



TESIS DE GRADO DE INGENIERIA INDUSTRIAL

**Alternativas de reutilización y reciclaje de neumáticos
en desuso**

**Autor: Andrés Zarini
Legajo: 46450**

Tutor: Félix Jonas

2011

A mi familia.

RESUMEN EJECUTIVO

El creciente parque automotriz ha traído consigo un problema ambiental que se acrecienta en forma descontrolada: los neumáticos en desuso y la forma en que hoy se desechan, lo que es causa de innumerables problemas para el medio ambiente.

Los neumáticos fuera de uso generan una serie de problemas de almacenamiento. Debido a su forma tan particular, ocupan excesivo lugar. Además, debido a las características propias del residuo son altamente inflamables y, en caso de incendio, conllevan un riesgo potencial ya que su combustión genera nubes tóxicas que contaminan el ambiente.

Este proyecto tiene como claro objetivo la gestión integral de estos residuos, aumentar la valorización de los mismos y consecuentemente, reducir los volúmenes de almacenamiento. Los medios para lograr este propósito son encontrar una alternativa acorde a la Argentina que permita el reciclaje de los neumáticos y transformarlos en insumos útiles para la industria.

Para realizar un análisis profundo del tema, se estudiará tanto el contexto nacional como el internacional para vislumbrar los estados de situación con respecto al volumen de residuos y las tecnologías existentes. A partir de dicho estudio se evaluarán alternativas con el fin de dar con la opción adecuada para la situación de la Argentina.

Una vez hallada la mejor opción, se la evaluará tanto técnica como económicamente, para determinar si es viable y atractiva para inversores del sector privado.

Finalmente, a partir de todo el estudio realizado, se proponen conclusiones y líneas de investigación para el futuro.

EXECUTIVE SUMMARY

The growing number of cars has resulted in an environmental problem which is going out of control. The wasted tires and the way in which they are now discarded, causes innumerable problems to the environment.

Several storage problems are caused by wasted tires. Due to its particular form, they occupy an excessive volume. Furthermore, the fact that wasted tires are highly inflammable causes a potential risk because its combustion produces toxic clouds that pollute the atmosphere.

It is important to highlight that the major issue in this project is the overall management of this waste, increasing value recovery and consequently, reducing storage volume. The means to achieve this goal is to find an alternative that will allow Argentina to recycle tires and convert them into useful inputs for the industry.

To perform an extended analysis of the topic, national and international contexts will be considered both, to discern the actual situation of the volume of waste and the existing technologies. Based on this research, several alternatives will be considered to find out the best option for the situation in Argentina.

Having found the best option, it is technically and economically evaluated to determine if it is viable and attractive to private sector investors.

Finally, conclusions and future research topics will be proposed.

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN EJECUTIVO	5
EXECUTIVE SUMMARY	7
1. INTRODUCCION.....	1
1.1 Problemática	1
1.2 Soluciones Actuales.....	2
1.3 Logística y recupero de neumáticos.....	3
1.4 Propuesta preliminar de reciclado de neumáticos.....	5
1.5 Objetivos del proyecto.....	6
1.6 Justificación del proyecto	6
2. ESTADO DE SITUACION.....	9
2.1 Características de los neumáticos	9
2.1.1 Origen y composición del neumático	9
2.1.2 Características de los diferentes tipos de neumáticos	11
2.2 Estado actual en diversos países.....	15
2.2.1 España.....	15
2.1.2 El Salvador	19
2.1.3 Ecuador	21
2.1.4 México	23
2.1.5 Brasil.....	25
2.1.6 Chile.....	28
2.1.7 Europa	30
2.2 Reflexión y pasos a seguir	32
3. ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO ACTUALES	33
3.1 Trituración mecánica.....	33
3.2 Trituración criogénica.....	34
3.3 Termólisis.....	36
3.4 Pirólisis.....	37
3.5 Incineración.....	39
3.6 Neumáticos convertidos en energía eléctrica.....	41
3.7 Regeneración.....	43
3.8 Reutilización.....	43
3.8.1 Recauchado.....	43
3.8.2 Reesculturado.....	44

3.8.3 Utilización directa de los neumáticos usados.....	44
4. DEFINICION DEL PROBLEMA.....	47
4.1 Generación de neumáticos en Argentina.....	47
4.2 Gestión de neumáticos en desuso en Argentina.....	52
4.2.1 Primer proyecto argentino en reciclado de neumáticos.....	52
4.2.2 Asfaltos modificados con caucho de neumáticos. Prueba piloto de la UTN de La Plata.....	55
4.2.3 El Municipio firmó convenio con gomerías para el reciclado de neumáticos.....	57
4.3 Reflexión.....	58
5. SOLUCION PROPUESTA.....	59
5.1 Visión general del reciclaje.....	59
5.2 Tratamiento de neumáticos en desuso a partir de pirólisis.....	60
5.2.1 Antecedentes.....	61
5.2.2 Ventajas y Desventajas.....	62
6. RESULTADOS O VERIFICACIÓN EXPERIMENTAL.....	65
6.1 Ingeniería.....	65
6.1.1 Introducción a la pirólisis.....	65
6.1.2 Proceso.....	65
6.1.3 Instalación elegida.....	73
6.1.4 Layout.....	74
7. ESTUDIO ECONÓMICO FINANCIERO.....	77
7.1 Inversiones.....	77
7.2 Gastos.....	79
7.2.1 Mano de Obra.....	80
7.3 Ingresos por ventas.....	82
7.4 Cuadro de Resultados.....	85
7.5 Flujo de Fondos.....	86
7.6 Flujo de Fondos Acumulado.....	87
7.6.1 Cálculo de la tasa de descuento.....	87
8. CONCLUSIONES.....	89
9. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	91
9.1 Optimización.....	91
9.2 Alternativas.....	91
10. BIBLIOGRAFÍA.....	93
10.1 Páginas de Internet.....	96

1. INTRODUCCION

1.1 Problemática

Un sistema industrial ecológicamente saludable es tal que prácticamente todos los materiales que se usen recorran el ciclo completo una y otra vez. Los desechos hacia el entorno deben ser los mínimos posibles. Esto se logra principalmente mediante una numerosa reutilización de materiales.

La vertiginosa rapidez con la que avanza la industrialización tiene grandes ventajas pero también trae aparejado grandes desventajas que no hay que descuidar, ya que tienen mucha incidencia en el medio ambiente. Entre estas se encuentra la generación de residuos. Entre estos residuos, los neumáticos fuera de uso (NFU) constituyen solamente entre el 0,5 y el 1% del conjunto de residuos totales; sin embargo, a pesar de ser una porción muy reducida, presentan una evidente problemática, debido a una serie de características propias de este residuo tan particular, que repercuten negativamente sobre el medio ambiente y la población.

El neumático está formado por una compleja cantidad de sustancias diferentes tales como: caucho, productos químicos, textiles, acero y otros metales. Los mismos, después de consumir su vida útil, pasan a ser residuos que por su naturaleza resulta difícil deshacerse de ellos. No solamente por el hecho de no saber dónde ubicarlos sino también porque su degradación natural es muy extensa, un neumático se degrada naturalmente en varios siglos, factor que determina que es indispensable darle un uso alternativo o tratarlo de alguna forma.

Lamentablemente, el destino más habitual de estos residuos es su depósito en vertedero. Esta opción presenta múltiples problemas, los neumáticos ocupan un espacio considerable debido a su forma toroidal y a su dificultada para la compactación. Las aperturas son un hábitat ideal para insectos y roedores debido a la posible presencia de agua estancada. Por otro lado, los huecos entre los neumáticos permiten la entrada del agua de lluvia, con el consecuente peligro de producción de enfermedades tales como el dengue. Sin embargo, probablemente, el problema más importante que representan las montañas de neumáticos acumulados en los vertederos es el riesgo de incendio que éstos presentan. Estos incendios producen grandes cantidades de productos tóxicos, y son muy difíciles y costosos de apagar.

Además del daño que provocan los desechos de la combustión en el ambiente, los NFUs representan una gran problemática. Si bien estos constituyen tan solo en 1% de los residuos totales, las características propias de estos repercuten negativamente de manera muy notoria en el medio ambiente y la población.

Un neumático necesita grandes cantidades de energía para ser fabricado, medio barril de petróleo crudo para fabricar un neumático de camión. Existen métodos para conseguir un reciclado coherente de estos productos pero faltan políticas que favorezcan la recogida y la implantación de industrias dedicadas a la tarea de recuperar o eliminar, de forma limpia, los componentes peligrosos de las gomas de los vehículos y maquinarias.

La cantidad de neumáticos que se producen y son utilizados en distintos países del mundo muestran la importancia de esta problemática. En los siguientes números se ve claramente que es un problema ambiental de magnitudes colosales.

- U.E.: 2,500,000 de toneladas por año.
- E.E.U.U.: 3.6 millones de toneladas por año
- España: entre 250,000 y 300,000 de toneladas por año
- Argentina: 100,000 toneladas por año

1.2 Soluciones Actuales

Han sido identificadas varias alternativas para el reciclado y reutilizado de este residuo. Por el momento todas estas formas de reducción son insuficientes ya que solo tratan un parte pequeña de la totalidad de los neumáticos desechados. Los tratamientos se dividen en dos grandes grupos: tratamientos químicos y tratamientos físicos o mecánicos. Por otro lado, también se puede utilizar los neumáticos para distintas aplicaciones casi sin ningún proceso a tratamiento previo.

Una de las formas para sacar provecho a estos residuos, consiste en la incineración para obtener vapor o energía eléctrica, otra forma es la pirólisis para obtener productos químicos. Estas dos soluciones son algunos de los tratamientos químicos que se le puede hacer a los neumáticos. Más adelante, se detallará profundamente estos procesos.

Múltiples son los ejemplos en los cuales pueden utilizarse, bien los neumáticos totalmente enteros o sus flancos y banda de rodamiento: parques infantiles,

defensa de muelles o embarcaciones, rompeolas, etc., o más directamente relacionado con los neumáticos, barreras anti-ruídos, taludes de carretera, estabilización de zonas anegadas, pistas de carreras, o utilidades agrícolas para retener el agua, controlar la erosión, etc.

Por otro lado, se puede hacer trituración de estos residuos. Este es un tratamiento enteramente físico. Los neumáticos triturados se utilizan como materia prima de distintas aplicaciones. Los neumáticos triturados son frecuentemente utilizados en la fabricación de campos de juego, suelos de atletismo o pistas de paseo y bicicleta, cintas de freno, compuestos de goma, suelas de zapato, bandas de retención de tráfico, compuestos para navegación o pisos para reemplazar areneros.

