINC, como con alguna empresa recolectora. Por medio de contratos a largo plazo se pactará retirar los neumáticos dejados por los consumidores en las servitecas u otros puntos verdes de acopio (similares al Punto Limpio de Vitacura, para vidrios, plásticos, papeles y cartones) previamente establecidos, como por ejemplo los terminales del transporte público urbano, la estación de metro San Pablo y también las municipalidades. Idealmente estos contratos deberían estipular que estas empresas están dispuestas a donar los neumáticos a cambio del servicio de aseo industrial, consistente en el retiro de los mismos. Esto es posible de lograr ya que se constata en la práctica que existen empresas que incluso pagan por el retiro de sus neumáticos desechados. El caso de Goodyear es especial porque podría actuar tanto como socio procurador de neumáticos como cliente para venderle el negro de carbono para la fabricación de los mismos. Si esto fuera posible, se podría acordar un precio especial si nos asegura un flujo de neumáticos descartados mínimo.

Se debería buscar un socio estratégico que propiciara el vender la imagen de energía limpia de la planta de pirólisis. De la misma manera como la Conama estuvo tras el lanzamiento de la empresa Polambiente de reciclaje de neumáticos, se podría buscar el apoyo del Ministerio del Medio Ambiente.

3.1.9. ESTRUCTURA DE COSTOS

Todos los valores de los costos se detallan más adelante. En este apartado describiremos en qué consisten.

Inversión Inicial. El costo más importante es la inversión inicial. Sin embargo esto no es de extrañar porque los procesos termoquímicos precisamente son tan escasos porque tienen la desventaja de necesitar altos costos iniciales. Debemos añadir que esta inversión tiene un payback bastante corto, con lo cual, sin más análisis por el momento, no podría descartarse como una opción injustificable.

Costos del personal. El segundo punto que aparece como muy importante es el relacionado con los pagos al personal de la planta. Los salarios han sido entregados

por el proveedor de la tecnología tomando como base los salarios de la planta de Turquía, es decir, considerando que en el peor de los casos todos los especialistas deberían ser contratados desde fuera. Este escenario naturalmente no debería ser tan adverso y es posible que se encuentren recursos humanos apropiados en nuestro país. En ese caso los salarios probablemente deberían ser ajustados, pero en principio no se ven grandes diferencias con los salarios nacionales.

Costos de recolección. No existe actualmente un mecanismo formal que de forma ampliada se dedique a la recolección de neumáticos en toda la zona que querríamos abarcar. Si tomamos el ejemplo de Polambiente, este se hace cargo de los neumáticos pero el traslado es por cargo del agente que desea deshacerse de ellos. Podríamos adoptar un mecanismo similar con lo cual el costo de recolección sería cero, pero en ese caso no aseguramos un suministro constante.

En el peor de los casos, si tuviéramos que contratar el servicio de recolección y traslado, existe el antecedente de las empresas cementeras. Este costo es de unos 25 USD/tonelada, es decir unos 20 euros/tonelada. El contrato debería asegurar que el traslado incluya no solo la Región Metropolitana sino además las regiones de Valparaíso y O'Higgins.

Costos de Mantenimiento. Luego tenemos los costos de mantención, que el proveedor de la tecnología ha estimado en un 5% del total de la inversión, tomando como referencia la planta de Marmore en Turquía.

Costos de Energía. Si bien una gran parte de la energía utilizada en los procesos de la planta es obtenida de los gases resultado de la pirólisis (1/3 del gas), existen otros procesos independientes que requieren energía eléctrica. Este costo se debe sumar al de la utilización de agua.

3.1.10. CUADRO RESUMEN

En el siguiente cuadro se resume el modelo de negocios utilizando CANVAS:

Alianzas Claves	Actividades Claves	Propuesta de Valor	Relación con clientes	Segmentos de clientes
-CINC (productores e importadores) -Goodyear especialmente -Empresa recolectora -Servitecas -Socio	-Logística Inversa. -Control de calidad del fueloil. -Mantenciones de la planta. -Contratos a largo plazo. -Obtención de permisos ambientales	-Dar solución al acopio desmedido de NFU, valorizándolos a través de la aplicación de una tecnología (pirólisis) medioambientalm	Contratos a largo plazo.	- Neumáticos: CINC Municipalidades Servitecas Transporte urbano Transporte de carga Metro - Combustible: ENAP

estratégico posicionamiento	Recursos claves - NFU - Tecnología - Expertise personal	ente sustentable. -Apoyar a la diversificación de la matriz energética.	Canales -NFU: Puntos Limpios, servitecas, terminales Transantiago, talleres y estación metro San Pablo. - Productos pirólisis: despacho al cliente.	Distribuidoras Generadoras termoeléctricas Industria en gral. (cementeras, mineras, etc.) -Negro de carbón: Fabricante neumáticos (Goodyear) Industria (uso filtrado de riles) Generadoras termoeléctricas (a carbón) -Acero: Mercado nacional (Gerdau Aza) -Mercado internacional
Estructura de Costos - Inversión Inicial - Costos de personal -Costos de recolección -Costos mantenimiento -Costos de energía		Fuente de Ingresos - Ingreso por venta aceites combustibles - Ingreso por venta negro de carbón - Ingreso por venta acero recuperado - Ingreso por disposición de NFU "tipping fee"		

3.2. PLAN DE OPERACIONES

3.2.1. FLUJO DE OPERACIONES

Sistema de Pirólisis de Marmore

La pirólisis se define como una descomposición térmica en ausencia de oxígeno, con o sin presencia de un catalizador, que convierte componentes orgánicos en gas, líquidos y productos sólidos. Durante la degradación ocurre la ruptura del enlace químico del residuo, lo que finalmente genera productos líquidos junto con gases no condensables y carbón sólido.

El sistema de Pirólisis de Marmore™ tiene la capacidad de generar de 1 a 20 MW de energía. De hecho, es posible producir biocarbón, carbón activado y negro de humo dentro del sistema.

Stages of Marmore Pyrolysis System are Pretreatment > Pyrolysis > Upgrading > Generation

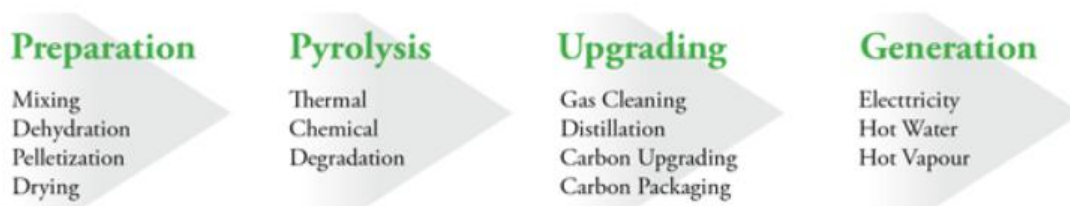


Figura 10. Flujo de Trabajo del Sistema de Pirólisis de MARMORE™

En la etapa de pre-tratamiento, el tamaño del residuo es reducido mediante un proceso de trituración, y, dependiendo de su tipo, si es necesario el residuo es pelletizado. La degradación termoquímica en ausencia de oxígeno ocurre en la etapa de pirólisis. Los productos luego son sometidos a un proceso de upgrading. Finalmente, los productos gaseosos y líquidos son usados para generar energía.

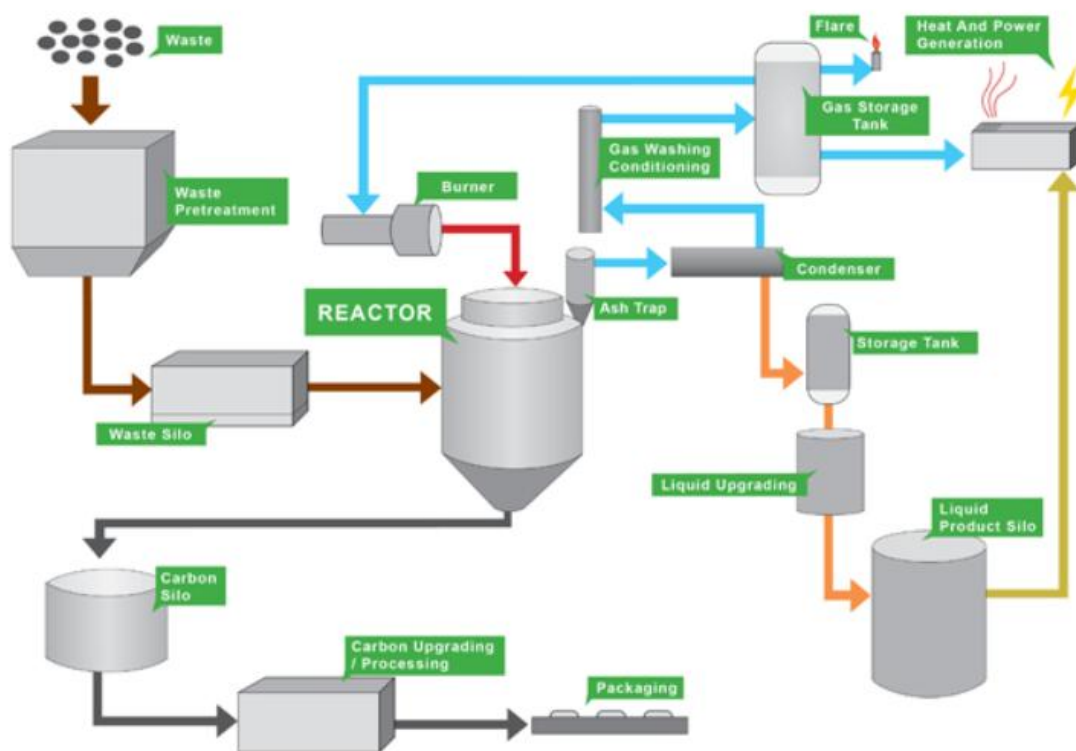


Figura 11. Esquema del Proceso de Pirólisis en la planta MARMORE™

Los productos de la pirólisis son carbón sólido y volátiles condensables y no-condensables. Las cantidades de productos sólidos, líquidos y gaseosos varían dependiendo de las condiciones de producción y el tipo de materia prima. Los productos líquidos, los cuales tienen un alto valor calorífico, pueden ser usados directamente como combustible o pueden ser destilados en orden de perfeccionar su potencial como combustible. Los productos gaseosos consisten de hidrocarburos, por lo tanto tienen alto valor calorífico. Los productos sólidos son ricos en carbón y tienen variadas aplicaciones en áreas como la agricultura y la industria.

Bio-carbon

El bio-carbon es un optimizador de suelos único, del cual se ha comprobado científicamente que incrementa la retención del agua y la capacidad de intercambio del suelo. También aumenta la permeabilidad del suelo y su fuerza, jugando un rol activo en la mejora de suelos que han sido químicamente fertilizados. Si se certifica

el suplemento de 1 tonelada en un terreno, otorga 3.2 créditos de carbono en el mercado global de los bonos verdes.

Gas Pirolítico

El gas pirolítico se produce casi al finalizar el proceso de pirólisis. Un proceso de lavado y acondicionamiento del gas, generan una mezcla que contiene una alta cantidad de hidrogeno así como metano, butano y propano. Dependiendo de las características del residuo, el rendimiento y el valor calorífico de esta mezcla están en el rango de 10-50% y 8.000-13.500 kcal, respectivamente. Esta mezcla puede generar electricidad directamente en una turbina/generador a gas. Por lo tanto, el gas pirolítico es 25 veces más valioso que el gas natural que es usado como materia prima en la industria química.

Aceites pesados

Una fracción de aceites pesados puede ser destilada para convertirlo en variados tipos de aceite industrial. Sin ser sujeto a otro proceso, este aceite es un combustible valioso con un poder calorífico de 13.000 kcal / kg.

Negro de Humo / Carbón activado

El proceso de pirólisis produce derivados del carbón. A pesar de que las propiedades de estos productos dependen de la estructura del residuo, tienen un alto valor de mercado. El negro de humo es usado en la industria del caucho, como pigmento en textiles y tintas de impresión y como material de relleno en la producción de cueros y plásticos. El carbón activado es usado en mascararas de gas, filtros, instrumentos de diálisis y en muchas otras áreas en las que el proceso de filtrado es importante.

Acero descartado

Al final del proceso de pirólisis, los alambres de acero permanecen intactos y son separados junto al resto del contenido solido. Este acero puede ser usado en la industria automotriz para utilizarse como refuerzo.