1.3 Logística y recupero de neumáticos

Las técnicas para el recupero de los neumáticos desechados son variadas alrededor del globo. Se utilizan distintos métodos donde lo que cambia mayormente son los actores, identificando principalmente a tres grupos importantes: los productores de neumáticos, el gobierno y empresas independientes que utilizan estos residuos como insumos en su cadena productiva. Cada uno de ellos es movilizado por propio interés o bien por regulaciones originarias del país donde operan. En el caso del gobierno, su incentivo es la preservación del medio ambiente mediante un marco regulatorio que lo impulsa a estas acciones.

A continuación se detallara los distintos métodos para la recolección de los NFU.

En España se crea SIGNUS. Es un sistema integrado de gestión de neumáticos fuera de uso, creado a iniciativa del sector de los productores de neumáticos de reposición con la finalidad de que pueda ser utilizado como mecanismo con el que todos los productores que lo deseen puedan cumplir las obligaciones que les impone el RD 1619/2005. SIGNUS gestiona todo el proceso de valorización de los Neumáticos Usados (NU), desde su recolección gratuita en todos los puntos de generación hasta la aplicación final de los productos derivados del Neumático Fuera de Uso. Los productores/importadores de neumáticos han de recoger una cantidad de NFU hasta igualar la que ellos introducen en el mercado, sin almacenar durante más de 2 años y/o 30 toneladas. Sistema de gestión integrada y los criterios de financiación a cargo de los fabricantes/importadores en proporción a su cuota

de mercado. Este sistema pagará por todas las actividades y etapas, desde la recolección al reciclado o valorización.

Desde el lado gubernamental, existen países que tiene un marco regulatorio muy inmerso en este tema. La idea principal es cobrar una tasa o impuesto al usuario del neumático en el momento que adquiere el producto. Este excedente en el precio es utilizado para financiar a organizaciones que se ocupan de la recolección y el tratamiento de estos residuos. Los recogen de lugares especialmente estipulados o de la locación de los mismos usuarios. Estos se comunican con entes para que recojan los NFU y estas entidades los recuperan y los tratan. A continuación se citan algunos ejemplos de cómo funciona este sistema.

En Noruega se estableció en 1995 la empresa Norsk Dekkretur AS para la gestión de los NFUs. El sistema de gestión en este país se establece mediante una financiación por las cuotas que se pagan por cada neumático nuevo o recauchutado (2€ + IVA por neumático de automóvil en 1995, 1,25€ + IVA en 2001, y 6€ + IVA en 2005 para el caso de los camiones), a medida que se ha mejorado la eficacia en el tratamiento de los NFU se ha ido reduciendo.

En Hungría la asociación de recicladores de neumáticos se denomina Öko-Gum. El sistema de cuota es compartido, una cantidad se paga por el producto (por cada neumático nuevo de automóvil 0,45 € en 2005), más una cantidad por utilización que paga el consumidor directamente (0,134 € en 2005).

Croacia, Dinamarca, Letonia y la República Eslovaca también han adoptado los sistemas de impuestos.

En los EE.UU., muchos estados tienen programas activos para limpiar acumulaciones de cubiertas existentes y eliminar la creación de otras nuevas. Organismos administrados por el estado, responsables de NFU se han establecido en la mitad de las provincias canadienses no cubiertos por los sistemas de gestión. La industria y otras partes interesadas están involucradas, con frecuencia.

Desde el lado de grandes productores, ellos también cuentan con proyectos o iniciativas para la recolección y reciclaje. Mayormente, lo que utilizan estas empresas es la logística inversa,

Michelin participó de la creación de un sistema eficiente y estructurado de gestión de neumáticos usados. **En Europa Occidental, la tasa de recuperación aumentó de 65% en 2001 a casi 90% en 2005** y el número de

puntos de recolección de neumáticos que han llegado al final de su vida útil sigue creciendo

En Santiago de Chile, Goodyear inició una campaña llamada “Elige Goodyear, elige vivir en un planeta más limpio”, para completar el ciclo de vida de sus productos, que consiste en que los clientes pueden dejar sus neumáticos usados al momento de cambiarlos. A cambio de esto reciben un cupón para participar de sorteos.

En los EE.UU., los fabricantes de neumáticos trabajan en conjunto a través de la Asociación de Fabricantes de Goma (RMA) para promover la gestión responsable y desarrollar mercados de NFU. Se presta, además, asistencia técnica a los futuros usuarios de NFU para ayudarlos a obtener las aprobaciones necesarias del gobierno y para estimular a los nuevos usuarios.

En Corea los fabricantes e importadores pagan una tasa de depósito que se devuelve si recogen los neumáticos. Brasil exige a los importadores demostrar la disposición de cubiertas 20% más por año que lo que importa. Administración de sistemas (a menudo con la participación de los organismos de medio ambiente del gobierno) también existe en Sudáfrica y en alrededor de la mitad de las provincias canadienses. Nigeria y Turquía también han comenzado la administración de sistemas y Rusia está actualmente considerando propuestas.

En la Argentina existe un proyecto llamado REGOMAX. Varias entidades lideradas por el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) en colaboración con el CEAMSE, se alinean formando un grupo de trabajo con el objetivo de personalizar el reciclado de neumáticos contribuyendo a la conservación del medio ambiente. Se encargan de juntar y recolectar los neumáticos. Ellos cuentan con un desafío constante: Mejorar la calidad de vida es posible, profesionalizando el reciclado de neumáticos fuera de uso, transformándolos en productos con un alto valor agregado a través de un procesamiento que contribuye con el cuidado del medio ambiente.

1.4 Propuesta preliminar de reciclado de neumáticos

En la actualidad, en nuestro país, existen muchas dificultades y trabas para el reutilizado y reciclado de neumáticos fuera de uso. En primer lugar, se carece de políticas que favorezcan la recolección y la implantación de industrias dedicadas a la tarea de recuperar o eliminar, de forma limpia, los componentes

peligrosos de las gomas de los vehículos y maquinarias, sin mencionar que también se carece de normativas para muchos otros residuos que son una amenaza constante para todo tipo de suelos, agua y atmosfera. Por otro lado las tecnologías existentes son escasas a causa de ser muy específicas, costosas y de reducida capacidad, que trae como consecuencia que sea muy complejo la desaparición de neumáticos desechados induciendo a problemáticas ambientales graves.

1.5 Objetivos del proyecto

El horizonte final del Plan es alcanzar una gestión sostenible de los residuos. Para ello, se establecen los siguientes objetivos cualitativos:

- Aumentar los porcentajes de minimización y valorización de residuos.
- Disminuir los porcentajes de eliminación.
- Obtener un profundo conocimiento de la producción y gestión de los residuos para una adecuada evaluación de los mismos.
- Adopción y promoción de prácticas más sostenibles de consumo de recursos y de gestión de residuos.
- Estimular la implicación y participación de la sociedad.
- Atraer inversiones, apoyando el desarrollo y las oportunidades que impliquen creación de riqueza y generación de empleo desde el medio ambiente.
- Informar y asesorar a los agentes implicados y a la sociedad en general de forma ágil y transparente.
- Facilitar la adecuada gestión de los residuos a todo el territorio.
- Asegurar la disponibilidad de infraestructuras de gestión necesarias.
- Promocionar la reutilización, el reciclado y la valorización.
- Apoyar el desarrollo de mercados de materiales recuperados y reciclados.

1.6 Justificación del proyecto

La justificación de este proyecto tiene varios aspectos, todos tienen suma importancia dependiendo del punto de vista que se lo analice. Tiene

justificación tanto ambiental, como económica y social. A continuación se enumeran algunos de los factores que hacen que este proyecto valga la pena ser desarrollado.

- ✓ Intervenir en la remoción de neumáticos descartados.
- ✓ Convertir un residuo en un insumo para una producción o en algo que sea reutilizable.
- ✓ Tener en cuenta las oportunidades de rentabilidad que surgen de la gestión de residuos. Tanto desde el punto de vista de la recolección y procesado como la de creación de insumos para otras aplicaciones. Puede ser un negocio con grandes beneficios si se aprovechan bien las necesidades del sistema de gestión de residuos.
- ✓ Sustitución de importaciones, tanto de neumáticos como de insumos productivos que se pueden fabricar a partir de los NFU. Menos importación de energía y todos los derivados que se puedan obtener del reciclaje de estos residuos.
- ✓ Desde el punto de vista ecológico, hay que resaltar que los neumáticos tienen componentes altamente dañinos para el medio ambiente y que la degradación natural de estos ronda los seiscientos años.
- ✓ Evitar proliferación de enfermedades y focos infecciones con la eliminación de la acumulación de neumáticos.
- ✓ Proponer una disposición final ambientalmente adecuada, para evitar que los neumáticos se acumulen en rellenos sanitarios, mares, ríos, lagos, terrenos baldíos, desiertos, o se quemen inapropiadamente. Consecuentemente, se liberan territorios y suelos que pueden ser utilizados en múltiples usos.
- ✓ Tener en cuenta incendios como amenaza de alta probabilidad.
- ✓ Crear conciencia de que los residuos se pueden recuperar y ser reutilizados sin importar el origen.
- ✓ Crear conciencia gubernamental, para que nazca un marco regulatorio que controle y obligue a empresas y particulares a una mejor gestión de los neumáticos y los residuos en general.
- ✓ Creación de puestos de trabajo en plantas y recolección dando una gran ayuda desde el enfoque social, ayudando a la inclusión social de centenares de trabajadores.

2. ESTADO DE SITUACION

Antes de profundizar el problema y las soluciones existentes con el objetivo de llegar a una propuesta interesante, es primordial estudiar el estado de situación actual, es decir, donde estamos parados en este momento. La definición de conceptos y actores principales es clave para facilitar el entendimiento integral de la cuestión.

En primer lugar, se hará una breve descripción del residuo, sus propiedades y componentes para poder visualizar cuales son los elementos nocivos al medio ambiente. Es importante hacer esta distinción, ya que no todos los componentes se tratan de la misma manera, y no todos tienen la misma proporción en los neumáticos. Conocer el origen de las cosas simplifica la solución de estas en numerosas oportunidades.

Por otro lado, también se trata la problemática en distintos países alrededor del globo con el objetivo de cuantificar el problema y analizar cómo es tratado otros lugares.

2.1 Características de los neumáticos

2.1.1 Origen y composición del neumático

Un neumático es básicamente un elemento que permite a un vehículo desplazarse en forma suave a través de superficies lisas. Consiste en una cubierta principalmente de caucho que contiene aire a presión, el cual soporta al vehículo y su carga. Su invención se debe al norteamericano Charles Goodyear quién descubrió, accidentalmente en 1880, el proceso de vulcanización, con el que se da al caucho la resistencia y solidez necesaria para fabricarlo. Un neumático necesita grandes cantidades de energía para ser fabricado, ya que fabricar un neumático de camión requiere medio barril de petróleo crudo.

La complejidad de la forma y de las funciones que cada parte del neumático tiene que cumplir se traduce también en una complejidad de los materiales que lo componen. El principal componente del neumático es el caucho: casi la mitad de su peso. La fabricación de neumáticos concentra un gran porcentaje

de la industria del caucho constituyendo el 60 % de la producción anual del mismo.

El neumático está compuesto principalmente de tres productos: caucho (natural y sintético), un encordado de acero y fibra textil. Los principales componentes de la goma de los neumáticos son goma de estireno butadieno (SBR), goma natural (NR) y goma de polibutadieno (BR), cuya estructura molecular se representa en la figura 2.1. A su vez, el caucho usado en la fabricación de neumáticos está compuesto por un grupo de polímeros (compuestos químicos de elevado peso molecular) entre los que se cuentan el polisopreno sintético, el polibutadieno y el más común que es el estierobutadieno, todos basados en hidrocarburos.



Figura 2.1. Estructura molecular de los diferentes tipos de gomas¹

Se agregan además, otros materiales al caucho para mejorar sus propiedades, tales como: suavizantes, que aumentan la trabajabilidad del caucho, antes de la vulcanización; óxido de Zinc y de Magnesio, comúnmente denominados activadores, pues son mezclados para reducir el tiempo de vulcanización de varias a horas a pocos minutos; antioxidantes, para dar mayor vida al caucho sin que se degrade por la acción del oxígeno y el ozono; y finalmente negro de humo, especie de humo negro obtenido por combustión incompleta de gases naturales, que entrega mayor resistencia a la abrasión y a la tensión.

¹ Fuente: Bedia Motamoros, J.; Rodríguez Mirasol, J.; Cordero. 2004. Reciclado y reutilización de neumáticos usados (I), Recuperación de energía. Departamento de Ingeniería química. ETSI Industriales de Málaga. Málaga, España

2.1.2 Características de los diferentes tipos de neumáticos

Existen diversos tipos de vehículos, y cada uno de ellos utiliza neumáticos de distinta índole, ya sea por la forma, el uso, la composición y el peso, entre otras generalidades. Es importante siempre hacer la distinción entre estos, para poder tratarlas de forma individual y no de forma general, para poder optimizar estos residuos de la mejor manera. Por otro lado, se utiliza maquinaria de distintas dimensiones para cada tipo de neumáticos, ya sea por su variado tamaño como por sus diversas composiciones. A continuación se muestran distintas tablas donde se especifica el peso de los neumáticos para distintos usos y la composición de estos.

Peso medio de los neumáticos utilizados en la UE (datos en kg)

Tipo de vehículo	Peso medio por neumático
Turismos ligeros	7 (6,5-9)
Vehículos semi-ligeros	11
Camiones	50
Grandes trailers: Mínimo	55
Grandes trailers: Máximo	55-80
Maquinaria agrícola	100
Maquinaria industria/construcción	100

Tabla 2.2 Peso medio de los neumáticos utilizados en la UE (datos en kg)

Neumáticos de Pasajeros (automóviles y camionetas)

Caucho natural	14 %
Caucho sintético	27%
Negro de humo	28%
Acero	14 - 15%
Fibra textil, óxidos, suavizantes, antioxidantes, etc.	16 - 17%
Peso promedio	8,6 Kg
Volumen	0.06 m3

Tabla 2.3 Neumáticos de Pasajeros (automóviles y camionetas)²

² Fuente: Rubber Manufacturers Association. Considerations for starting a scrap tire company, a blueprint for planning a bussiness strategy. Washington DC, Estados Unidos.

Neumáticos MCT (camiones y microbuses)

Caucho Natural	27 %
Caucho sintético	14%
Carbón negro	28%
Acero	14 - 15%
Fibra, suavizantes, óxidos, antioxidantes, etc.	16 - 17%
Peso promedio	45,4 Kg
Volumen	0.36 m ³

Tabla 2.4 Neumáticos MCT (camiones y microbuses)³

Aunque suelen variar según el tipo de neumáticos y el país de fabricación, los diferentes elementos químicos que componen un neumático se muestran en la Tabla 2.5 junto a sus porcentajes respectivos:

Elemento	Porcentaje
Carbono (C)	70
Hidrogeno (H)	7
Azufre (S)	1..3
Cloro (Cl)	0,2...0,6
Hierro (Fe)	15
Oxido de Zinc (ZnO)	2
Dióxido de Silicio (SiO ₂)	5
Cromo (Cr)	97-ppm
Níquel (Ni)	77-ppm
Plomo (Pb)	60-760ppm
Cadmio	5-10ppm
Talio	0,2-0,3ppm

Tabla 2.5 Análisis químico del neumático⁴

En el proceso de vulcanizado, en la fabricación del neumático, la goma virgen es mezclada con otros productos (cauchos sintéticos, azufre y óxidos) y llevada

³ Fuente: Rubber Manufacturers Association. Considerations for starting a scrap tire company, a blueprint for planning a bussiness strategy. Washington DC, Estados Unidos.

⁴ Fuente: Ramos, Arizpe. 1997. Curso de Cemento: Combustibles alternativos, Holderbank.

a temperaturas que provocan cambios en su estructura química interna y en sus propiedades físicas. Estos cambios son, en la práctica, irreversibles. Posteriormente, la goma del neumático, al estar sometida a ambientes agresivos como el roce con el pavimento, se desgasta y degrada. El roce constante con el aire causa a su vez la oxidación del material, todo lo cual impide que la goma granulada recuperada a partir de neumáticos usados alcance los niveles de calidad de la goma virgen original. Este es el principal motivo por el cual no es posible reciclar neumáticos para utilizarlos como materia prima para producir nuevos neumáticos.

En la alternativa de incinerar neumáticos se genera calor, agua y cenizas. Estas cenizas, al contener los principales componentes necesarios para la fabricación de cemento, son absorbidas y capturadas en la estructura cristalina del cemento, durante el proceso de fabricación del mismo en el interior del horno rotatorio, lo cual permite, ahorrar materias primas y combustible.

La composición química de esta ceniza es la siguiente:

Compuesto	%
Dióxido de Silicio (SiO₂)	22.00
Dióxido de Aluminio (AL₂O₃)	9.09
Óxido de Hierro (Fe₂O₃)	1.45
Óxido de Calcio (CaO)	10.61
Dióxido de Titanio (tiO₂)	2.57
Óxido de magnesio (MgO)	1.35
Óxido de Sodio (Na₂O)	1.10
Óxido de Potasio (K₂O)	0.92
Azufre en (SO₃)	15.68
Fósforo en (P₂O₅)	1.03
Óxido de Azufre (ZnO)	34.50

Tabla 2.6 Análisis mineral de la ceniza de neumático. (% en peso)⁵

Los neumáticos actuales duran el doble que los de hace 20 años. Esto permite un notable ahorro de materias primas, a lo que hay que sumar los avances en los procesos de producción, que en estas dos décadas han conseguido rebajar en más de un 25% la energía necesaria para la fabricación.

⁵ Fuente: Ramos, Arizpe. 1997. *Curso de Cemento: Combustibles alternativos*, Holderbank.

Los últimos avances se están centrando en los componentes de la cubierta. Aproximadamente el 25% son cauchos naturales; el 15% sintéticos; el 14%, agentes químicos; el 13%, refuerzos metálicos y el 5%, refuerzos textiles. El 25% restante se denomina cargas de refuerzo, compuestas fundamentalmente por negro de carbono y sílice.

La última consideración con respecto a la tecnología medioambiental en la composición de los neumáticos la acaba de dar Goodyear. Así, ha sustituido alguno derivados del petróleo, como el negro de carbono y el sílice, por un compuesto extraído del almidón de maíz. Esta tecnología, llamada BioTred, ha dado como resultado un neumático ecológico, el GT3, que, además, consigue mayores ahorros de combustible, mejora la seguridad y es más silencioso.⁶

⁶ Fuente: www.formoso.com

2.2 Estado actual en diversos países

Continuando con la idea de analizar el estado actual de la situación, se analizó como era la problemática en distintos países, algunos similares a la Argentina, por cercanía o estructura similar y otros más desarrollados. La idea era examinar como estos resuelven este tema y poder ver si es aplicable a nuestro país o no. En adición, la idea es tomar soluciones existentes en distintos países para poder crear una alternativa nueva para solucionar el conflicto.

Los escenarios y propuestas que se muestran a continuación son muy variados. Pero claramente, se nota como el mundo se está concientizando, de manera muy lenta y gradual, de esta problemática creciente. El globo se está dirigiendo a la era del reciclado ya que las olas ecológicas están en aumento. Los países desarrollados están poniendo en práctica la reutilización ya que es una forma de optimizar su economía y producción ya que utilizan desechos como insumos importantes en sus producciones, y a su vez, mantienen sus tierras libres de desechos de este tipo que son muy nocivos para el medio ambiente y de degradación extremadamente lenta.

2.2.1 España

En España se generan unas 250.000 toneladas al año de neumáticos fuera de uso que se gestiona de la siguiente manera: el 11,1 por ciento se destina a recauchutado; el 1,5 por ciento a reciclaje; el 4,6 por ciento a valorización energética en cinco plantas cementeras autorizadas y la mayor parte, el 82,8 por ciento, a vertido, abandono o depósito en vertedero, como ocurre en la mayoría de los países europeos (Figura 2.7). Hay que tener en cuenta, además, que se estima entre tres y cinco millones de toneladas las que ya existen de estos neumáticos acumulados y almacenados, "stock" histórico que también hay que gestionar.

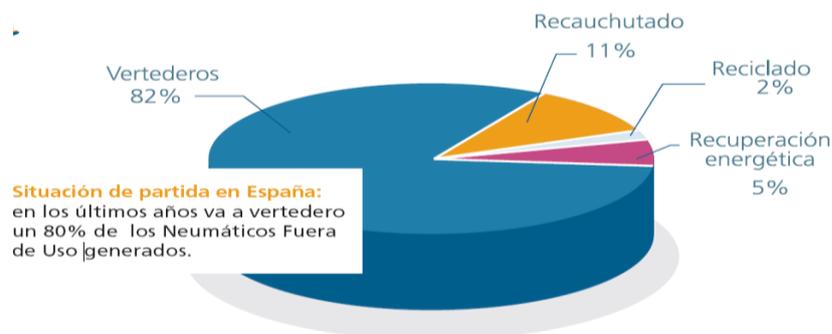


Figura 2.7 Estado de situación en España ⁷

⁷ Fuente: Observatorio del Medio Ambiente, 2006. En pocas Palabras, el programa de Neumáticos fuera de uso. Aragón, España.