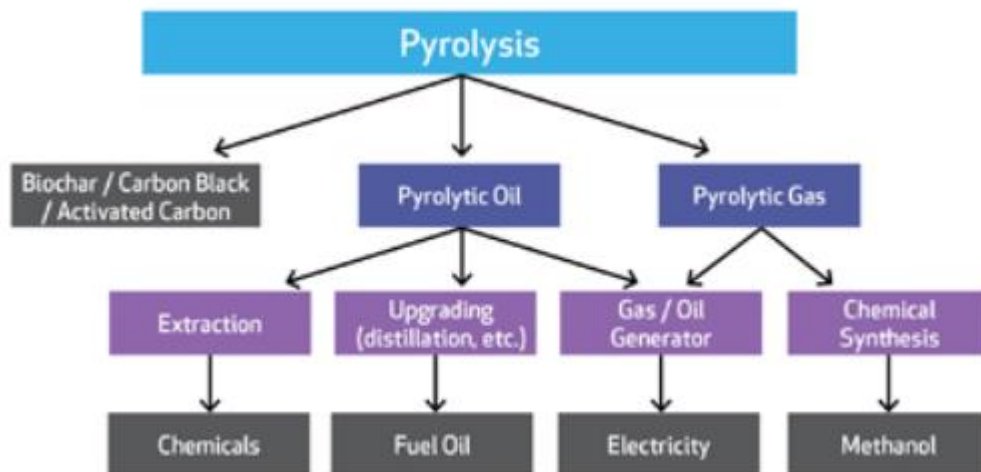


Figura 12. Productos del Sistema de Pirólisis de MARMORE™

Ventajas del Sistema de Pirólisis Marmore™

- Cumple con los objetivos de energías renovables y atiende las preocupaciones relativas al calentamiento global.
- El residuo es completamente convertido en productos con valor agregado.
- Puede ser aplicado a todo tipo de sustancias orgánicas y residuos sólidos.
- El calor que el sistema necesita es provisto por los subproductos del proceso.
- Los costos de la energía son bajos.
- No hay uso de aditivos químicos durante el proceso, por lo tanto es una tecnología eco-compatible.
- Los rendimientos de los productos pueden ser afectados efectivamente mediante el control de los parámetros del proceso.
- El volumen de las emisiones gaseosas es más bajo que el de las plantas de incineración.
- Las unidades de control y tratamiento son menos costosas que las de las plantas de incineración.
- La construcción de la planta es sencilla y los costos del capital y operacionales son bajos.

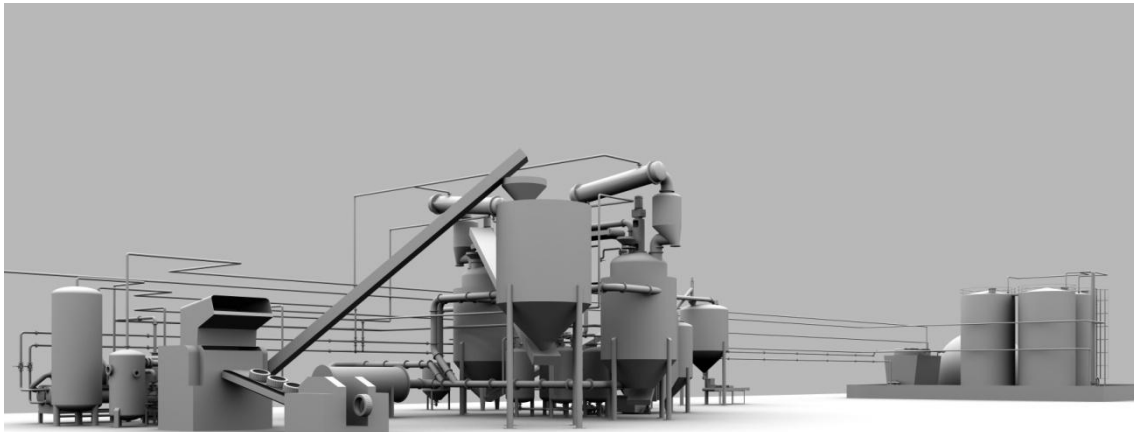
Desventajas

Las desventajas del sistema son las mismas de cualquier proceso de pirólisis:

- Las características de los productos dependen de las condiciones del proceso, por lo que es muy importante un ajuste de los parámetros para cada caso.
- Se deben disponer adecuadamente las cenizas. Aunque en este caso por situar la planta en Hidronor, este problema estaría resuelto.

3.2.2. INFRAESTRUCTURA FÍSICA

La planta de Marmore, en Erzincan, Turquía comenzó a funcionar a fines del año 2011. La construcción tomó nueve meses pero la mayor cantidad de ese tiempo correspondió a la construcción de la edificación propiamente tal.



MARMORE

Figura 13. Esquema de la planta MARMORE™

La planta tiene una capacidad de procesamiento de 20.000 toneladas por año y consta de cuatro funciones principales: preparación de los neumáticos, producción de aceite pirolítico, destilación y procesamiento del carbón. Además de las unidades principales, un sistema de almacenamiento de gas y aceite está disponible para el sistema de calefacción que utiliza gas pirolítico y aceite pirolítico pesado.

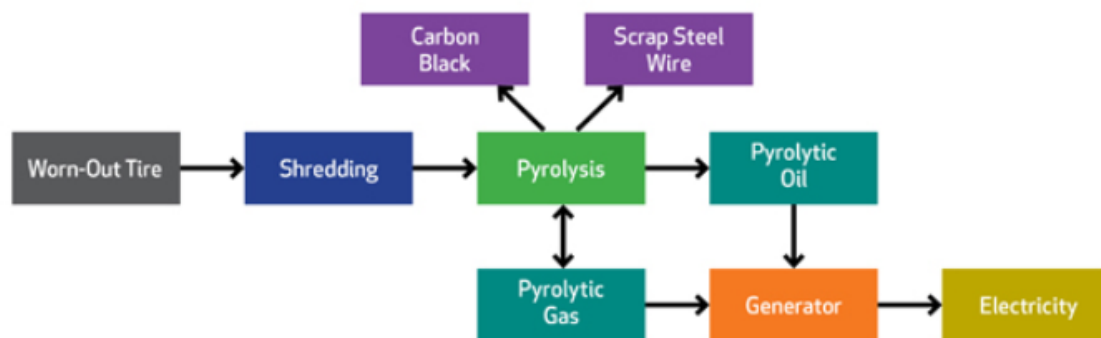


Figura 14. Diagrama de flujo de un proceso típico de pirólisis

Preparación del neumático

Primeramente los neumáticos son lavados, y luego se preparan para la trituración quitando sus cables de acero. Estos fuertes aros de acero son sacados desgarrando los bordes de los neumáticos. Posteriormente los neumáticos alimentan una trituradora de donde se cortan a un tamaño máximo de 20 cm. y se introducen en un búnker de pesaje. El búnker de pesaje se posiciona sobre células de pesaje, por lo tanto cuando la cantidad deseada se introduce en el reactor, el sistema se detiene.

La trozadora es adaptable y es posible adecuarla al tamaño del neumático que se defina en Chile.



Producción de combustibles

En el reactor, los cauchos triturados se calientan al vacío. Por el calor, el caucho se descompone, produciendo hidrocarburos aromáticos y alifáticos partiendo por los más ligeros como el hidrógeno y el metano, pero produciendo durante el proceso cada vez más pesados, hasta que sólo queda carbono sólido en el reactor. Las fracciones más ligeras de esta mezcla de hidrocarburos son recolectadas en un tanque de gas para su uso posterior como combustible del sistema (autoconsumo), o se desechan con un mecanismo de incineración. La fracción más pesada se condensa y se bombea en el tanque de aceite. Esta fracción constituye uno de los productos de la planta.

El combustible obtenido se acerca más a un Fuel Oil#5 o un Fuel Oil#6 que a un Diesel. Sin embargo sus propiedades de combustión le hacen suficientemente confiable para generadores con altas cargas de entrada. Se cuenta con un estudio independiente que evaluó estos subproductos.



Destilación (Opcional)

El proceso de destilación se asemeja al sistema de una refinería de petróleo. Antes de su condensación, el aceite pirolítico es ajustado a la temperatura deseada y es entregado en forma de vapor en la parte inferior de una torre. Los vapores que llegan hasta la parte superior se condensan, siendo la mayor porción de este condensado el producto principal.



Procesamiento del carbono

La descomposición del caucho tiene un procesamiento por lotes. Al final de cada ciclo, el reactor se vacía y los residuos de carbón que están mezclados con los refuerzos de acero del neumático son retirados. Estos son pasados a través de un separador magnético para separar el carbón del acero. Los alambres de acero se unen a los que salen de la etapa de preparación del caucho, mientras que el carbón, que en realidad es "negro de humo" se muele en un molino vibratorio. Este fino polvo es enviado a un bunker separado para ser envasado en una máquina de llenado de bolsas.



Almacenamiento del gas

Los gases son recolectados para ser luego utilizados en los procesos de calentamiento. El proceso genera gases combustibles más que suficientes para apoyar el proceso, de hecho solo un tercio (1/3) es utilizado para autoconsumo.

Productos

Las proporciones de los productos del sistema varían mucho dependiendo del tipo de neumático usado y las condiciones de funcionamiento. Pero en cualquier caso, con una mezcla promedio de automóviles y camiones ligeros, los ratios medios de los productos están dentro de los límites indicados en la siguiente tabla:

Products	Yield	Property
Carbon Black	25-30 %	N200-N330 quality (ASTM)
Pyrolytic Oil	45-50 %	10,000+ kcal energy and low sulfur content
Pyrolytic Gas	10-15 %	10,000+ kcal energy
Steel Scrap	10-15 %	Pressed for selling

Fuente: <http://eng.marmore.com.tr/>

Figura 15. Rendimientos y calidades de los productos de la pirólisis de Marmore™

Terreno y edificación de la Planta

Tanto el terreno como la envergadura del edificio que albergara la planta dependen de la capacidad de las instalaciones. No obstante, el espacio necesario para una instalación como la de Erzincan que cuenta con una capacidad de producción de 20.000 ton/año es el siguiente:

1.000 m2 área de proceso

6.000-7.000 m2 área de almacenamiento de neumáticos

250 m2 área de almacenamiento de petróleo y gas

400 kVA de potencia instalada de electricidad

El consumo promedio de energía de la fábrica es de entre 100-125 kWh.

3.2.3. PLAN DE PRODUCCIÓN

La planta tendrá una capacidad de 20.000 toneladas por año. La única materia prima necesaria son los neumáticos fuera de uso. La planta operará 350 días al año, resultando entonces que podrá procesar 57 toneladas de neumáticos al día.

Los rendimientos sugeridos por el proveedor, esto es, los mismos que se tienen en la planta de Turquía, son los siguientes:

Combustible	42%
Carbón	31%
Acero	12%
Gas	6%
Total	91%

Dados estos factores, la producción anual para cada producto comercializable es la siguiente:

Combustible	8400 tpa
Carbón	6200 tpa
Acero	2400 tpa

3.2.4. LOGÍSTICA INVERSA

La logística inversa se ocupa de los aspectos derivados en la gestión de la cadena de suministros del traslado de materiales desde el usuario o consumidor hacia el fabricante o hacia los puntos de recogida, para su reutilización, reciclado, valorización o destrucción³⁵.

Este punto es vital para el proyecto. Una eficiente recolección y suministro constante de la materia prima son puntos esenciales para la operación de la planta.

Por lo tanto una exitosa implementación del proyecto depende de la previa puesta en marcha de una nueva forma de gestión de NFU a nivel nacional, apoyada en una Ley General de Residuos, el Acuerdo de Producción Limpia y la ley de Responsabilidad extendida al productor.

³⁵ <http://www.rltinc.com/reverse-logistics.php>

Como se ha señalado, la dispersión geográfica y heterogénea densidad de generación de NFU a nivel nacional impide la instauración de puntos de valorización distribuidos equidistantes a lo largo del país. Por ello inicialmente se esperaría contar con un sistema de gestión que abarque la Región Metropolitana, Valparaíso y O'Higgins, donde se concentra cerca del 50% del parque generador de NFU, cantidad que permitiría la puesta en marcha de este proyecto de valorización.

A partir allí, y en una segunda etapa el sistema se podría extender a otras regiones (puntos lejanos y/o con bajas tasas de generación) y, en el futuro, extender el alcance a NFU de tamaños mayores al contar con una tecnología más abordable por potenciales inversionistas.

Por otra parte, en el análisis realizado por CONAMA y la CINC se considera factible aumentar la actual tasa actual de valorización de neumáticos fuera de uso recuperando un 40% del total generado en la zona donde se concentra la mitad de la producción, (de 14 mil a 24 mil toneladas dependiendo de qué tan conservador sea el análisis), lo cual permitiría redirigir estos insumos a otros fines.

De esta manera, los usuarios entregarían sus neumáticos fuera de uso a una cadena de recolectores (municipalidades, privados, grandes marcas multinacionales de neumáticos, entre otros) con responsabilidad ambiental, donde es posible integrar a los recolectores informales (ya están organizados en agrupaciones) quienes realizarían tareas de separación y clasificación de los NFU con el debido equipamiento de higiene y seguridad³⁶.

Desde ahí serían direccionados a la planta.

Se tiene la experiencia de quienes han incursionado en el sector:

Polambiente posee una planta piloto que produce gránulos de caucho en base a neumáticos usados, con los que se realizan nuevos productos. Esta planta se gestiona conjuntamente por empresarios privados y por la Cámara de la Industria del Neumático de Chile.

El punto de partida de su proceso es precisamente la recolección. La CINC se encarga de recolectar los residuos en los puntos asociados situados en las regiones Metropolitana, V y VI. Estos lugares son monitoreados constantemente por un software especial y cuando en determinado punto se llega a una cantidad de neumáticos previamente pactada se programa su retiro por camiones que tienen una capacidad de 35 metros cúbicos. El tiempo entre retiro y retiro es variable, pues depende del espacio disponible en cada punto. En algunos puntos la plusvalía del terreno es tan alta que sólo se puede almacenar entre 60 a 80 neumáticos fuera de uso, lo que representa aproximadamente de 4 a 6 metros cúbicos. Sin embargo, hay otros sectores donde el terreno no es tan costoso, por lo que se dispone de mayor espacio, pudiéndose almacenar inclusive hasta 150 neumáticos, los que corresponden a 8 o 10 metros cúbicos.

³⁶ Modelo similar existe en provincia de Buenos Aires. www.inti.gov.ar/sabercomo/sc91/pdf/sc91.pdf

También se tiene la opción de complementar la recolección pagando por ésta directamente a los recolectores informales. El valor de mercado bordea los \$25 CLP el kilo, aunque es importante entender que en Chile realmente no se paga por los neumáticos reciclados en sí, sino por su recolección.

3.2.5. PERSONAL DE OPERACIÓN

El personal que posee la planta de Turquía nos ilustra acerca de las necesidades de recursos humanos para el proyecto:

PERSONAL	Cantidad
CEO	1
Manager	4
Profesionales	3
Obrero	1
Técnicos	18
Operadores	4
Trabajadores	11
Total	42

3.3. PLAN DE IMPLEMENTACIÓN (GANTT)

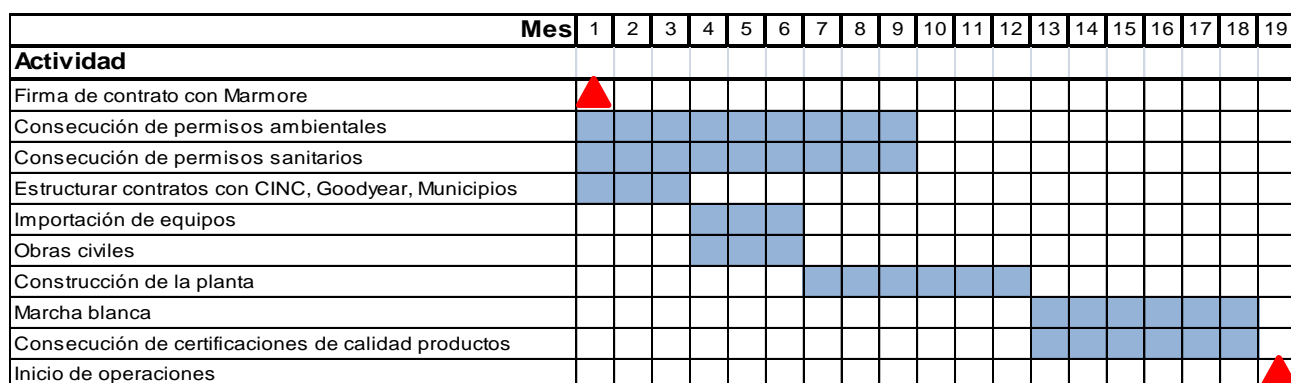


Figura 16. Gantt del Proyecto

3.4. EVALUACIÓN ECONÓMICA

3.4.1. SUPUESTOS

De acuerdo a los datos entregados por el proveedor de la planta Marmore en Turquía y a las exigencias del potencial inversionista, esto es, Reinvent, se están haciendo los siguientes supuestos:

Como hemos dicho, se evaluará la planta sin la opción de cogeneración eléctrica, tal cual está montada en Turquía. Aunque el proveedor tiene la tecnología, esto es, el generador que podría convertir nuestros sub-productos directamente en energía eléctrica, el inversionista quiere bajar el riesgo manteniendo las mismas variables de la planta modelo.

En la planta de Erzincan pagan por los neumáticos. Dado el contexto actual en Chile y las exigencias planteadas por el inversionista la planta puede pagar por el servicio de recolección, pero no pagará por la materia prima. Incluso, dependiendo de la eventual publicación de la Ley de Residuos Sólidos, se pretende estar preparados para un futuro escenario donde se cobre un Tipping Fee, idéntico al modelo de operación de países europeos donde se obliga a disponer adecuadamente de estos residuos.

La tasa de descuento exigida al proyecto por Reinvent es de un 25%, que es la misma con que evalúan proyectos de similares características y riesgos.

La capacidad de la planta es de 20.000 Toneladas/año y su actividad es de 350 días al año, lo que equivaldría al procesamiento de 57 toneladas de neumáticos al día.

El periodo de evaluación del ciclo de vida del proyecto se plantea en 20 años. La depreciación ocurrirá en este mismo periodo de 20 años sin valor residual. Sin embargo según estimaciones del proveedor de la tecnología, el valor comercial de la planta al finalizar ese periodo de tiempo será de un 10% del valor de la inversión inicial asumiendo que no habrá nuevas inversiones que permitan continuar con los flujos de ingresos por venta y por lo tanto solo se venderá la planta por partes, sin capacidad productiva.

El capital de trabajo se asume que debe estar preparado para enfrentar 6 meses, es decir se debe contar inicialmente con el dinero para los costos de al menos medio año.

Se pretende construir esta planta en suelos propiedad de Reinvent, es decir, en los terrenos donde está ubicada la planta de tratamiento de desechos industriales de Hidronor ubicada en Pudahuel.

Los rendimientos de la planta de Turquía entregados por el proveedor son los siguientes:

Combustible	42%
Carbón	31%
Acero	12%
Gas	6%
Total	91%

El capital es 100% de propiedad del inversor, sin deuda. Según datos de operación de la planta de Marmore en Turquía, el incremento histórico anual de los precios ha rondado un 2%, razón por la cual plantearemos ese mismo valor para nuestro modelo. El incremento anual de los sueldos y salarios se propone sea un 3% (en realidad en la práctica contractualmente se fija de acuerdo al IPC, pero para mayor simplificación de los cálculos dejaremos un valor fijo). Los costos de mantención se incrementarán en un 2% anual, también según datos entregados por Marmore.

3.4.2. FINANCIAMIENTO

Se asume a Reinvent como el único inversionista, quien aportará el 100% de capital. Para el escenario base, no se asumirá ningún préstamo.

3.4.3. COSTOS - INVERSIÓN

Costos de Construcción

Para la capacidad prevista de 20.000 toneladas, experiencias previas del proveedor Marmore en otros proyectos, consideran necesaria una superficie total de la planta de 8000 m² y del edificio en sí mismo, de 1000 m².

Por otra parte, según datos de las construcciones previas en los terrenos de Reinvent, los cuales consideran un tipo de edificación estándar y aplicable al edificio que se requiere, el costo por m² sería de 200 € por lo que la construcción de la planta costaría:

Construcción: 200.000 €

Tecnología

De acuerdo a los datos entregados por el proveedor Marmore, la tecnología (ingeniería, software, partes y piezas específicas y capacitación incluidas) para realizar la planta con los supuestos anteriormente mencionados tendría el siguiente costo:

Pirólisis: 7.000.000 €

Terreno:

Por ser terrenos propios que en este momento no tienen ningún uso, este ítem tendría costo 0, pero podemos asumir un costo de oportunidad de 30 € por m², si vendiéramos este terreno a terceros (es un terreno con permisos sanitarios y ambientales):

Terreno: 0 €
Costo Oportunidad: 240.000 €

3.4.4. COSTOS OPERACIONALES

Costo de Recolección de los Neumáticos

Se ha asumido un costo unitario por recolección de neumáticos de 20 €/ton, lo cual para una capacidad anual de 20.000 toneladas nos arroja un total anual de:

Recolección neumáticos: 400.000 €

Costo de la Energía

Según los datos proporcionados por el proveedor y dados los supuestos de capacidad de la planta ya mencionados, los costos anuales asociados a la energía serían los siguientes:

Precio unitario electricidad: 0,09 €/Kwh
Consumo diario: 9958,656 Kwh/día
Actividad planta: 350 días

Costo anual Electricidad:	313.698	€
Precio Unitario Agua:	1	€/m3
Consumo diario	15	ton/día
Actividad planta:	350	días
Costo anual Agua:	5250	€
Total Energía:	318.948	€

Costo por Mantenimiento

El costo de mantenimiento de la planta comprende la mantención de la maquinaria y del edificio en sí. Según datos proporcionados por el proveedor, debería ser de un **5%** de la inversión total al año.

Mantenimiento:	360.000	€
-----------------------	---------	---

Mano de Obra

La planta tendría la siguiente planilla de trabajadores permanentes con su correspondiente costo anual:

Personal	Precio Unitario	Cantidad	Costo Anual
CEO	4500 €/mes	1	54.000
Manager	2500 €/mes	4	120.000
Profesional	1500 €/mes	3	54.000
Obrero	1500 €/mes	1	18.000
Técnico	1000 €/mes	18	216.000
Operador	900 €/mes	4	43.200
Trabajador	900 €/mes	11	118.800
Total Personal		42	624.000 €

3.4.5. BENEFICIOS – TIPPING FEE

Según lo mencionado en apartado de supuestos, el tipping fee bajo las actuales circunstancias es 0, pero el escenario podría cambiar radicalmente dependiendo de la legislación.

3.4.6. BENEFICIOS – SUBPRODUCTOS

Aceite combustible

El tipo de combustible producido por la planta tiene un valor comercial que ha sido estimado en 400 €/ton. Dado que al año la producción de este aceite será de 8400 toneladas, se tiene un ingreso anual de:

Aceite combustible: 3.360.000 €

Negro de Carbón

El Negro de Carbón o Negro de Humo (Carbon Black) producido por la planta tiene un valor comercial que ha sido estimado en 250 € la tonelada. Dado que al año la producción de este carbón será de 6200 toneladas, se tiene un ingreso anual de.

Negro de Humo: 1.550.000 €

Acero recuperado

El acero obtenido de la extracción de la estructura interna del neumático tiene un valor comercial que ha sido estimado en 250 € la tonelada, sin embargo este es el precio entregado por el proveedor asociado a la planta de Turquía donde se vende este producto en el mercado europeo. Se ha adaptado al precio nacional que asciende a 150 € la tonelada. Asumiendo el rendimiento entregado por el proveedor de un 12% de acero por neumático, se tiene una producción al año de 2400 toneladas, con lo cual se obtiene un ingreso anual de:

Acero recuperado: 360.000 €

3.4.7. TASA DE DESCUENTO

Por exigencias de Reinvent dado el alto riesgo en este tipo de proyectos, la tasa de descuento debe ser de un 25%.

3.4.9. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Para el análisis de sensibilidad se han elegido ciertas variables que se piensa tienen más impacto sobre el resultado del proyecto, esto es, que ante determinadas variaciones producen mayores variaciones sobre el valor actual neto del proyecto. El rango de variación porcentual con que se probaron las variables fue de un -50% a +50%, salvo el Tipping fee que como veremos se hizo variar desde un 0% a un +100%.

Intencionalmente se han dejado fuera del análisis variables como la Inversión Inicial y la Tasa de Descuento porque ambas han sido fijadas como supuestos por el proveedor de la tecnología y por Reinvent, respectivamente, con lo cual no tiene sentido estudiar su efecto.

Precio Fuel Oil: El precio internacional de los hidrocarburos es una variable que ha demostrado ser altamente fluctuante. Si bien a largo plazo es observable una lógica tendencia al alza, cambian constantemente, afectados por diversos factores. Un ejemplo fue la última crisis económica alcanzada en 2009 que provocó una contracción. El precio de los combustibles en nuestro país está fuertemente ligado al precio internacional, con lo cual parece natural preguntarse qué ocurriría en caso de una variación del mismo. Para el escenario base el precio se fijó en 400 €/ton.

Precio Negro de carbón: Las fluctuaciones del mercado internacional afectan directamente al precio interno de este producto, similar a lo que hemos descrito para los combustibles líquidos. Sin embargo, a esta variable debemos agregar la incertidumbre de no saber a priori si este producto será vendido como negro de carbón, como carbón activado o como para ser utilizado como combustible sólido y reemplazar al carbón natural. De esta manera una prueba de sensibilidad está ampliamente justificada. Para el escenario base el precio se fijó en 250 €/ton.