El PNNFU (Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso) establece como objetivos el reciclado de al menos un 25% en peso de los neumáticos y el recauchutado un 20% antes del 1 de enero de 2007. Desde el 1 de enero de 2003 quedó prohibida su eliminación (vertido o incineración) sin recuperación energética. Se aconseja a los consumidores que, cuando la profundidad del dibujo de los neumáticos sea inferior a 1,6 milímetros, es tiempo de cambiarlos y que, cuando se retiren las cubiertas, sean llevadas al taller para que acaben sus días en una planta de reciclaje y se elige neumáticos recauchutados o con un alto contenido en goma reciclada. Si no es posible, que sean neumáticos de vida larga, porque consumen menos gasolina.

En el Real Decreto 1689/2005, de 30 de diciembre, sobre la gestión de neumáticos fuera de uso, Art. 4.2, se establece la obligación de los productores de neumáticos de garantizar que se alcanzan como mínimo los objetivos ecológicos que se establezcan en los Planes nacionales de NFU. En este contexto, se establecen en este Plan los objetivos siguientes:

- Reducción de un 10%, en peso, de los NFUs generados; a alcanzar dentro del período de validez del Plan, mediante el alargamiento de la vida útil de los neumáticos, la mejora de su uso y de la conducción de vehículos.
- Recuperación y valorización del 98% de los neumáticos generados, a alcanzar a partir de 2007.
- Recauchutado de al menos un 20%, en peso, de los NFUs generados, a alcanzar dentro del período de vigencia del Plan.
- Reciclaje del 50%, en peso, de los NFUs generados, de los que el 40% se utilizarán como materiales constituyentes de mezclas bituminosas para pavimentos de carreteras y el 10% restante a la utilización en otras aplicaciones industriales; objetivo a alcanzar a partir de 2007.
- Recuperación y reciclaje del 100% del acero procedente de las plantas de tratamiento de los NFUs; objetivo a alcanzar a partir de 2007.
- Valorización energética del 30%, en peso, de los NFUs generados; objetivo a alcanzar a partir de 2007.

PREVENCIÓN

- Promoción del recauchutado, mediante programas de divulgación e información.
 - Ayudas a proyectos de I+D+i destinados al alargamiento de la vida útil de los neumáticos.
 - Promoción de las mejoras en la conducción de los vehículos.
-

RECICLAJE

- Ampliación de la red de instalaciones de recogida y tratamiento hasta cubrir todo el territorio nacional.
- Promoción a la utilización de materiales procedentes del reciclaje de NFU, a través de:
 - Consumo en obras públicas, carreteras en particular.
 - Realización de experiencias piloto para ampliar sus posibilidades de uso.
 - Priorización de la adquisición de productos fabricados con materiales reciclados procedentes de NFU en las políticas de compra de las Administraciones Públicas y de entidades privadas.
- Impulso a los proyectos de I+D+i tendentes a la búsqueda de nuevos usos de estos materiales reciclados y a la mejora de las tecnologías de gestión
- Coordinación entre los SIG de NFU con los de Vehículos Fuera de Uso (SIGRAUTO)
- Redacción y publicación de un Manual de Empleo de Caucho de NFU en mezclas bituminosas
- Creación de un sistema de información específico para los NFU, incorporable al Inventario Nacional de Residuos y al Sistema HÉRCULES
- Promoción de la aplicación de sistemas de certificación en los procesos industriales de producción de neumáticos y de tratamiento de NFU
- Realización de campañas de información al público para facilitar el logro de los objetivos previstos
- Realización de programas de formación de personal especializado en la gestión de los NFU

El decreto que regula el uso de neumáticos usados obliga a sus usuarios a depositarlos en lugares en los que se garantice un tratamiento adecuado. Una persona que compre las ruedas en un centro comercial o en una tienda particular y cambie él mismo las usadas por las nuevas tiene dos opciones:

- ✓ Depositar los neumáticos usados en cualquier taller en el que le aseguren un tratamiento adecuado. Por lo general, las diferentes empresas de reciclaje también gestionan con estos talleres su recogida.
- ✓ Llevarlos a centros específicos en los que puede reciclar cualquier material. Son los llamados puntos blancos o puntos limpios y se

extiendes por todas las comunidades autónomas. En el País Vasco se conocen como Garbigunes.

Los puntos limpios son lugares próximos al casco urbano de las ciudades que permiten a los vecinos, por sus propios medios, llevar residuos que no tienen cabida en las áreas de aportación o en los contenedores. Su gestión depende de los ayuntamientos. Se trata de pequeños escombros, fluorescentes, neveras, lavadoras, muebles, colchones etc.

Cada centro cuenta con personal cualificado encargado de separar estos materiales. A cambio, el usuario debe pagar una cantidad simbólica.

Algunos gestores autorizados de estos residuos en Galicia son:

- **Signus** (www.signus.es)

La empresa adherida al este sistema en Galicia es Reromas. Tiene un coste de 0,21€/Kg. Recogen a domicilio en 3 o 4 días y dan servicio a 1.300 empresas.

- **TNU** (www.tnu.es)

La empresa adherida a este sistema en Galicia es Recigal neumáticos. Recogen a domicilio en el plazo de una semana a un precio de 0,24€/Kg.

- **Alauto**

Se entregan por la parte de abajo de los talleres. Precio de gestión de una rueda de un turismo 1,32€. Por una pequeña cantidad no cobran.

2.1.2 El Salvador

La principal fuente de generación de neumáticos usados es la industria automovilística, la cual requiere de la importación de neumáticos para abastecer al mercado y suplir las necesidades de demanda del producto.

Según fuentes del Viceministerio de Transporte Terrestre, a Octubre del 2003 El Salvado poseía un parque vehicular estimado de 565,000 vehículos, presentando un crecimiento de 100,000 unidades anuales, de las cuales 70,000 son vehículos que ingresan al país en calidad de usados, debido a lo cual los neumáticos que traen consigo presentan una vida útil mucho menor a la de los vehículos nuevos.

De acuerdo con lo anteriormente señalado, y considerando un 75% del parque vehicular en condiciones de uso, una vida útil promedio de tres años por neumáticos y un consumo de cuatro neumáticos por vehículo, se estima un desecho anual de 565,000 neumáticos para el año 2003, proyectándose de acuerdo al volumen de vehículos que ingresan al país cada año, se tendrá un incremento anual en la generación de neumáticos usados en 106,600 unidades. A continuación en la tabla 2.8, se muestran las proyecciones realizadas para los cinco años posteriores al estudio.

Año	Unidades de NFU generados
2003	565,000
2004	671,000
2005	778,200
2006	884,800
2007	991,400
2008	1,098,000

Tabla 2.8 Unidades de NFU generados en El Salvador⁸

Como se puede visualizar, los volúmenes de generación son considerables y preocupantes si se toma en cuenta la superficie geográfica de El Salvador (20,700 km²). A esta situación debe agregarse el volumen de NFU generado en años anteriores a las estimaciones realizadas, por lo que se estima que a la

⁸ Fuente: Universidad de Don Bosco, Departamento de Medio Ambiente. 2004. Análisis del desecho neumático fuera de uso. El Salvador.

fecha ya hay un volumen que sobrepasa los 350,000 neumáticos fuera de uso sin la adecuada disposición final.

En la actualidad el neumático fuera de uso es, en su mayoría arrojado a los cauces de los ríos y quebradas, ó acumulado en los vertederos a cielo abierto donde son quemados al aire libre.

No existe una política gubernamental ó municipal sobre la disposición de éstos de manera específica. Los servicios municipales de recolección difícilmente aceptan darle disposición final ya que su traslado y manejo en los camiones recolectores es complicado y su volumen evita desalojar otros desechos que son biodegradables.

En El Salvador existe una empresa cementera que utiliza una pequeña parte del volumen de neumáticos como combustible en sus hornos de producción, y tres empresas que prestan el servicio de reencauche con lo que se logra aumentar el período de vida útil de los neumáticos, aunque no del total generado. Pero son iniciativas que por un lado no son del conocimiento de la gran mayoría de automovilistas y comerciantes informales de cambio de neumáticos y, por el otro, son cada vez menos atractivas para el automovilista pues es fácil y económico adquirir neumáticos de media vida en los negocios informales, por lo que no es extraño apreciar pilas de neumáticos fuera de uso en terrenos baldíos y aceras cercanas a los centros informales de cambios de éstos.

Fuera de lo comentado anteriormente, no existen programas sistemáticos orientados a la continuidad de un reciclaje, reuso ó inclusión como subproducto de los NFU, tampoco se perfilan alternativas completas de solución que propicien una disposición adecuada de los mismo desde el punto de vista ambiental, razón que impulsa a desarrollar algunas consideraciones sobre el ciclo de vida del producto.

2.1.3 Ecuador

Para la estimación del parque automotor de la ciudad de Riobamba, Ecuador, se basó en datos obtenidos: en la Jefatura Provincial de Transito de Chimborazo, el cual indicó el número de vehículos existentes entre livianos y pesados con los respectivos porcentajes de acuerdo a su clasificación. Una vez obtenida esa información, se averiguó la duración estimada de los neumáticos para cada tipo de vehículo y cuantos neumáticos utiliza cada vehículo. Estos datos tenían como objetivo calcular la generación de neumáticos por año en dicha ciudad. La siguiente tabla (Tabla 2.9) muestra claramente estos resultados.

Tipo de Vehículo	Numero de vehículos	Numero de neumáticos	Total de neumáticos en uso	CTCN (Cada que tiempo cambian el neumático al año)	Neumáticos generados al año
Livianos					
Autos particulares	22.800	4	91.200	0,25	22800
Taxi	9.200	4	36.800	0,75	27600
camioneta	6.000	4	24.000	0,45	10800
Furgoneta	1.200	4	4.800	0,8	3840
motocicleta	800	2	1600	0,2	320
Subtotal	40.000		158.400		66.400
Pesados					
Bus	7300	6	43.800	2	87.600
Camión	2700	6	16.200	1,5	24.300
Subtotal	10.000		60.000		111.900
Total	50.000		218.400		177.260

Tabla 2.9 Generación de NFU en Riobamba, Ecuador

Los neumáticos generalmente se desechan en alguna de las siguientes formas:

- Los generadores mayoristas contratan un servicio de recolección particular, el cual los transporta hasta un almacén temporal, para posteriormente enviarlas a empresas que los utilicen como combustible alternativo.
- Los generadores pequeños utilizan el servicio de recolección público de residuos para desecharlos; este último, a su vez, las transporta hasta plantas de selección y aprovechamiento, a estaciones de transferencia o al sitio de disposición final correspondiente, lugares donde en ocasiones

son separadas y enviadas a un sitio que funciona como almacén y donde serán recuperadas pequeñas cantidades.