Precio Acero recuperado: El acero tanto nacional como internacionalmente tiene una enorme demanda (de hecho en nuestro país tenemos un franco déficit), pero nuevamente nos encontramos que las vicisitudes mundiales afectan su precio. En épocas de crisis económicas como la del 2009, el ámbito de la construcción sufre un retroceso lo que merma también los precios. Por otra parte, se suma a esta incertidumbre el verdadero precio a considerar en el proyecto. En el mercado internacional, el precio del acero recuperado o reciclado puede llegar a ser hasta un 75% superior al precio local. En principio se ha fijado el precio interno como escenario base (150 €/ton), pero naturalmente existe la aspiración de poder exportarlo.

Incremento % anual de los precios: Las fluctuaciones en los commodities se han tratado de reflejar en forma general en el proyecto incluyendo una tasa anual de incremento del 2% para todos los precios, lo cual es intencionalmente muy conservador. Sin embargo, este crecimiento perfectamente podría ser del doble o no

existir crecimiento alguno, dependiendo de las circunstancias mundiales. De forma separada se ha querido indagar la influencia de esta variable en el proyecto.

Costo recolección de neumáticos: Aquí la incertidumbre se presenta al encontramos con que no existe un precio estandarizado para este concepto. Al no haber empresas grandes dedicadas a este servicio, el mercado tiende a ser un poco disperso y finalmente ocurre que quienes necesitan deshacerse de sus neumáticos y requieren de un servicio de recolección sumado (o no) a uno de disposición en vertederos, terminan pagando su disposición a pagar, lo que varía ampliamente de sector en sector. En este caso se ha asumido como escenario base que contrataremos el mismo servicio de recolección y traslado que actualmente pagan las empresas cementeras para llevar los neumáticos a sus hornos. Este costo es de unos 25 USD/tonelada, es decir unos 20 €/ton.

Tipping fee: Intencionalmente hemos presupuesto el escenario más pesimista (tipping fee = 0), asumiendo que bajo las actuales circunstancias país no existe una normativa que exija a los productores e importadores hacerse cargo del destino final de sus neumáticos (REP). No obstante, como hemos dicho ciertos actores de la cadena actualmente se ven obligados a pagar por disponer sus neumáticos descartados en rellenos y vertederos ya sea legales o ilegales.

El siguiente gráfico muestra el efecto en la variación del VAN ante los cambios en cualquiera de estas variables.

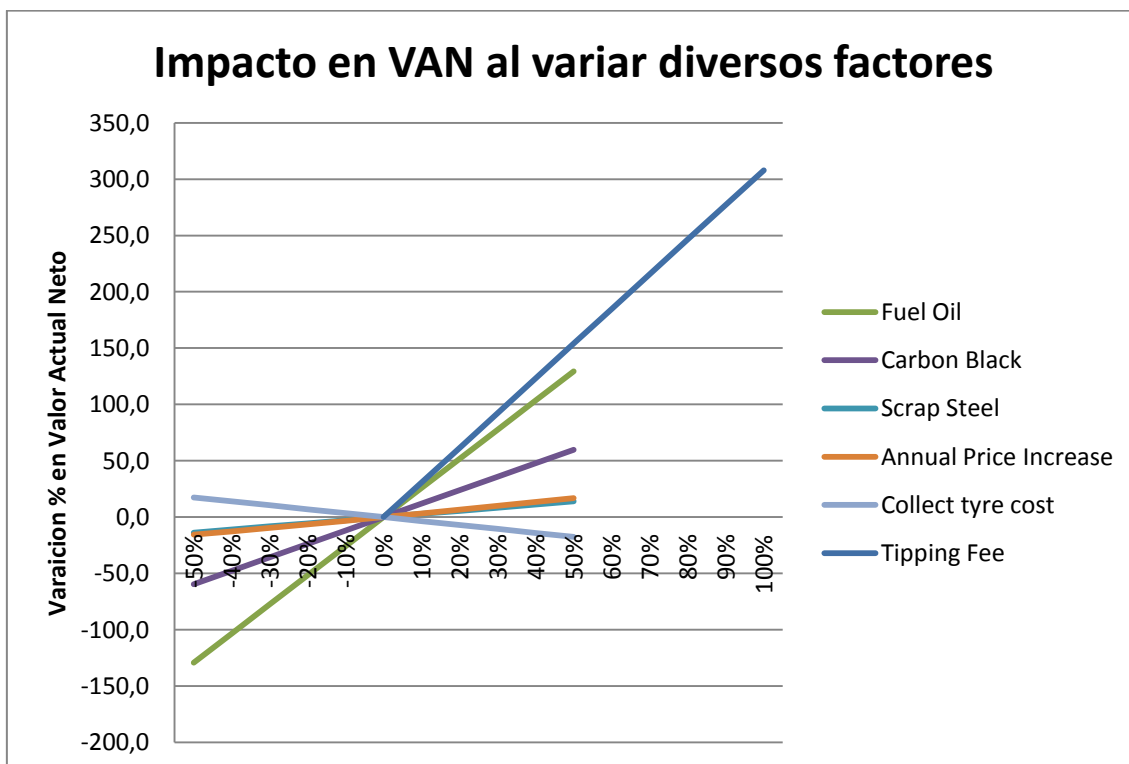


Figura 17. Impacto en VAN al variar factores del proyecto

Al observar las pendientes de las rectas, vemos que el análisis de sensibilidad mostró que ante variaciones porcentuales similares, el Tipping Fee tiene un impacto muchísimo mayor en la variación porcentual del VAN, seguido muy de cerca por el precio del Fuel Oil. Una conclusión importante es que aunque se planteara en principio no cobrar por recibir los NFU y con este supuesto el proyecto es viable, sería muchísimo más ventajoso esperar por el escenario en que una ley REP obligara a las entidades a pagar por la disposición de sus neumáticos. Dicho de otra manera, esta variable podría influir en la decisión de una eventual postergación del proyecto. El break-even del Tipping Fee está en torno a los -65 €/ton, esto quiere decir que el proyecto es rentable incluso si la planta debe *pagar* por los neumáticos, pero no más allá de 65 €/ton. De cualquier modo, el pagar por los NFU está fuera del escenario previsto por Reinvent.

El precio del combustible líquido también tiene un impacto importante, con lo cual parece lógico que si se debe asegurar al menos un contrato conveniente, debería ser éste. El break-even del Fuel Oil está en torno a los 246 €/ton.

El precio del carbón tiene casi una incidencia directamente proporcional porque a determinadas variaciones porcentuales, el cambio en el VAN es casi el mismo porcentualmente hablando. El break-even del carbón está en torno a los 41 €/ton.

Finalmente, mucho menos relevantes aparecen la tasa de aumento de los precios en general, el precio del acero y el costo de la recolección de los neumáticos, cuyas variaciones afectan con menor fuerza a la variación del VAN.

El break-even del incremento % de precios está en torno al -5.9%, lo cual significa que los precios del mercado para todos nuestros productos en conjunto, podrían ir a la baja y aun así el proyecto sería viable, pero sólo hasta una baja de un 5.9% (negativo).

El break-even del acero se calcula en un precio negativo (-390 €/ton), lo cual significa que manteniendo todas las variables constantes, se podría prescindir de la venta del acero y no afectaría al rendimiento del proyecto que seguiría siendo positivo.

El break-even del costo de recolección está en torno a los 77 €/ton, más de 3 veces más de lo que pagan las empresas cementeras por un servicio similar, por lo que es de esperar que este escenario esté lejos de ocurrir.

3.4.10. ANÁLISIS DE ESCENARIOS

Adicionalmente y para visualizar el impacto más realista de alterar diversas variables simultáneamente, se realizó un análisis de escenarios posibles, para considerar tanto el escenario más pesimista como uno que muestre la mejor de las opciones posibles.

El escenario pesimista consideró los siguientes supuestos:

- No se produce incremento anual en los precios de venta, estos se mantienen constantes en todo el ciclo de vida del proyecto.
- El Negro de Humo es vendido a precio de carbón que hemos calculado en 60 €/ton, lo cual es el precio más reducido al que puede acceder, casi el precio por default.

En este escenario, el VAN del proyecto es negativo -663.927 €. Calculamos el break-even para el carbón y vemos que en un escenario sin crecimiento en los precios de venta, este precio no puede bajar de los 93 €/ton. Pero paralelamente vemos que la TIR sigue siendo alta, de un 22.7%.

El escenario optimista consideró los siguientes supuestos:

- En este escenario se opta por esperar la proclamación de la ley de Responsabilidad Extendida al Productor o un escenario similar que permita pactar el cobro de un "Tipping fee". El mínimo que se ha estimado es cobrar el equivalente a la disposición de basura doméstica común y corriente, es decir como señalábamos antes, unos 19 €/ton.
- Se consigue igualar el precio de venta del combustible al precio publicado de paridad de ENAP, esto es de 644,44 US\$/ton, es decir unos 496 €/ton.
- Se vende el acero en el mercado internacional, cuyo precio para "Scrap Steel" bordea los 250 €/ton.

Bajo todos estos supuestos que en realidad son bastante razonables, el VAN del proyecto es de 9.807.449 € y la TIR es de 54.9%.

El periodo de recuperación descontado (Discounted Payback Period) es de 3,69 años.

La interpretación del análisis de escenarios indica que:

- A. Se debe aceptar el proyecto si en el escenario pesimista $VAN > 0$.
- B. Se debe rechazar el proyecto si en el escenario optimista $VAN < 0$.
- C. Si el VAN es a veces positivo y otras negativo, no se puede concluir nada.

En nuestro caso, nos encontramos en la situación C, por lo tanto los resultados no son concluyentes.

3.4.11. CONCLUSIONES DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA

Los resultados del análisis costo-beneficio de la implementación en Santiago de Chile de una planta de pirólisis de neumáticos, indican que el proyecto debería ser acometido dado que tiene un VAN positivo de € 4.662.691 en el escenario base y con una tasa de descuento del 25%, generando así más beneficios que costos económicos en la mayoría de los escenarios.

El periodo de recuperación descontado es menor a 4 años. Es decir, el dinero aportado se recuperaría antes del primer quinto de vida del proyecto.

No obstante, ciertas variables han suscitado interés por lo que ameritaría la realización de algún análisis adicional.

El Tipping Fee es la variable que tiene un impacto mayor en el resultado del proyecto, seguido muy de cerca por el precio del Fuel Oil. Aunque se ha planteado en principio no cobrar por recibir los NFU y con este supuesto el proyecto es viable, parece más ventajoso esperar por el escenario en que una REP obligara a las entidades a pagar por la disposición de sus neumáticos. Así, esta variable podría influir en la decisión de una eventual postergación del proyecto. Lo positivo es que, manteniendo todas las otras variables constantes, el proyecto es rentable incluso si la planta debe pagar por los neumáticos, hasta cierto límite.

Manteniendo todas las otras variables constantes, se podría prescindir de la venta del acero y no afectaría al rendimiento del proyecto que seguiría siendo positivo. Algo similar ocurre con el incremento % de precios, los cuales podrían ir a la baja y aun así el proyecto sería viable, hasta cierto límite.

Por último, también asumiendo caeteris paribus, el costo de recolección de los neumáticos podría incrementarse a más de 3 veces más lo que pagan las empresas cementeras por un servicio similar y aun así el resultado del proyecto es positivo.

Por otro lado, el enfoque con que fue abordado este análisis requería del establecimiento de ciertos supuestos, los cuales evidentemente están sujetos a debate. Sin embargo, la intención ha sido obtener cierto conocimiento que sirva de guía a quienes eventualmente deban realizar un análisis más profundo.

4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Con el fin de establecer las opciones de valorización para los neumáticos fuera de uso factibles de aplicar bajo las circunstancias de nuestro país, se revisaron diversas tecnologías aplicadas a nivel mundial. Se encontró con que las alternativas de valorización contemplan todo un espectro que va desde la re-utilización del material hasta el aprovechamiento energético directo. Dentro de las opciones de utilización material, existen una serie de alternativas de reciclaje, ya sea utilizar neumáticos completos en obras de infraestructura, o bien, previa trituración del neumático, la utilización del granulo para la fabricación de productos moldeados, carpetas e incluso mezclas de asfalto y caucho. En el caso del aprovechamiento energético también existen opciones, desde la producción de subproductos que serán puestos en el mercado de commodities para ser utilizados como combustibles, a la generación directa de energía eléctrica utilizando estos mismos subproductos.

Sin embargo, iniciativas que lleven a cabo estas alternativas de valorización hay pocas en nuestro país. Particularmente, en el caso de plantas Waste-to-energy no

existe ninguna, ni para neumáticos ni para ningún otro tipo de residuo. Como a priori se encontró que, al menos teóricamente, estas tecnologías poseían una serie de bondades, se optó por elegir una de las tecnologías termoquímicas, la pirólisis, como objeto de estudio. El proveedor se eligió debido a que existe una planta operando en Europa que debería servir de símil al proyecto a evaluar en nuestro país.

De la tecnología

Entre 1994 y 2006, prácticamente ninguna planta de Waste-to-energy fue desarrollada en el mundo. El pensamiento convencional de aquellos años era que la industria del WTE estaba destinada a seguir el mismo ciclo que la industria de la energía nuclear - un ciclo a la baja, sin posibilidad aparente de recuperarse. Al igual que las plantas de energía nuclear, había pocos pioneros que patrocinaran las instalaciones de WTE ante el público en general debido al gran capital inicial necesario y los costos operativos, la problemática relativa a las emisiones del aire, y a que existían medios alternativos menos costosos de eliminación. Sin embargo últimamente este escenario ha variado, un renovado interés o curiosidad ha surgido respecto a la instalación de plantas de WTE. Esto es particularmente evidente en la expansión significativa de esta tecnología desde el año 2000, pero aplicada a los Residuos Sólidos Municipales. Encontramos ejemplos en Europa, en Asia e incluso en los Estados Unidos, donde solo en la región del Maine hay cuatro plantas de WTE - Portland, Biddeford, Auburn y Orrington-.

Las tecnologías de conversión termoquímicas tienen muchas ventajas sobre otras opciones de tratamiento. Los subproductos de los procesos termoquímicos son comercializables (aceite y carbón) o pueden ser utilizados para calentar el proceso (gas de combustión), mientras que los productos de la incineración o el vertido generalmente son CO₂, metano o calor.

Estos procesos se realizan en entornos con limitada o nula existencia de oxígeno y sus volúmenes de salida son mucho más pequeños, formando menos gases contaminantes y menores volúmenes de gases de combustión que necesitan ser tratados como contaminantes del aire, en comparación con las instalaciones tradicionales de incineración. Al combustionar residuos en lugar de combustible virgen, se forman menos CO₂ y metano, entonces los procesos termoquímicos tienen emisiones GHG (de gases de efecto invernadero) negativas y se reduce su huella de carbono. Así como existen plantas termoquímicas comerciales para el tratamiento de residuos sólidos municipales que cumplen con estrictas normas ambientales, instalaciones similares para el tratamiento de neumáticos fuera de uso son tecnológicamente capaces de tratar sus emisiones de agua/aire/partículas y satisfacer las normas ambientales locales.

De la gestión de neumáticos fuera de uso

Las tecnologías termoquímicas para neumáticos de desecho deben ser parte de un plan integral de tratamiento de residuos a nivel país.

El tratamiento de cualquier residuo debe comenzar por una decisión política nacional, regional o municipal que establezca regulaciones que deban controlarse y cumplirse asegurándose de cumplir con los estándares ambientales internacionales.

La experiencia de países con una gestión de neumáticos fuera de uso más eficiente, demuestra que se necesita la coexistencia de varias alternativas de valorización, la cooperación de todos los eslabones de la cadena económica del sector y una normativa que regule el ámbito de acción y las responsabilidades de cada parte, así como sus interacciones.

No obstante, en nuestro escenario existen factores que pueden afectar el éxito de un sistema de gestión de esta naturaleza.

Chile posee características geográficas que hacen que las densidades de generación de NFU no sean homogéneas. Esto, además de la dispersión geográfica de sus fuentes de generación, la existencia de un mercado informal de captura y un cierto grado de no homogeneidad en lo que respecta al tamaño de los neumáticos obligan a que cualquier sistema de gestión a nivel nacional, debiera ser implementado de manera gradual.

Deberá además tenerse presente el problema socioeconómico que subyace a la recolección informal de neumáticos descartados, a fin de incluir acciones tendientes a eliminar las prácticas actuales que atentan con la eficiencia de la gestión.

Por otro lado no se debe menospreciar la relevancia de crear una conciencia ambiental, social y de calidad en el consumidor final, de tal manera que exija su derecho a que los neumáticos que ha descartado sean debidamente reciclados, valorizados o dispuestos por el sistema.

Del proyecto

Los resultados del análisis costo-beneficio de la implementación en Santiago de Chile de una planta de pirólisis de neumáticos, con un horizonte de análisis de 20 años, indican que el proyecto debería ser acometido dado que tiene un VAN positivo de €4.662.691 en el escenario base y con una tasa de descuento del 25%, generando así más beneficios que costos económicos en la mayoría de los escenarios.

Las variables más relevantes en el resultado del proyecto son el precio del fuel oil, el del carbón y muy especialmente el de una eventual tasa o cargo por disposición del neumático (“tipping fee”), misma que se podría cobrar en el escenario de una ley REP vigente.

Resumen

Los tratamientos de conversión termoquímicos para neumáticos fuera de uso son una opción tecnológica, ecológica y económicamente viable.

Después de remover los componentes reciclables y recauchar o reusar el neumático fuera de uso, tratar el resto del residuo con procesos de conversión termoquímicos es una forma medioambientalmente racional de reducir la cantidad de residuos a disponer en un vertedero. Los subproductos de la pirólisis de neumáticos son comercializables y sólo la ceniza necesita ser eliminada. Los procesos termoquímicos tienen mayor eficiencia energética en comparación con la incineración convencional dado que los volúmenes de salida de los gases son mucho más pequeños, el volumen que requiere tratarse es menor, lo cual los hace menos costosos. En general, estas tecnologías son capaces de cumplir los límites de emisiones tanto locales como internacionales.

El principal impedimento para una eventual implementación es la falta de experiencia técnica, ya que estas tecnologías no están generalizadas y casi no existen plantas comerciales. Pero aunque las plantas de conversión termoquímicas exclusivas para neumáticos son limitadas en todo el mundo, no parecen existir barreras técnicas importantes para el uso de estas tecnologías, como lo comprueban las numerosas plantas que tratan residuos sólidos domiciliarios.

La mayoría de los estudios económicos realizados han concluido que, una vez salvado el gran obstáculo de la alta inversión inicial, los procesos de conversión termoquímicos de neumáticos en desuso pueden ser económicamente factibles. La viabilidad de cualquier planta parece depender de otros factores, tales como las consideraciones económicas, los costos de capital de las instalaciones, disponibilidad de materia prima, si existen mercados para el producto final, el proceso de concesión de permisos y el marco regulatorio existente de fondo, donde destaca la ampliamente extendida en Europa y tan esperada en Chile ley de Responsabilidad Extendida al Productor.

Pero para una correcta implementación de la REP se necesita primero la comprensión y maduración por parte del Estado de los modelos de gestión ya implantados en Europa. Estos han tenido óptimos resultados, pero dadas nuestras circunstancias geográficas, económicas e inclusive culturales, una adaptación de los mismos amerita un estudio detenido.

A la luz de los argumentos, Chile debería, al menos, considerar estas tecnologías como una opción para el tratamiento ya no solo de los neumáticos fuera de uso, sino para cualquier otro tipo de residuo. La iniciativa de Marmore en Turquía, es una de las plantas en el mundo desde donde nuestro país podría adoptar y adaptar la tecnología apropiada.

5. GLOSARIO

- a. Acreditación de recauchaje: proceso por el cual CINC otorga el reconocimiento formal sobre la competencia de una empresa recauchadora para desempeñar la tarea específica de recauchaje de neumáticos, orientada específicamente a la calidad del producto final.
- b. Agentes económicos: productores , importadores, distribuidores y puntos de venta de neumáticos, cámaras, válvulas, llantas, bandas de rodamiento. Así también, talleres de cambio, reparación de neumáticos y plantas de recauchaje.
- c. Almacenamiento: acumulación temporal de neumáticos fuera de uso.
- d. Cantidad de NFU generados: equivale a la cantidad de neumáticos nuevos de reposición que ingresan al mercado.
- e. Centro de acopio: instalación autorizada, donde se descargan y almacenan los neumáticos fuera de uso para su posterior gestión.
- f. Destinatario: persona natural o jurídica debidamente autorizada por la Autoridad Sanitaria que realiza operaciones de almacenamiento y valorización de neumáticos fuera de uso conforme la normativa vigente.
- g. Generador de NFU: titular de toda instalación o actividad, dedicado al rubro neumáticos, que genere neumáticos fuera de uso. Quedan excluidos de tal condición el usuario o propietario del vehículo que los utiliza y el poseedor según se encuentra definido en el presente APL
- h. Gestión de NFU: Recolección, almacenamiento, transporte, valorización, incluida la vigilancia de estas actividades, así como la de los lugares de depósito o vertido después de su cierre.
- i. Gestor de NFU: Persona física o jurídica que realice cualquiera de las operaciones de gestión de neumáticos fuera de uso y que esté autorizado para tal efecto, cuando corresponda, conforme al cumplimiento de la normativa vigente.
- j. Neumáticos Fuera de Uso (NFU): Aquellos neumáticos que según su estado no son aptos para su uso seguro según las Normas Chilenas. Asimismo, se considerarán como tales las cámaras y neumáticos de rechazo de fabricación. Incluye aquellos neumáticos de los que se desprenda su poseedor en el sistema de gestión, aun cuando en ellos no concurren los requisitos arriba descritos.
- k. Neumáticos nuevos: Producto no rodado, destinado a la reposición de los neumáticos que ya han terminado su vida útil, ya sea por desgaste o por perder sus características físicas necesarias para ser rodado con seguridad.
- l. Neumáticos usados: Producto con rodado, pero que mantiene los requerimientos necesarios para seguir siendo utilizado sin afectar la seguridad del usuario.

m. Poseedor: Generador de neumáticos fuera de uso o la persona física o jurídica que los tenga en su poder y no tenga la condición de generador de Neumáticos fuera de Uso. Queda incluido en tal condición el usuario o propietario del vehículo que los utiliza.

n. Pretratamiento: Proceso mediante el cual se modifican las características físicas de los Neumáticos Fuera de Uso y que contemple acciones como separación, corte, trituración, compactación, entre otros, con el objeto de facilitar su transporte y manipulación para su posterior valorización. Dicho proceso no es considerado una valorización del residuo, sino solo un paso intermedio para llegar a una posible valorización.

o. Prevención: Conjunto de medidas destinadas a evitar la generación de neumáticos fuera de uso o a conseguir su reducción o la cantidad de sustancias contaminantes o peligrosas presentes en ellos.

p. Productor: Persona natural o jurídica que fabrique, importe o adquiera neumáticos que sean por primera vez puestos en el mercado nacional, mediante un acto de enajenación debidamente documentado.

q. Recauchaje o recauchutado: Proceso que consiste principalmente en sustituir, por una nueva, la banda de rodadura del neumático gastado, debido a que la carcasa aún conserva las condiciones suficientes para permitir su utilización, basado en la legislación y normas técnicas en vigor, con el fin de prolongar la vida útil del neumático y disminuir la tasa de generación de NFU.

r. Reciclaje: Recuperación de NFU o de materiales presentes en ellos, para ser utilizados en su forma original o previa transformación, como materia prima en procesos productivos distintos al que los generó. No se incluye en este concepto la incineración con recuperación de energía ni las tareas de pre-tratamiento de los neumáticos fuera de uso.

s. Recogida: Conjunto de operaciones que permitan traspasar los NFU de los poseedores a un acopio autorizado como generador de NFU para luego ser incorporados al sistema de recolección perteneciente al sistema de gestión de NFU.

t. Recolección: Conjunto de operaciones que permitan traspasar los neumáticos fuera de uso de los generadores a los gestores autorizados o entre gestores autorizados. Las operaciones de recolección podrán incluir el transporte y un almacenamiento transitorio, para terminar siempre el circuito, en la entrega a un valorizador autorizado

u. Reutilización: Empleo de un residuo en forma directa o previa transformación como materia prima en el proceso productivo que le dio origen o el empleo de un producto previamente usado, sin que medie un proceso de transformación.

v. Sistema de gestión integral de NFU: Conjunto de relaciones, procedimientos, mecanismos y actuaciones que, previa autorización por las autoridades en cuyo ámbito territorial se implanten, y sujeto a supervisión por éstas, ponen en práctica los

productores de neumáticos junto a otros agentes económicos interesados, mediante acuerdos voluntarios u otros instrumentos de responsabilidad compartida, con la finalidad de garantizar la correcta recolección, acopio y valorización de los neumáticos fuera de uso.

w. Tasa de recauchaje: Cuociente entre la cantidad de neumáticos que se repongan en el comercio que se aplicó efectivamente el recauchaje y la cantidad de neumáticos nuevos que acepten el recauchaje en sus diferentes posibilidades

x. Tasa de recogida de NFU: Cuociente entre la cantidad de NFU recogidos y la cantidad de NFU generados

y. Tasa de recolección de NFU: cuociente entre la cantidad de NFU recolectadas y la cantidad de NFU generados.

z. Tasa de valorización de NFU: cuociente entre la cantidad de NFU valorizadas y la cantidad de NFU generados.

aa. Transporte: La operación de traslado sucesivo de los NFU desde un generador de NFU, o centro de acopio autorizado hasta su lugar definitivo de valorización.

bb. Valorización: Conjunto de acciones asociadas cuyo objetivo es recuperar un producto, uno o varios de los materiales que lo componen, conforme el cumplimiento de la normativa sanitaria vigente.