- Los generadores o transportistas pueden disponerlos indiscriminadamente en tiraderos a cielo abierto o sitios clandestinos, lo que deriva una disposición inapropiada y acumulación no controlada.

Anteriormente era común la disposición en rellenos sanitarios de los neumáticos enteros, sin embargo, esta práctica está siendo rechazada por dos razones principalmente. En primer lugar, debido a su forma y composición, los NFU no pueden ser fácilmente compactados, ni se descomponen. Por lo tanto, consumen cantidades considerables de espacio en sitios de disposición. Con la capacidad disminuyendo en el Relleno Sanitario, y con los costos de evacuación de para Residuos Sólidos Municipales incrementándose, ya no es posible aceptar materiales voluminosos. Por otro lado, debido a su forma hueca, los neumáticos pueden atrapar gases, y con el tiempo, “flotan” a la superficie, rompiendo las celdas de disposición, favoreciendo la generación de lixiviados y aparición de roedores y aves.⁹

⁹ Fuente: Navarrete Córdova, Mario Alejandro. 2009 Estudio de utilización como combustible alternativo y plan de disposición final de los neumáticos desechados en la ciudad de Riobamba. Escuela superior politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

2.1.4 México¹⁰

Algunas ciudades de México han iniciado programas de investigación, reuso o reciclaje de llantas usadas, tales como Ciudad Juárez y Tijuana, entre otras. Asimismo, se conocen experiencias similares en la frontera entre EE.UU y México. A continuación se describen brevemente dichas experiencias.

2.1.4.1 Ciudad Juárez, Chihuahua

La Universidad Autónoma de Ciudad Juárez aplicó la investigación desarrollada por el Departamento de Ingeniería Civil, Agricultura y Geológica de la Universidad Estatal de Nuevo México en Las Cruces, Nuevo México, EE.UU., para el reuso de llantas en la estabilización de suelos arcillosos en Ciudad Juárez, Chihuahua.

El objetivo del estudio fue investigar las propiedades elásticas del caucho triturado de llantas usadas para contribuir en parte a la solución de los problemas de disposición final de llantas usadas, mediante el incremento y desarrollo de nuevos usos de dichas llantas, para disminuir los problemas existentes.

De acuerdo a las conclusiones del estudio, la llanta usada puede ser aprovechada de diferentes maneras, muchas veces aún sin llevar un proceso muy elaborado de trituración y separación, en la ciudad existe mucho material disponible para realizar proyectos innumerables, ya sea de construcción o de cualquier otro giro.

Se aprueba programa de reciclaje de llantas en Ciudad Juárez

Ciudad Juárez por fin podrá poner fin al grave problema de millones de llantas usadas que son tiradas en calles y basureros clandestinos. La Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza aprobó el proyecto del reciclado de llantas usadas con un costo superior a los dos millones de dólares.

El proyecto se logró gracias a las aportaciones del gobierno federal, el municipio y otras instituciones de crédito internacionales. La nueva trituradora estará localizada en el confinamiento de llantas, y es igual a las que se usan en los Estados Unidos para disponer de las llantas para prevenir la contaminación.

¹⁰ Fuente: *Cantanhede, Alvaro; Monge, Gladys. 2002. Estado del arte del manejo de llantas usadas en las Américas. Lima, Perú.*

2.1.4.2 Condado de El Paso

Cada año en el condado de El Paso se desechan miles de llantas usadas, las cuales están siendo utilizadas para construir carreteras.

El Departamento de Transporte logró un récord mundial al utilizar toneladas de llantas recicladas en el asfalto de carreteras en el condado. El estado de Arizona fue de los primeros en utilizar llantas recicladas. Texas adoptó el proceso en 1976, y desde entonces han logrado utilizar toneladas de llantas. Han pavimentado 700 millas de carreteras. Se utilizan las llantas porque ayudan con la corrosión. El sol usualmente parte el asfalto-le quita sus propiedades. Este es como un protector solar, por lo que dura más, además ayuda en la flexibilidad.

El proceso consiste en demoler las llantas recicladas en trozos tan pequeños como migajas de pan. Para después mezclarlas con el asfalto y así cubrir las carreteras. El proceso logra que las carreteras sean más duraderas. El asfalto regular dura unos ocho años y con el asfalto de liga dura unos 12 años. Se paga un precio Premium por él pero dura mucho más, así que al final es mucho más barato. La calle North Loop y Socorro Road en el Valle Bajo son el ejemplo de lo que es el proceso de pavimentar con llantas recicladas.

2.1.5 Brasil¹¹

La exportación es el destino de 11% de los neumáticos usados de Europa y 5% de los de Estados Unidos. Es una forma de "exportar basura" y transferir el problema, según las autoridades ambientales brasileñas, que prohibieron la importación tanto de neumáticos usados como de los recauchutados. La medida logró reducir las importaciones, pero no ponerles fin.

La importación bajó de 3,4 millones de neumáticos recauchutados en 1998 a menos de un millón en 2000, mientras la de usados sin recauchutar cayó de 6,1 millones en 1996 a 2,4 millones en 2001, según datos oficiales.

Los neumáticos usados son utilizados en Brasil, entre otros fines, para la destilación de combustibles, en un proceso que ahorra materias primas como el petróleo.

La resolución del Consejo Nacional del Medio Ambiente es "pionera en el mundo", pues define a los responsables y sus obligaciones, observó Tegani (Ministerio de Medio Ambiente). La meta fue eliminar un cuarto del total de neumáticos vendidos (2001), proporción que se elevaría a la mitad en 2003 y a la totalidad en 2004. En 2005, la eliminación debería ascender a 125% de las ventas.

A la industria le corresponderá evitar que 7,5 millones de neumáticos sean simplemente arrojados, pues produce cerca de 45 millones de unidades al año y exporta un tercio. Treinta millones se venden dentro del país, informó Tegani.

El programa no tendrá costo para el consumidor, a diferencia de Europa y Estados Unidos, donde la recolección, almacenamiento y transporte de neumáticos corresponde al comprador. Las empresas que los aprovechan como materia prima deberán absorber los costos, en los planes de la Asociación Nacional de la Industria de Neumáticos.

El uso como combustible en calderas industriales, trituración para uso en pavimentación de carreteras y conversión en petróleo industrial o gas son las grandes alternativas de reaprovechamiento, descartándose su desecho en vertederos. En cualquier caso el paso inicial es picar los neumáticos, lo cual debe realizarse con rapidez para facilitar el almacenamiento y evitar el dengue, sostuvo Tegani. Cien millones de neumáticos inservibles están desechados al

¹¹ Fuente: Osava, Mario. 2005. *Neumáticos contra la Naturaleza. Rio de Janeiro, Brasil.*

aire libre en Brasil, calculó el Ministerio de Medio Ambiente. Tegani cree que la cantidad puede ser menor, porque no existen registros de todas las formas de reaprovechamiento. Los ambientalistas, tienden a ver un "pasivo ambiental" mayor. El país consume cada año cerca de 40 millones de neumáticos, sumando la producción nacional y las importaciones. Cien millones de neumáticos pueden haber sido desechados en pocos años, argumentó Karen Suassuna, coordinadora de la campaña de residuos tóxicos de Greenpeace en Brasil.

A continuación algunas experiencias del manejo de llantas usadas en São Paulo y Curitiba.

2.1.5.1 São Paulo¹²

En São Paulo la empresa Midas Elastómeros, del grupo paulista Vibrapar Participações inició el proceso de reciclaje de llantas, de forma experimental, em Itupeva. A partir de diciembre de 2001, la fábrica empezó a gran escala, comenzando a reciclar anualmente de 5 a 6 millones de llantas y otros residuos de caucho. La tecnología usada separa el nylon, acero y caucho.

La capacidad instalada de la fábrica, para 20 mil t/año, procesará 70% de caucho recuperado (en polvo), 20% de filamentos de acero y 10% de fibras de nylon. El acero será finalmente vendido a las siderúrgicas, el caucho será comercializado para fábricas de tapetes, suelas de calzados, llantas y otros artefactos. Puede sustituir el 30% de material virgen. El nylon puede ser transformado en productos textiles, como tapetes y vestuario, pero exige un pos-tratamiento que la Midas no hace. Es decir, el comprador tendrá que reprocesar el nylon para retirar algunos residuos de caucho. Brasil descarta, anualmente, cerca de 20 millones de llantas de todos los tipos: para tractor, camión, automóvil, carroza, moto, avión y bicicleta, entre otros.

A partir de enero de 2002, entrará en vigor la resolución 258/99, de Conama, según la cual de cada cuatro llantas producidas o importadas por el país, al menos una deberá ser reciclada. En 2005, el Conama dispondrá que para cada cuatro llantas, entre fabricadas localmente e importadas, cinco deberán tener un nuevo uso después de desechadas.

2.1.5.2 Curitiba

¹² Fuente: *Cantanhede, Alvaro; Monge, Gladys. 2002. Estado del arte del manejo de llantas usadas en las Américas. Lima, Perú.*

La Prefectura de Curitiba hizo un acuerdo con la Petrobras y la BS Colway Remoldagem de Pneus para reciclar llantas viejas, normalmente abandonadas en terrenos baldíos o ríos. Las llantas serán transformadas en combustible, gas y azufre, después de procesadas en una unidad que la Petrobras posee en São Mateus do Sul, en Paraná.

La meta es reciclar 800 mil llantas hasta el inicio de 2002. Por el acuerdo, la empresa pagará R\$ 0,30 por llanta de automóvil y R\$ 0,50 por la de camión. El programa incentiva a los recolectores de papel a recoger también llantas.

2.1.6 Chile¹³

En el país vecino, el problema de los neumáticos de desecho tiene su cuna en la gran minería. Según estadísticas de la CONAMA, allí, cerca de 1000 neumáticos, de 2,7 toneladas de peso promedio, son desechados mensualmente. En el período de un año, se acumulan alrededor de doce mil toneladas de residuos que se agregan a los existentes en los botaderos (“fuera de carretera”) lo que bordea, conforme a estimaciones conservadoras, las 60 mil toneladas.

Sin considerar los neumáticos denominados urbanos -los usados por vehículos livianos, camiones y autobuses- este stock crece a una tasa de doce mil toneladas anuales.

Por tratarse de material que no es biodegradable, la situación constituye una seria amenaza para el medio ambiente y se calcula que en diez años, la superficie que ocupará esta masa de desechos será el equivalente a cinco veces el “Estadio Nacional”.

Los neumáticos se están convirtiendo en un gran problema ambiental en nuestro país. Difíciles o caros de reciclar, peligrosos de acumular y potencialmente muy contaminantes, nadie sabe qué hacer con ellos.

Los neumáticos no son biodegradables, sobrevivirán por millones de años, no pueden reutilizarse para hacer nuevos neumáticos, no pueden llevarse a los vertederos porque obstruyen el procesamiento de la basura y está prohibido acumularlos por el riesgo de incendio.

Cada mes los municipios de la Región Metropolitana recolectan unos ocho mil neumáticos y se estima que cada año se desechan uno dos millones y medio. (www.conama.cl).

El problema cruza a todas las comunas del país, en La Pintana han intentado varias fórmulas, los convierten en maceteros, han demostrado que incluso es posible construir usándolos como estructura soportante, pero son demasiados. La idea ahora es encontrar usos masivos.

¹³ Delarze Díaz, Paulina Alejandra. 2008. Reciclaje de neumáticos y aplicación en la construcción. Universidad de Valdivia, Chile.

Por el momento siguen siendo parte de casi todos nuestros paisajes, pero quienes los usan, los automovilistas y transportistas, no asumen ningún rol en esta crisis medioambiental.

2.1.7 Europa

A continuación se muestra una tabla donde se detalla el nombre del país, las toneladas de neumáticos desechados al año, población de cada nación y por último se calcula un ratio de cuanto kilogramos de NFU existen por persona por año. Esto se muestra en la tabla 2.10.

País	t n.u./año	Población (hab.)	kg n.u./persona y
año			
Alemania	650.000	81.845.000	7,94
Austria	41.000	8.045.800	5,10
Bélgica	70.000	10.143.000	6,90
Dinamarca	38.500	5.251.600	7,33
España	330.000	39.241.900	8,41
Finlandia	30.000	5.116.000	5,86
Francia	380.000	58.265.400	6,52
Grecia	58.500	10.474.600	5,58
Holanda	65.000	15.492.800	4,20
Irlanda	7.640	3.591.200	2,13
Italia	360.000	57.330.500	6,28
Luxemburgo	2.000	412.800	4,84
Portugal	45.000	9.920.800	4,54
Reino Unido	400.000	58.684.000	6,82

*Tabla 2.10 Parámetros en Europa.*¹⁴

La situación en la Unión Europea es realmente preocupante. La generación de neumáticos en desuso es inmensa y tiene un crecimiento vertiginoso. Al analizar los ratios de kilogramos por persona por año resultan muy llamativos los valores. La gestión de reciclaje y reutilizado se detallan a continuación.

¹⁴ Fuente: Bedia Motamoros, J.; Rodríguez Mirasol, J.; Cordero. 2004. Reciclado y reutilización de neumáticos usados (y II), Alternativas de recuperación de energía. Departamento de Ingeniería química. ETSI Industriales de Málaga. Málaga, España.

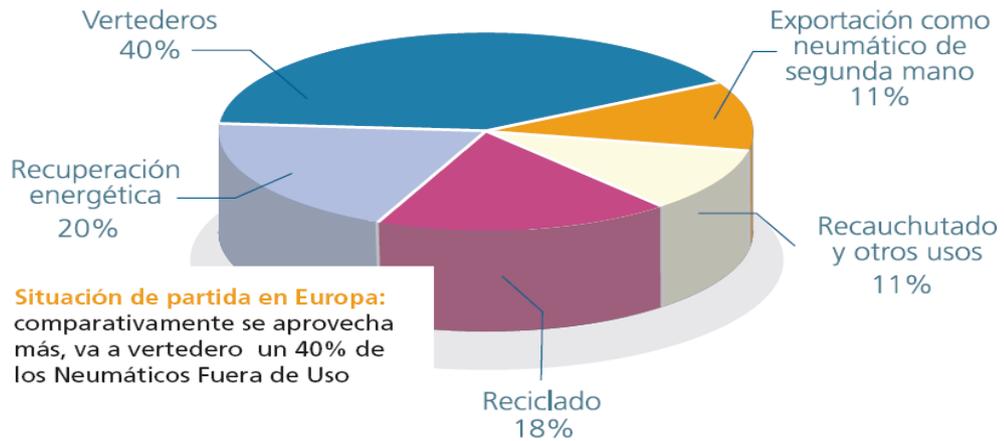


Figura 2.11 Estado de situación en Europa.¹⁵

En la figura 2.11, se ve de manera clara que es necesario una rápida solución ya que más de la mitad se exporta o se tira en algún vertedero sin ningún tratamiento.

¹⁵ Fuente: NFU, Plan Gira, 2006

2.2 Reflexión y pasos a seguir

Tomando como base los datos existentes sobre generación, volúmenes y desechos de los neumáticos, se propondrá una solución de manejo, uso y disposición de este residuo tan perjudicial. Esta tendrá en cuenta el proceso integral desde su desecho hasta la transformación, reutilización o reciclado.

Los objetivos principales de esta investigación son varias. En primer lugar, la mejora del aspecto medioambiental, ya que este residuo es muy nocivo para cualquier tipo de ambiente, ya sea en agua, suelo o aire.

Por otro lado, otra parte clave de la investigación es estudiar la factibilidad económica de explotar esta oportunidad. Es una oportunidad única ya que se está trabajando poco al respecto y puede tener rentabilidad importante. Sería hacer una gestión integral, que incluiría tanto la recolección, como el tratamiento posterior para ofrecer insumos o productos terminados a varios sectores del mercado. El estudio del aspecto económico puede determinar si el proyecto es redituable y así, conseguir inversionistas para llevar a cabo esta iniciativa.

Para ello es insuficiente el estudio realizado hasta aquí, es necesario determinar el proceso, y para ello hay que estudiar alternativas de reciclaje y tratamiento, verificar y seleccionar la maquinaria y tecnología necesaria para el proceso adoptado y por último hacer una profunda investigación de temas técnicos relacionados. Estos son los próximos temas a tratar en el presente trabajo para poder desarrollar una solución tanto limpia para el medio ambiente como rentable para los inversores.

3. ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO ACTUALES

3.1 Trituración mecánica

Es un proceso puramente mecánico y por tanto los productos resultantes son de alta calidad, limpios de todo tipo de impurezas, lo que facilita la utilización de estos materiales en nuevos procesos y aplicaciones. La trituración con sistemas mecánicos es, casi siempre, el paso previo en los diferentes métodos de recuperación y rentabilización de los residuos de neumáticos. Es un proceso de costos moderados, lo que hace que sea recomendable su desarrollo y aplicación.

Este concepto incluye la fragmentación del neumático en gránulos (GTR, Caucho de Ruedas Granulado) y separación de componentes (acero y fibras) y desvulcanización o no.

Ejemplos de uso son: materiales de relleno en productos de caucho, modificadores de asfalto, superficies de atletismo y deportes, y productos moldeados y calandrados. Lo que se pretende es incrementar la calidad y consistencia del GTR, y ello conducirá a un reciclado del material mucho más extenso.

Algunos fabricantes indicaron que el uso de hasta un 10% de GTR como relleno en los neumáticos no altera sus prestaciones y calidad. Hoy en día los neumáticos contienen un 5% de material reciclado. Hay opiniones que dicen que podrían contener hasta un 30%.

En la siguiente figura se detalla las diferentes etapas para llegar al producto final. Este proceso se separa en tres etapas principales. La primera, llamada Etapa de Triturado es donde, desde el almacenamiento de NFU, se lo coloca en una tolva y se los tritura. Es la etapa previa, ya que de aquí no se obtiene el producto final sino que se lo trocea en un tamaño intermedio para continuar con la segunda etapa. Esta es llamada la Etapa de Molido Principal, aquí, se lo tritura en trozos muy pequeños y se obtiene el producto final y otra porción donde es tratada nuevamente de manera más fina para obtener el otro producto final de distintas características. Esta es la tercera etapa. Todo esto se esquematiza en la siguiente figura. (Figura 3.1)

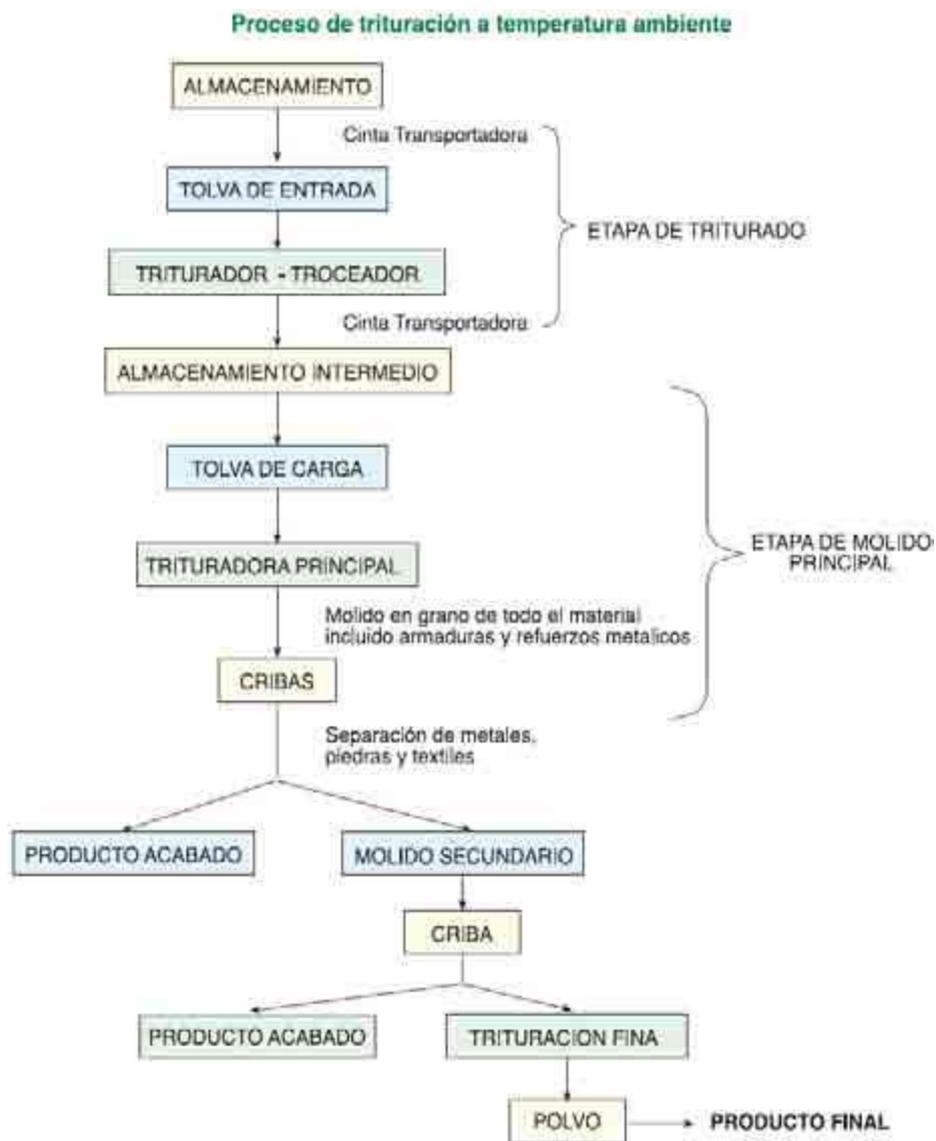


Figura 3.1 Proceso de trituración mecánica¹⁶

3.2 Trituración criogénica

Los neumáticos se someten a baja temperatura, del orden de $-195,8^{\circ}\text{C}$ que corresponden al Nitrógeno líquido, en forma de espuma criogénica, en un túnel de ciclo cerrado aislado al vacío, a la cual el caucho se vuelve frágil y quebradizo. Se obtiene una excelente molienda, del orden de los 0,1 mm y una buena separación de cenizas, acero y fibras textiles.