6. BIBLIOGRAFÍA

Osterwalder & Pigneur. 2010. Business Model Generation. Editorial John Wiley & Son. New Jersey.

Bar-Ziv, Ezra et Korynyi, Efim. Marzo 2010. Review, Examination and Comparison of Alternatives for Thermochemical Conversion of Municipal Solid Waste and Scrap Tires. Laboratory of Clean Combustion, Ben-Gurion University of the Negev, Israel.

University of California Riverside. Technology Evaluation and Economic Analysis of Waste Tire Pyrolysis, Gasification, and Liquefaction. Marzo 2006. Integrated Waste Management Board, California.

CONAMA. CORFO. Septiembre 2009. Acuerdo de Producción Limpia: Prevención y Valorización de Neumáticos Fuera de Uso.

Marmore Green Engineering. Worn-Out Tyre Recycling Systems.
<http://eng.marmore.com.tr/> [Consulta:01/12/2012]

U.S. Environmental Protection Agency. 2012. Wastes - Resource Conservation - Common Wastes & Materials - Scrap Tires.
<http://www.epa.gov/osw/conserves/materials/tires/index.htm> [Consulta:01/12/2012]

Comisión Chilena del Cobre. 2012. Mercado Internacional del Hierro y el Acero.
<http://www.cochilco.cl/descargas/estudios/informes/hierro-acero/Informe-Mercado-Hierro-y-Acero-2012-vf.pdf> [Consulta:01/12/2012]

Quezada V. Dennis. 2001. Utilización de neumáticos desechados como combustible alternativo en fábricas de cemento.
<http://www.monografias.com/trabajos13/neuma/neuma.shtml> [Consulta:01/12/2012]

Cámara Nacional de Comercio. 2012. Mercado de los combustibles líquidos en Chile. http://www.cnc.cl/pdfs/Pres_CamaraBelga_final.pdf [Consulta:01/12/2012]

Reciclaje de Neumáticos. Marzo 2011. Revista SustentaBit. Número 8.
<http://www.sustentabit.cl/> [Consulta:01/12/2012]

Gallardo Gil, Lorena. 2012. Diario La Tercera.
<http://diario.latercera.com/2012/08/12/01/contenido/negocios/27-115894-9-la-estrategia-de-goodyear-para-liderar-en-los-segmentos-de-neumaticos-premium.shtml> [Consulta:01/12/2012]

Empresa Nacional del Petróleo ENAP. 2012. Tabla de precios de paridad.
http://www.enap.cl/comercial_relations/tabla_precios_paridad.php
[Consulta:01/12/2012]

Pontificia Universidad Católica. Departamento De Ingeniería Eléctrica. 2012. Generación a Carbón en Chile.
<http://web.ing.puc.cl/~power/alumno10/bosque/carbon.html> [Consulta:01/12/2012]

Reyes, René. Abril 2011. Revista Ciper. <http://ciperchile.cl/2011/04/11/el-gas-de-frei-el-carbon-de-pinera/> [Consulta:01/12/2012]

7. ANEXOS

ANEXO A Plantas de conversión termoquímica que procesan NFU

A continuación se enumeran las instalaciones comerciales que tratan neumáticos descartados mediante métodos termoquímicos³⁷.

La mayoría de los casos se encuentra todavía en la etapa piloto o de demostración pero hay algunas empresas que tienen plantas comerciales. Éstas se encuentran principalmente en Japón y Corea; una planta comercial está activa en Finlandia y otra está siendo construida en Eslovaquia Occidental. Existen otras plantas en Europa pero se cerraron debido a razones financieras. No hay plantas termoquímicas comerciales que traten neumáticos en los Estados Unidos. La principal razón es que no resulta rentable perfeccionar el producto final de la pirólisis de neumáticos para satisfacer las especificaciones de ese mercado. Sin embargo, para otros países estos estándares son menos exigentes y al simplemente eliminar las impurezas de los productos finales durante el proceso y hacerlos más refinados se cumple con ellos.

Country	Company and contact information	Technology	Plant status	Began operation	Tire capacity
USA	AdaptiveARC, Inc. 6205 Engle Way, #J Gilroy CA 95020 Voice 858-704-0508 Fax 760-436-0666 http://www.adaptiveARC.com/	Arc-Plasma Gasification	No commercial or pilot projects	N/A	N/A
South Korea - Taiwan	Adherent Technologies, Inc. Development Laboratories 11208 Cochiti SE Albuquerque, NM 87123 Telephone: 505 346 1688 FAX: 505 346 1687 Jan-Michael Gosau (Engineering & Environmental Projects Manager): Coatings@adherent-tech.com http://www.adherenttech.com/ http://www.adherenttech.com/recycling_tech_nologies.htm together with: Titan Technologies, Inc. 3206 Candelaria NE Albuquerque, NM 87107 (505) 884-0272 Fax: (505) 881-7113 E-Mail: titan@nmia.com http://www.titantechologiesinc.com/about.html Commercial plants: (1) Dong Kook Steel Material Company, Ltd in Chung-ju South Korea, (2) Hannam Company Ltd. in Taegu, South Korea and (3) Forest All Industry in Taipei, Taiwan	low-temperature, catalytic conversion	3 commercial plants located in the Pacific Rim	1994	150 tpd
Canada	AlterNRG and Westinghouse Plasma	Plasma	No commercial	N/A	N/A

³⁷ Examination of Thermal Treatment of Municipal Solid Waste and Comparison of Alternatives for Thermal Treatment of Scrap Tires, Israel Ministry for Environmental Protection, March 2010

	<p>Corporation (WPC) 700, 910 - 7 Avenue SW Calgary, Alberta T2P 3N8 Telephone: 403.806.3875 Fax: 403.806.3721 Email: info@alternrg.ca http://www.alternrg.ca/ http://www.westinghouse-plasma.com/</p>	gasification	<p>projects for scrap tires but write that their process can be used for tire waste. Commercial for MSW.</p>		
USA	<p>Conrad Industries 121 Melhart Rd. Chehalis WA 98532 (360) 7484924 William Conrad, president conradind@aol.com http://www.conradind.com/index.asp together with: KleenAir Products P.O. Box 1669 Clackamas, OR 97015 800-275-5152 http://www.kleenairusa.com/</p>	Pyrolysis	Precommercial	N/A	Marketing units with capacity of: 24, 48 and 72 tpd
USA	<p>Emery Energy Company, LLC 159 West Pierpont Avenue Salt Lake City, Utah 84101 USA 1-801-364-8283 http://www.emeryenergy.com/</p>	Gasification	Precommercial	N/A	N/A
ITALY	<p>ENEA-CENTRO RICERCHE TRISAIA Centro Ricerche Trisaia S.S. 106 Ionica, km 419+500 Rotondella 75026, Italy Tel: +39 0835 812585 Fax: +39 0835 974292 Contact: Dott. Ezio Terzini Email: direzione@trisaia.enea.it Website: http://www.trisaia.enea.it</p>	Pyrolysis	Pilot	N/A	48 kg/hr
Canada	<p>Environmental Waste International 283 Station Street, Ajax Ontario L1S 1S3 Phone:1 800 399 2366 Fax: 905 428 8730 http://www.ewi.ca/index.htm together with: Ellsin Environmental Ltd. 20 Maud Street Suite 500 Toronto, Ontario M5V 2M5 Ph: 519-400-1376 http://www.ellsin.com/?1ba3d360</p>	Microwave Pyrolysis	Pilot	1994-1998	N/A
Canada	<p>Environmental Waste International and Ellsin Environmental Ltd. Demonstration plant location at: Sault Ste. Marie Facility 155 Yates Avenue Sault Ste. Marie, Ontario P6C 1G1</p>	Microwave Pyrolysis	Demonstration	2010	900 tpd
Finland	<p>Foster Wheeler Energia Oy Metsänneidonkuja 8 FI-02130 Espoo, Finland Phone: +358-10-393-11 Fax: +358-10-393-6162 http://www.fwc.com/ Plant at Lahti, Finland http://www.fwc.com/publications/pdf/RenewableBrochure.pdf</p>	Biomass Gasifier Converts Biomass and Waste Residues into Syngas to Co-fire in a PC Power Plant (includes waste	Commercial	1997	13 – 23 MWe (40 – 70 MWth)

	http://www.fwc.com/publications/tech_papers/files/TP_PC_05_05.pdf?DIRNAME=%23dirName%23	tires but not exclusive).			
UK	Graveson Energy Management (GEM) ECM2 Heol Cefn Gwrgan Margam Port Talbot South Wales SA13 2EZ Tel: 01639 864611 Fax:01639 864612 Email: info@gem-ltd.co.uk http://www.gem-ltd.co.uk/?cat=1	Flash pyrolysis. Rubber crumb (<2cm3) amongst other feedstock materials.	Precommercial	N/A	1.5 ton per hour
USA	IES – International Environmental Solutions 25685 Sherman Road Romoland CA 92585 Phone: (951) 928-5671 Fax: (951) 928-5672 Email: contact@wastetopower.com http://www.wastetopower.com/index.htm On tires: http://www.wastetopower.com/new_page_1.htm	Pyrolysis	No commercial or pilot projects	N/A	N/A
USA	17 Mystic Lane Malvern, PA 19355 phone: (610) 644-1665 fax: (610) 644-1733 e-mail: acctdesk@iwtonline.com http://www.iwtonline.com/index.html Thermoselect process: http://www.iwtonline.com/docs/Thermoselect_process_description.pdf	Gasification with Thermoselect process	Commercial for MSW. No facility dedicated to scrap tires.	N/A	N/A
Western Slovakia	Klean Industries Inc. and Kouei Industries International Suite 903 - 1495 Richards St. Vancouver, B.C., Canada V6E 3Z3 (T)+1.604.637.9609 (T)+1.866.302.5928 (F)+1.604.637.9609 http://www.kleanindustries.com/s/AboutUs.asp http://www.koueiinternational.com/index.htm http://www.kleanindustries.com/s/Feasibility.asp?ReportID=128038 http://www.koueiinternational.com/machine.htm	Dry distillation pyrolysis technology	Under construction: Eco Industrial Park (EIP) in Zarnovica, Western Slovakia	N/A	32 tpd or 11,500 tpy
Finland	Metso Corporation Group Head Office Fabianinkatu 9 A, PO Box 1220 FIN-00101 Helsinki FINLAND Tel. +358 20 484 100 Fax +358 20 484 101 info@metso.com Home page: http://www.metso.com/corporation/home_eng.nsf/WebWID/WTB-041026-2256FF1D6A?OpenDocument Tire recycling: http://www.metso.com/miningandconstructio	Pyrolysis for shredded tires	Pilot plant	N/A	N/A

	n/mm_pyro.nsf/WebWID/WTB-041116-2256FA7920?OpenDocument&mid=8E946C056C076693C22575BC003836C7				
Japan	Nippon Steel Engineering Co., Ltd. Environmental Affairs Division Nippon Steel Corporation 6-3, Otemachi 2-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8071, Japan Phone: +81-3-3275-5145 Fax: +81-3-3275-5979 E-mail: kankyo@nsc.co.jp http://www.nsc.co.jp/en/index.html Waste tire recycling system at the Hirohata Works: http://www.nsc.co.jp/en/eco/recycle/tire.html	Gasification	Commercial	N/A	60,000 tpy
Japan	OKADORA Co., Ltd. 4-4-2 Sugita, Isogo Yokohama, Japan 235-0033 Tel: 081-45-774-0055 Fax: 081-45-774-0048 Email: toiawase@okadora.co.jp http://www.okadora.co.jp/english/product/product.html together with Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI) http://criepi.denken.or.jp/en/	Carbonizing gasification	Pilot	N/A	N/A
Germany	Sustec Schwarze Pumpe GmbH South Street D-02979 Spreetal Tel: +49 35727 55,330 Fax: +49 35727 553330 Email: info@sustec-gmbh.de http://www.svz-gmbh.de/index.html	Gasification	Discontinued gasification in 2007.		
USA	Thermogenics, Inc. Tom Taylor, President Thermogenics, Inc. 7100-F Second Street NW Albuquerque, New Mexico 87107 USA Tel: 505-463-8422 Fax: 505-268-9206 Email: thermogenics@thermogenics.com http://www.thermogenics.com/default.html Tire system: http://www.thermogenics.com/THEMROGENICS%20MARCH%202002.MPG	Gasification All Feed stocks less than 30% moisture and less than 2 inch (5 cm) particle size	Precommercial	N/A	3 options: 455, 910, 2730 kg/hr
USA	VISTA International, Inc. 8310 South Valley Highway, Suite 300 Englewood, CO 80112 USA 720.222.3032 info@vistainternational.net http://www.vistainternational.net/index.html	Gasification	N/A	N/A	N/A
UK	Waste to Energy Ltd. Melita House, 124 Bridge Rd. Chertsey, United Kingdom KT16 8LH http://www.wastetoenergy.co.uk/	Gasification for many feedstocks, including tires.	No commercial or demonstration for tires.	N/A	N/A
Turkey	Marmore Green Engineering Worn-Out Tyre Recycling Systems Erzincan, Turkey http://eng.marmore.com.tr/about-us	Pyrolysis	Commercial	2011	20.000 tpy

ANEXO B Matriz residuo-tecnología

Se presenta aquí una tabla que resume la investigación sobre los residuos generados en Chile junto con las tecnologías más adecuadas para su conversión a energía. La tabla está dividida en 7 secciones de las cuales las secciones 6 y 7 son las más relevantes para el proyecto descrito en este documento.