¹⁶ Fuente: Delarze Díaz, Paulina Alejandra. 2008. *Reciclaje de neumáticos y aplicación en la construcción*. Universidad de Valdivia, Chile.

El método descrito presenta la ventaja de recuperar los materiales que conforman los neumáticos en desuso de forma no contaminante. Por otra parte el sistema de tratamiento presenta problemas en cuanto a la complejidad de sus instalaciones y su alto coste de implantación y mantenimiento.

A continuación, en la figura 3.2, se detalla gráficamente como son las etapas del proceso descrito anteriormente.

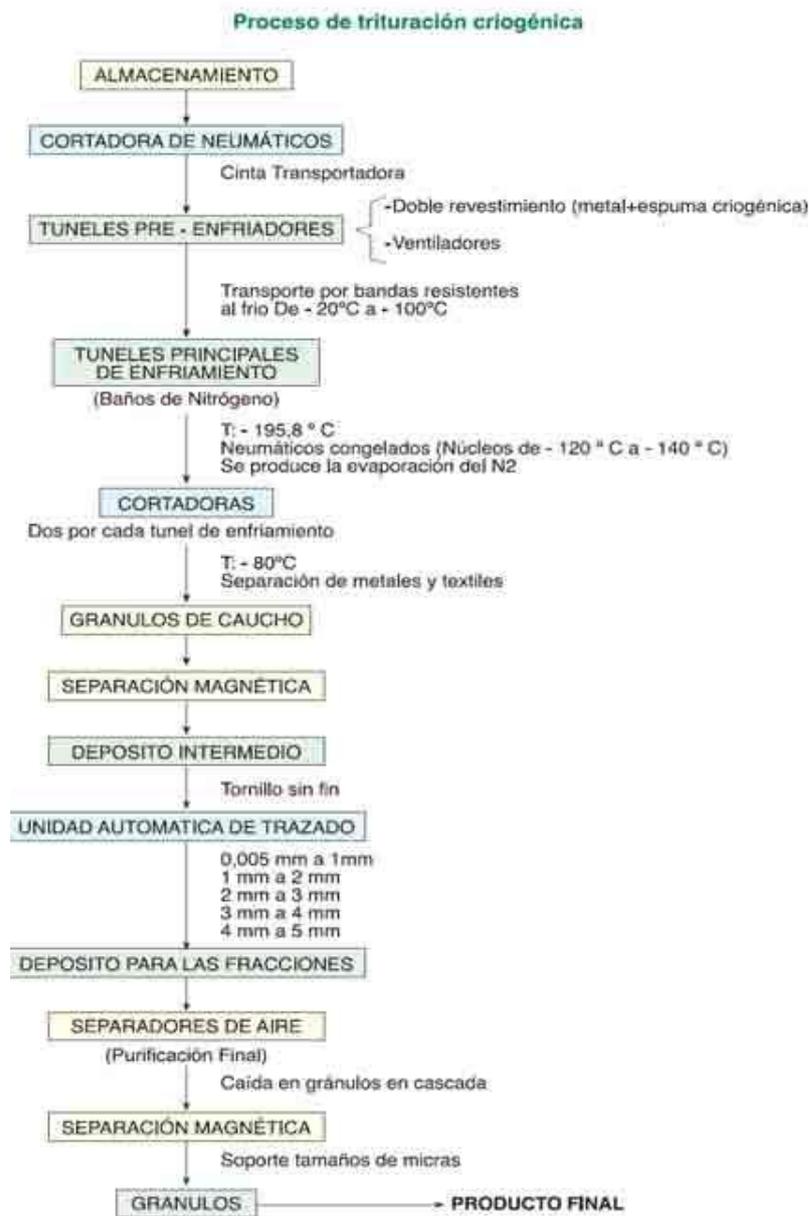


Figura 3.2 Proceso de trituración criogénica¹⁷

¹⁷ Fuente: Delarze Díaz, Paulina Alejandra. 2008. Reciclaje de neumáticos y aplicación en la construcción. Universidad de Valdivia, Chile.

3.3 Termólisis

Se trata de un sistema en el que se somete a los materiales de residuos de neumáticos a un calentamiento en un medio en el que no existe oxígeno. Las altas temperaturas y la ausencia de oxígeno tienen el efecto de destruir los enlaces químicos.

Los neumáticos se trituran a un tamaño de entre 80 mm y 150 mm. 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. Se obtienen metales, carbones e hidrocarburos gaseosos, que pueden volver a las cadenas industriales, ya sea de producción de neumáticos u a otras actividades. A continuación se muestra como es el proceso, en la Figura 3.3.

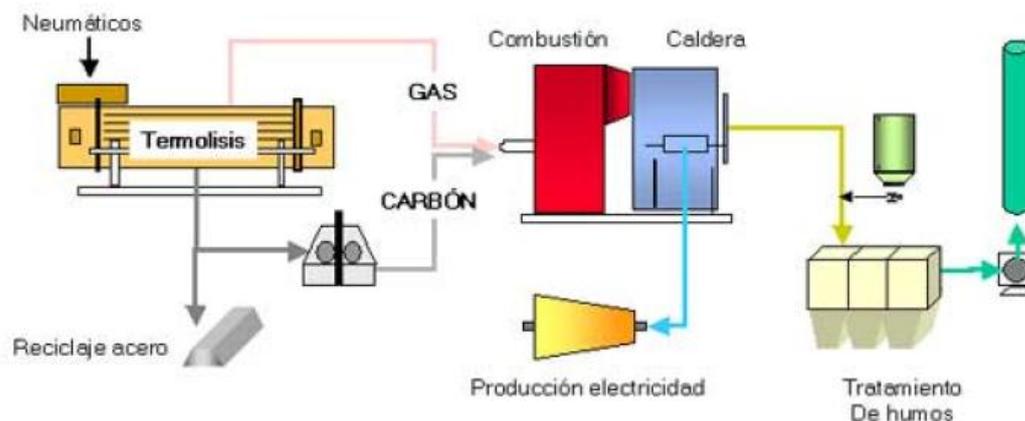


Figura 3.3 Proceso de Termólisis.¹⁸

Hay un gran aprovechamiento energético en este método. El gas y el carbón se valorizan como combustible tradicionales. La energía de combustión se recupera para la producción de vapor y/o electricidad. Por otro lado, también está presente un fuerte control medioambiental, el sistema de neutralización, filtración y control en continuo de las emisiones garantiza un total cumplimiento de la normativa medioambiental.

Para tener referencia del reciclaje por termólisis, una planta de tamaño estándar puede consumir, 3,000 kg/h de NFU, esto significa 24,000 toneladas al año. Los resultados de estos insumos se presentan a continuación en la

¹⁸ Fuente: Plan Territorial Especial de Ordenación de Residuos de Tenerife. 2008 Neumáticos en Desuso. Tenerife, España.

figura 3.4, se obtienen 1,290 kg/h de producto carbonado que luego resultan 480kg/h de acero y 810 kg/h de carbón. Por otro lado, se obtienen 1,710 kg/h de gas. El gas, junto con el carbón resultante se combina para producir electricidad. La producción de una planta de este tamaño es de 5,100 kWh. A continuación, se muestra el proceso de manera integral.

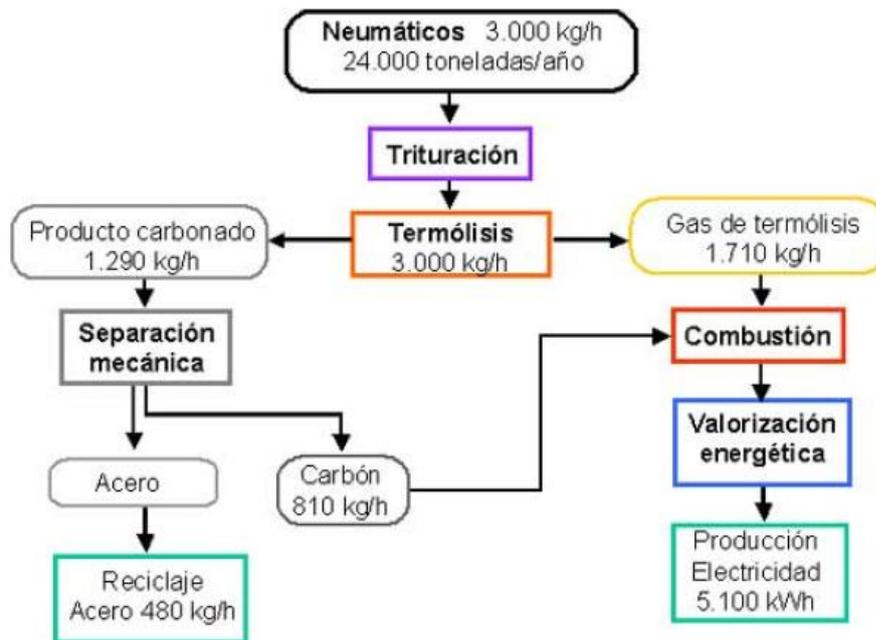


Figura 3.4 Rendimientos del proceso de termólisis.¹⁹

3.4 Pirólisis

El sistema de pirólisis involucra la degradación térmica en ausencia de oxígeno. El beneficio de esta aplicación es la conversión de los neumáticos en desuso en producto agregados como oleofinas, cera y el hollín.