Cada columna de la matriz se explica en la siguiente tabla:

Residuo:	Residuo a analizar
Valor Calórico KJ/Kg:	Valor energético del residuo
Disp. Total tapa:	Generación del residuo en Chile
Disponibilidad recolectada tpa:	De lo que se genera cuánto es lo que se recolecta actualmente en toneladas por año
Usos alternativos:	Usos que no sean la disposición en un relleno sanitario
Disp. Libre %:	De lo que se usa hoy en día, cuanto se tiene de este residuo para ser utilizado en otros fines como la valorización energética.
Logística inversa/dispersión:	Esta columna mide cuán solucionado está el tema de la logística inversa. Indica si actualmente está concentrada, agrupada o dispersa la recolección de este residuo, lo que haría más fácil o no su recolección.
Legislación favorable:	Todas las leyes, proyectos de ley, o propuestas de ley que puedan favorecer el tratamiento de los residuos.
Proceso:	Es la tecnología específica aplicada a un residuo
Resultado del proceso:	Es lo que se obtiene del proceso, en la mayoría de los casos es energía, pero en algunos podría ser gas, carbón.
Volumen m ³ /ton:	El gas o combustible líquido que se generara. En algunos casos no aplica
Energía Producida KWh/ton:	La energía producida
Tonelaje mínimo Ton/día:	Lo mínimo con lo que en una planta ejemplo encontrada puede trabajar
Demanda:	Demanda del resultado del proceso en alta, media o baja.
Valor de la energía USD/MWh:	Valor de la energía eléctrica
Nivel de inversión MM USD/MW:	Niveles de inversión
Caso:	Ejemplo encontrado comercial o piloto

MATRIZ RESIDUO-TECNOLOGIA PARTE 1/7

Residuo	Valor Calórico KJ/Kg	Disp Total tpa	Disponibilidad recolectada tpa	Usos alternativos	Disp libre %	Logística inversa / dispersión	Legislación favorable	Proceso
Aceites de Transporte	40.000 KJ/m3	65.150 m3/año	46.800 m3/año	Horno Industrial 58% Marino 15% Regeneración 25% Explosivos 1%	0%	Dispersa	Ley Resp Extendida Productor Ley General de Residuos	Incineración en horno cementero
Aceites de Transporte	40.000 KJ/m3	65.150 m3/año	46.800 m3/año	Horno Industrial 58% Marino 15% Regeneración 25% Explosivos 1%	0%	Dispersa	Ley Resp Extendida Productor Ley General de Residuos	Combustible alternativo
Proceso	Resultado Proceso	Volumen m3/ton	Energía Producida KWh/ton	Tonelaje mínimo ton/día	Demanda	Valor de la energía USD/MWh	Nivel de Inversión MM USD/MW	Caso
Incineración en horno cementero	Cemento	No aplica	No aplica					Planta Comercial: Cemento Melón
Combustible alternativo	Diesel Marino							

MATRIZ RESIDUO-TECNOLOGÍA PARTE 2/7

Residuo	Valor Calórico KJ/Kg	Disp Total tpa	Disp recolectada tpa	Usos alternativos	Disp libre %	Logística inversa / dispersión	Legislación favorable	Proceso
Basura municipal	~7.000-10.000	6.500.000	6.169.882	Reciclaje, compostura, incineración ~1%, basurales ~9%	90%	Agrupada	Ley de Energía Renovable no Convencionales	Incineración masiva
Basura municipal	~7.000-10.000	6.500.000	6.169.882	Reciclaje, compostura, incineración ~1%, basurales ~9%	90%	Agrupada	Ley de Energía Renovable no Convencionales	Arco de plasma (gasificación a altas T°)
Basura municipal	~7.000-10.000	6.500.000	6.169.882	Reciclaje, compostura, incineración ~1%, basurales ~9%	90%	Agrupada	Ley de Energía Renovable no Convencionales	Pirolisis (gasificación a bajas T° y en ausencia total de oxígeno)
Proceso	Resultado Proceso	Volumen m3/ton	Energía Producida KWh/ton	Tonelaje mínimo ton/día	Demanda	Valor de la energía USD/MWh	Nivel de Inversión MM USD/MW	Caso
Incineración masiva	Electricidad y calor	No aplica	500	1200	Alta	86	2,6 a 3,2	Planta Comercial: Covanta Energy en Honolulu
Arco de plasma (gasificación a altas T°)	Electricidad	No aplica	960	2 a 50	Alta	86	No determinado	Piloto: Plasco Energy Group, planta en Otawa, proceso de 100 ton/día
Pirolisis (gasificación a bajas T° y en ausencia total de oxígeno)	Pygas- electricidad	No aplica	960	275	Alta	86	7,0	Planta Comercial en Alemania

MATRIZ RESIDUO-TECNOLOGÍA PARTE 3/7

Residuo	Valor Calórico KJ/Kg	Disponibilidad Total tpa	Disponibilidad recolectada tpa	Usos alternativos	Disp libre %	Logística inversa / dispersión	Legislación favorable	Proceso
Basura municipal	~7.000-10.000	6.500.000	6.169.882	Reciclaje, compostura, incineración ~1%, basurales ~9%	90%	Agrupada	Ley de Energía Renovable no Convencionales	Depolimerización térmica
Basura municipal	~7.000-10.000	6.500.000	6.169.882	Reciclaje, compostura, incineración ~1%, basurales ~9%	90%	Agrupada	Ley de Energía Renovable no Convencionales	Gasificación
Basura municipal	~7.000-10.000	6.500.000	6.169.882	Reciclaje, compostura, incineración ~1%, basurales ~9%	90%	Agrupada	Ley de Energía Renovable no Convencionales	Landfilling gas
Basura municipal	~7.000-10.000	6.500.000	6.169.882	Reciclaje, compostura, incineración ~1%, basurales ~9%	90%	Agrupada	Ley de Energía Renovable no Convencionales	Refuse Derived Fuel
Proceso	Resultado Proceso	Volumen m3/ton	Energía Producida kWh/ton	Tonelaje mínimo ton/día	Demanda	Valor de la energía USD/MWh	Nivel de Inversión MM USD/MW	Caso
Depolimerización térmica	Diesel Sintético y otros	0,45	No aplica	100	Alta	0,8239 USD/l	USD30 millones	No hay plantas: empresa Green Power
Gasificación	Syngas, Electricidad y calor	No aplica		100	Alta	86		Planta Comercial en Finlandia, Alemania, UK. Energos
Landfilling gas	Biogas y electricidad	No aplica	120	300	Alta	86	3	Planta Comercial: Uruguay, Relleno Sanitario Las Rosas
Refuse Derived Fuel	Combustible Reculture RDF Refuse Derived Fuel	No aplica	350	1.096	Alta	86	USD134 millones	Firma de acuerdo para Planta Piloto en China

MATRIZ RESIDUO-TECNOLOGÍA PARTE 4/7

Residuo	Valor Calórico KJ/Kg	Disp. Total tpa	Disp. recolectada tpa	Usos alternativos	Disp libre %	Logística inversa / dispersión	Legislación favorable	Proceso
Basura municipal (componente organico)	3000		6.169.882	compostaje	90%	Agrupada	Ley de Energía Renovable no Convencionales	Digestión anaeróbica
Riles	na	147.195			60%	Dispersa	Ley de Energía Renovable no Convencionales	Digestión anaeróbica
Cultivos de temporada	10000	2.835.134		alimentación animal	25%	Dispersa	Ley de Energía Renovable no Convencionales	Digestión anaeróbica
Agro Frutos y Verduras		876.000		combustible, compostaje	40%	Agrupada	Ley de Energía Renovable no Convencionales	Digestión anaeróbica
Estiercol Vacuno	12000 a 14000	550.223		abono	25%	Agrupada	Ley de Energía Renovable no Convencionales	Digestión anaeróbica
Proceso	Resultado Proceso	Volumen m3/ton	Energía Producida KWh/ton	Tonelaje minimo ton/día	Demanda	Valor de la energía USD/MWh	Nivel de Inversión MM USD/MW	Caso
Digestión anaeróbica	Biogas	27	52		Alta	86		
Digestión anaeróbica	Biogas	325	764		Alta	86		Múltiples plantas comerciales (autoabastecimiento y cogeneración)
Digestión anaeróbica	Biogas	137	311		Alta	86		Múltiples plantas comerciales (autoabastecimiento y cogeneración)
Digestión anaeróbica	Biogas	74	169		Alta	86	2 USD/MW	Múltiples plantas comerciales (autoabastecimiento y cogeneración)
Digestión anaeróbica	Biogas	400	909		Alta	86		Múltiples plantas comerciales (autoabastecimiento y cogeneración)

MATRIZ RESIDUO-TECNOLOGÍA PARTE 5/7

Residuo	Valor Calórico KJ/Kg	Disponibilidad Total tpa	Disponibilidad recolectada tpa	Usos alternativos	Disp libre %	Logística inversa / dispersión	Legislación favorable	Proceso
Aguas Residuales Urbanas	na	513.190	0	0	20%	Agrupada	Ley de Energía Renovable no Convencionales	Digestión anaeróbica
Lodos PTA (lodo seco)	3500	416.000	0	compostaje, vertederos	50%	Concentrada	Ley de Energía Renovable no Convencionales	Digestión anaeróbica
Procesos residuales vino	0	49.218	0	aceite pepa de uva, ácido tartárico, alcohol	20%	Concentrada	Ley de Energía Renovable no Convencionales	Digestión anaeróbica
Estiercol Avícola	3000 a 13000	800.454	0	fertilizante	sin info	Concentrada	Ley de Energía Renovable no Convencionales	Digestión anaeróbica
Estiercol Porcino	14000	481.730	0	0	50%	Concentrada	Ley de Energía Renovable no Convencionales	Digestión anaeróbica
Proceso	Resultado Proceso	Volumen m3/ton	Energía Producida KWh/ton	Tonelaje mínimo ton/día	Demanda	Valor de la energía USD/MWh	Nivel de Inversión MM USD/MW	Caso
Digestión anaeróbica	Biogas	158	378	0	Alta	86	0	0
Digestión anaeróbica	Biogas	485	775	0	Alta	86	0	0
Digestión anaeróbica	Biogas	700	1644	0	Alta	86	2 USD/MW	0
Digestión anaeróbica	Biogas	780	1590	0	Alta	86	0	Moerdijk, Zeeland, Holanda: 440000 ton/año, 36.5 MW, 190 MMUSD
Digestión anaeróbica	Biogas	384	475	0	Alta	86	0	Agrosuper 30 MMUSD, ~5MW en 5 plantas

MATRIZ RESIDUO-TECNOLOGÍA 6/7

Residuo	Valor Calórico KJ/Kg	Disp. Total tpa	Disp. recolectada tpa	Usos alternativos	Disp libre %	Logística inversa / dispersión	Legislación favorable	Proceso
Neumáticos	33035	-	50000	Reciclaje	90%	Dispersa	Ley Energía Renovable no Conv, Ley Resp Extendida del productor, Ley General de Residuos	Incineración directa
Neumáticos	33035	-	50000	Reciclaje	90%	Dispersa	Ley Energía Renovable no Conv, Ley Resp Extendida del productor, Ley General de Residuos	Incineración en Horno Cementero
Neumáticos	33035	-	50000	Reciclaje	90%	Dispersa	Ley Energía Renovable no Conv, Ley Resp Extendida del productor, Ley General de Residuos	Gasificación
Proceso	Resultado Proceso	Volumen m3/ton	Energía Producida KWh/ton	Tonelaje mínimo ton/día	Demanda	Valor de la energía USD/MWh	Nivel de Inversión MM USD/MW	Caso
Incineración directa	Electricidad y calor	No aplica	2000	0	Alta	85,545	90000 tpa GBP 25M 320,000 tpa US\$142M Costo tratamiento US\$60/ton 150,000 tpa US\$88M Costo tratamiento US\$70/ton 90,000 tpa US\$53M Costo tratamiento US\$80/ton	Elm Energy, Wolverhampton, UK
Incineración en Horno Cementero	Calor, Cemento	No aplica	0	Máximo 20% del carbón	0%		> USD1 M	Horno 9 Planta La Calera Cemento Melón
Gasificación	Syngas, Negro de humo (hollín), acero, aceite base y electricidad	-	2800	0	Alta	85,545	Euros 100M	Planta comercial (Finland)

MATRIZ RESIDUO-TECNOLOGÍA PARTE 7/7

Residuo	Valor Calórico KJ/Kg	Disp Total tpa	Disp recolectada tpa	Usos alternativos	Disp libre %	Logística inversa / dispersión	Legislación favorable	Proceso
Neumáticos	33035	-	50000	Reciclaje	90%	Dispersa	Ley de Energía Renovable no Conv, Ley Resp Ext del productor, Ley General de Residuos	Pirólisis (gasificación a bajas T° y en ausencia total de oxígeno)
Neumáticos	33035	-	50000	Reciclaje	90%	Dispersa	Ley de Energía Renovable no Conv, Ley Resp Ext del productor, Ley General de Residuos	Arco de plasma (gasificación a altas T°)
Neumáticos Minería	33035	-	30000	-	0%	Agrupada	Ley de Energía Renovable no Conv, Ley Resp Ext del productor, Ley General de Residuos	Incineración directa
Proceso	Resultado Proceso	Volumen m3/ton	Energía Producida KWh/ton	Tonelaje mínimo ton/día	Demanda	Valor de la energía USD/MWh	Nivel de Inversión MM USD/MW	Caso
Pirólisis (gasificación a bajas T° y en ausencia total de oxígeno)	Metal, Carbon, syngas, electricidad	-	2482	20 tpd	Alta	85,545	USD 131,648M	Plantas piloto (USA, Italia, Canada) Planta comercial en construcción (UK)
Arco de plasma (gasificación a altas T°)	Syngas, electricidad	-	0	0	Alta	85,545	0	Sin plantas comerciales ni pilotos exclusivos para neumáticos
Incineración directa	Electricidad y calor	-	0	0	Alta	85,545	0	Sin plantas comerciales ni pilotos exclusivos para neumáticos

ANEXO C Resultados análisis del aceite combustible realizado por Wärtsilä

La planta de Turquía solicitó al proveedor Wärtsilä Finland Oy que realizara un análisis del combustible obtenido en la planta de Marmore en Erzincan, Turquía. Wärtsilä es un proveedor finlandés líder en el rubro de motores y centrales eléctricas en el mercado de la generación descentralizada de energía. Wärtsilä ofrece plantas de energía con fines de auto-generación industrial, así como para la industria de petróleo y gas.

Los resultados se encuentran en el informe "Investigación de las propiedades de ignición y la combustión de un aceite de pirólisis de neumáticos recibido de Turquía".

El informe evidenció que por lo general las propiedades de ignición y de combustión de los aceites de pirólisis resultaron pobres. El combustible testado tuvo un retardo en el tiempo de encendido, pero la combustión fue bastante buena. Como el instrumento de prueba todavía no se ha adaptado para probar aceites combustibles pesados la comparación sólo podría ser con respecto a un combustible diesel de automotores, el cual es un combustible muy bueno para grandes motores diesel. Por lo tanto se debe tener una actitud conservadora.

La conclusión es que el combustible de prueba se inflamará y arderá bien con altas cargas pero un funcionamiento con baja carga puede tener problemas, especialmente en marcha al vacío. Arrancar un motor diesel con el combustible de prueba podría ser problemático. Cuando el equipo de prueba se adapte para testear combustibles pesados se debería realizar una nueva prueba. Concretamente, debería ser necesaria una prueba a escala real, es decir, operando un motor diesel Wärtsilä a media velocidad con el combustible de prueba, antes de dar garantías de rendimiento (tasa de calor, carga máxima, emisiones, etc.). Es necesaria una solicitud de motor no-estándar para este combustible.

Los resultados de todos los otros tests fueron aceptables o buenos, por ejemplo, el contenido de cenizas fue muy bajo, la viscosidad resultó de acuerdo a la información entregada y ligeramente similar a la de un combustible ligero, la densidad no fue alta significando que, de estar presente, el agua puede ser separada fácilmente.

El test de separación mostró que el tratamiento del combustible con separadores centrífugos es eficiente y necesario.

Cuando se analizó bajo el microscopio, las partículas encontradas resultaron más bien escasas y el tamaño lo suficientemente grande como para ser removidas con separadores y filtros.

La determinación de los parámetros de combustible necesarios para su aceptación no se pudo realizar en Vaasa, por lo que una muestra se envió a un laboratorio para investigaciones posteriores.

INTERNAL USE ONLY

Investigation of Ignition & Combustion properties of a Tyre Pyrolysis oil received from Turkey.

Matts Friis
Senior Development Manager
Plant Technologies, PPT
Power Plants
Wartsila Finland Oy



1 © Wartsila 4 February 2011 CRU Results of Tyre oil / M File

Tyre Pyrolysis Oil from Turkey

Background


A fuel sample delivered from Turkey for ignition and combustion tests in order to determine if the fuel can be used as fuel for Wartsila medium speed diesel engines.

The fuel sample is said to be pyrolysis oil made from used tyres.

Information about the fuel:

- Density: 945 kg/m³
- Viscosity: 40,18 SSU at 50 °C (about 4,3 cSt at 50 °C)
- Sulfur: 0,84 % m/m
- Pour point: - 30 °C
- Hydrogen: 10,01 % m/m
- LHV: 9 510 cal/g (about 39 816,5 kJ/kg)

CONFIDENTIAL




2 © Wartsila 4 February 2011 CRU Results of Tyre oil / M File

Tyre Pyrolysis Oil from Turkey


Description of test method and measured parameters

The instrument CRU-DFS has been used to perform the test. The instrument is equipped with dual injectors (main & pilot) but in this test only the main was used.

Fuel is injected into a constant volume combustion chamber which is heated and pressurized. In this case to 550 °C and 55 bar initial pressure. During combustion of the fuel, the pressure increase is measured and transferred to a computer for further analysis and reporting. The parameters reported are calculated average from 10 individual combustion cycles.



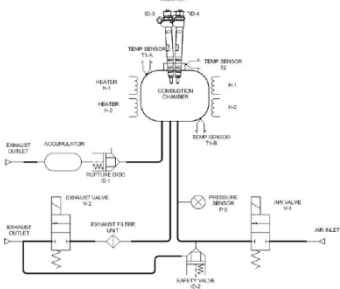
CONFIDENTIAL




3 © Wartsila 4 February 2011 CRU Results of Tyre oil / M File

Tyre Pyrolysis Oil from Turkey

Diagram of the CRU-DFS unit



CONFIDENTIAL

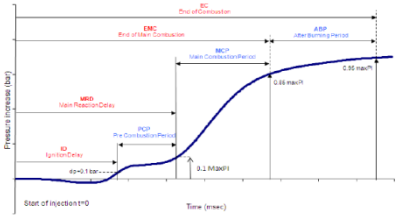


4 © Wartsila 4 February 2011 CRU Results of Tyre oil / M File


Tyre Pyrolysis Oil from Turkey

Definition of Parameters

Combustion pressure trace



CONFIDENTIAL



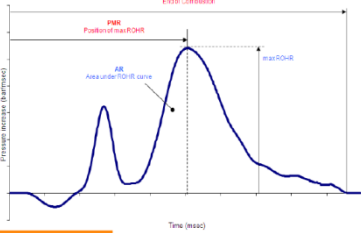
5 © Wartsila 4 February 2011 CRU Results of Tyre oil / M File

Tyre Pyrolysis Oil from Turkey


Definition of Parameters

Rate of Heat Release trace (RoHR), dp/dt:

RoHR curve



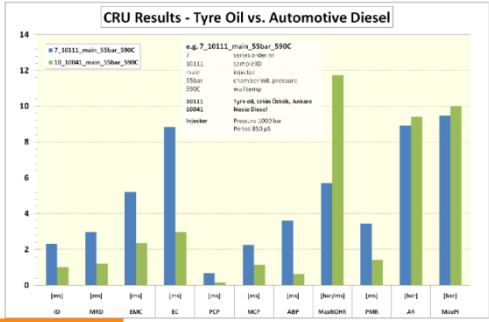
CONFIDENTIAL




6 © Wartsila 4 February 2011 CRU Results of Tyre oil / M File

Tyre Pyrolysis Oil from Turkey

CRU Results - Tyre Oil vs. Automotive Diesel



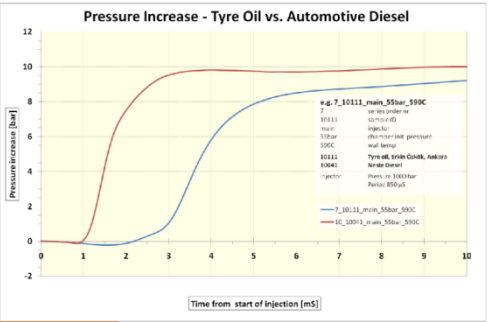
CONFIDENTIAL




7 © Wartsila 4 February 2011 CRU Results of Tyre oil / M File

Tyre Pyrolysis Oil from Turkey

Pressure Increase - Tyre Oil vs. Automotive Diesel

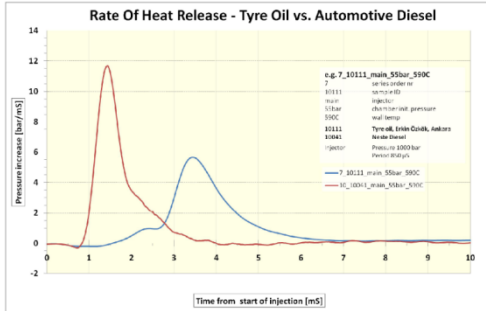


CONFIDENTIAL



8 © Wartsila 4 February 2011 CRU Results of Tyre oil / M File

Tyre Pyrolysis Oil from Turkey



CONFIDENTIAL

9 © Wartsila 4 February 2011 CRU Results of Tyre oil / M Files



Tyre Pyrolysis Oil from Turkey

Additional tests

- Ash content: 0,0043 % m/m
 - Test method ISO 6245:2001 using two different temperatures (550 °C & 815 °C).
 - The result is an average of eight tests using the two different temperatures (4 + 4). No difference seen between using different temperatures.
- Viscosity: 5,9 mPas at 40 °C
 - The result is an average from 89 measuring points with shear rate 3,38...300 1/s.
- Separation test:
 - Sediment in sample before separation 0,08...0,09 % m/m.
 - Sediment in sample after separation 0,02...0,03 % m/m.
 - Sediment tested using ISO 10307-1.
 - Separation with centrifuge 4800 rpm & 20 min.
- Water content: 0,14 %

CONFIDENTIAL

10 © Wartsila 4 February 2011 CRU Results of Tyre oil / M Files



Tyre Pyrolysis Oil from Turkey

Additional tests

- pH of water phase: 8
 - Water added to the sample and extracted. pH measured from the extracted water phase.
- Acid number: 6 mg KOH/g

CONFIDENTIAL

11 © Wartsila 4 February 2011 CRU Results of Tyre oil / M Files



Tyre Pyrolysis Oil from Turkey

TEST NAME	UNIT	RESULT	PASS LIMIT
Ash content	% m/m	0,0043	0,01
Viscosity	mPas	5,9	10
Separation test	% m/m	0,08	0,1
Water content	% m/m	0,14	0,2
Acid number	mg KOH/g	6	10
pH of water phase		8	7-14

CONFIDENTIAL

15 © Wartsila 4 February 2011 CRU Results of Tyre oil / M Files



ANEXO D Objetivos específicos del APL

1. Aumentar la vida útil de los neumáticos y disminuir la tasa de generación de NFU
2. Implementar un sistema de gestión integral de NFU
3. Promover el desarrollo de nuevos proyectos de valorización de NFU
4. Elaborar una reglamentación que impulse mejoramientos en la gestión de NFU
5. Promover la participación de la sociedad en el buen manejo de sus NFU
6. Crear un sistema de información del manejo de NFU
7. Establecer indicadores y metas para medir el mejoramiento en el manejo de los NFU.