Este es un método de reciclaje, y no solo reduce el volumen de los neumáticos, sino que también genera otros compuestos químicos, para combustible.

El proceso general de la pirólisis consiste en el sometimiento de los neumáticos usados a un proceso de trituración, donde posteriormente se introducen en hornos con temperaturas que van desde los 600 a 800 °C, todo esto en ausencia de oxígeno.

¹⁹ Fuente: Plan Territorial Especial de Ordenación de Residuos de Tenerife. 2008 Neumáticos en Desuso. Tenerife, España.

Los productos primarios que se obtienen son los gases pirolíticos y los aceites, entre otros. Los aceites se trasladan a procesos adicionales para la fabricación de productos secundarios.

Utilizando un horno para el aceite y las cenizas libres se convierten en carbón negro de alta calidad, y como una alternativa, se pueden separar los aceites por medio de la destilación. El producto final, que se obtiene con esta tecnología, es el denominado negro de humo. Este producto es esencial para la fabricación de neumáticos nuevos, por lo que su mercado está asegurado siempre que se garantice la pureza del producto obtenido.

Aún está poco extendido, debido a problemas de separación de compuestos carbonados que ya están siendo superados. Según los datos de la empresa Chemysis SA., este procedimiento (fabrica piloto) está operativo en Taiwán desde 2002 con cuatro líneas de pirólisis que permiten reciclar 9000 toneladas / año. En la actualidad el procedimiento ha sido mejorado y es capaz de tratar 28,000 toneladas de neumáticos usados/año, a través de una sola línea. A continuación se ve un esquema con una planta de pirólisis de neumáticos.

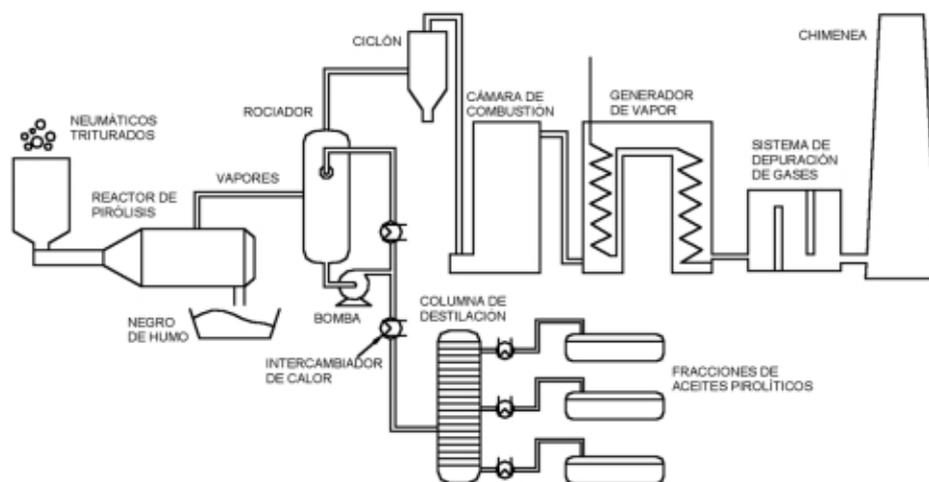


Figura 3.5 Proceso de pirólisis ²⁰

²⁰ Fuente: Bedía Motamoros, J.; Rodríguez Mirasol, J.; Cordero. 2004. *Reciclado y reutilización de neumáticos usados (y II), Alternativas de recuperación de energía. Departamento de Ingeniería química. ETSI Industriales de Málaga. Málaga, España.*

3.5 Incineración

Es el proceso por el que se produce la combustión de los materiales orgánicos del neumático a altas temperaturas en hornos con materiales refractarios de alta calidad.

Es un proceso costoso y además presenta el inconveniente de la diferente velocidad de combustión de los diferentes componentes y la necesidad de depuración de los residuos por lo que no resulta fácil de controlar y además es contaminante. Igualmente se exige para su aceptación por la normativa vigente un alto grado de depuración de los gases que se generan en el proceso. Genera calor que puede ser usado como energía, ya que se trata de un proceso exotérmico. Conviene recordar, que un neumático tiene un poder calorífico promedio de 7.440 Kcal/Kg y sus posibilidades de aprovechamiento son grandes, pudiéndose utilizar en gran cantidad de instalaciones siempre que cumpla con las exigencias técnicas y de autorizaciones administrativas que marca la normativa en vigor.

Con este método, los productos contaminantes que se producen en la combustión son muy perjudiciales para la salud humana, los que sin embargo, con la aplicación de tecnología pueden ser aprovechados sin que produzcan daños a la salud humana. Además el hollín contiene cantidades importantes de hidrocarburos aromáticos poli cíclicos. El zinc, en concreto, es particularmente tóxico para la fauna acuática. También tiene el peligro de que muchos de estos compuestos sean solubles en el agua, por lo que pasan a la cadena trófica y de ahí a los seres humanos.

En la próxima figura (Figura 3.6) se muestra el proceso de incineración de neumáticos en desuso. En este caso la recuperación de energía es parcial. Existe también la incineración con recupero de energía, que se detallará en el próximo inciso.

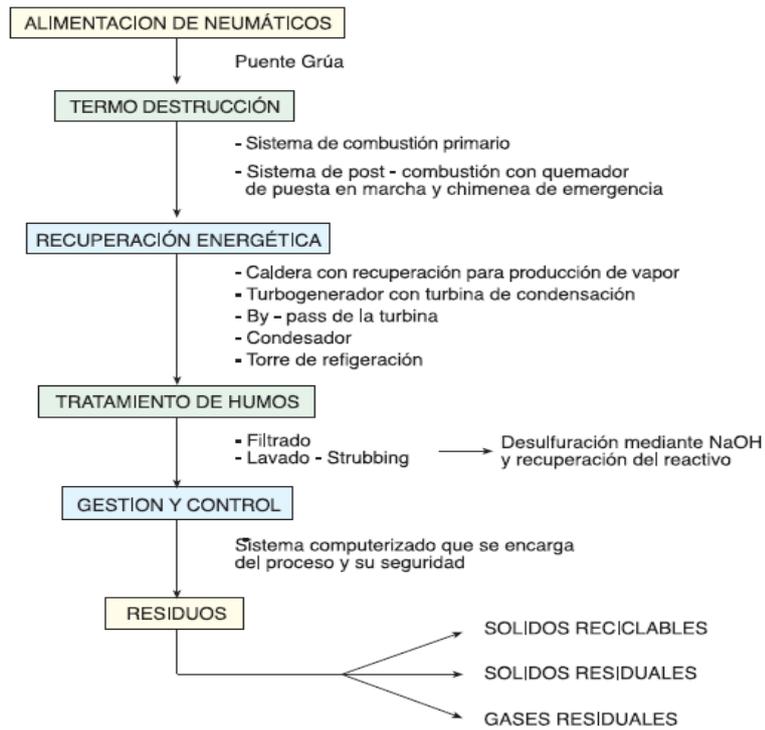


Figura 3.6 Proceso de Incineración²¹

²¹ Fuente: Hervás Ramirez, Lorenzo. 2008. Los neumáticos fuera de uso. Capítulo IX. Andalucía, España.

3.6 Neumáticos convertidos en energía eléctrica

Los residuos de neumáticos una vez preparados, puede convertirse también en energía eléctrica utilizable en la propia planta de reciclaje o conducirse a otras instalaciones distribuidoras. Los residuos se introducen en una caldera donde se realiza su combustión. El calor liberado provoca que el agua existente en la caldera se convierta en vapor de alta temperatura y alta presión que se conduce hasta una turbina. Al expandirse mueve la turbina y el generador acoplado a ella produce la electricidad, que tendrá que ser transformada posteriormente para su uso directo.

Combustible	Poder calorífico (Kcal/Kg)
Estiércol de vacuno	4.054
Paja de trigo	4.657
Madera seca	4.793
Corteza de pino	5.204
Carbón	7.400
Neumáticos (promedio)	8.300
Petróleo	10.409

Tabla 3.7 Poderes caloríficos de diferentes combustibles.²²

Como combustible, los neumáticos desechados son una excelente fuente de energía, ya que presentan un valor calorífico entre 6,500 a 9,000 Kcal/Kg, dependiendo de la composición, y si el metal ha sido removido. A modo de comparación el carbón presenta un valor calorífico de 7,400 Kcal/Kg. En la tabla anterior (Tabla 3.7) se realiza la comparación de poderes caloríficos de diversos materiales.

La principal ventaja de la utilización de neumáticos como material energético es la reducción de costos que resulta de su uso como fuente de energía. Para una planta cementera, este ahorro es importante, ya que entre un 35 y 45% del costo está relacionado con energía. Por otro lado, el acero de los neumáticos es fundido durante la quema y pasa a formar parte del clinker mejorando las propiedades del aire, incrementando así los beneficios de la utilización de NFU como combustible.

²² Fuente: Marks, Manual del Ingeniero Mecánico, Mc Graw Hill, 1989

Los neumáticos usados como combustible, ya sean completos o previamente trozados, tienen un contenido de humedad insignificante, generalmente de menos del 2%. Los neumáticos contienen menos sulfuros que otros combustibles, elementos que en la combustión son oxidados y liberados al aire como agente contaminador.

El impacto de las plantas cementeras modernas sobre la calidad del aire es sustancialmente menor que hace una década. Esto sigue siendo cierto cuando se usan combustibles alternativos. El uso de combustibles alternativos preserva combustibles primarios. Análisis del ciclo de vida han demostrado que una utilización selectiva de combustibles derivados de residuos reduce las emisiones de CO₂ a la atmósfera. Con los sistemas de control ambiental apropiados, la quema de neumáticos, comparada con la de combustibles tradicionales como el carbón, produce similares emisiones de metales tales como Zinc, Cadmio, Plomo, Níquel y Cromo. La valorización energética de los neumáticos desechados en el proceso cementero ofrece ventajas significativas sobre otros métodos de utilización o eliminación, pues tanto el contenido energético como el material es totalmente aprovechado en el proceso de combustión de clinker.

Desde mediados de los 80, los neumáticos desechados son utilizados cada vez en mayor medida en los hornos de cemento como combustibles alternativos, con las siguientes ventajas de utilización:

- Se preservan recursos energéticos fósiles, no renovables, a la vez que se recupera el valor energético (y material) de los residuos o subproductos.
- Se reducen los impactos sobre el aire, el agua y el suelo (los que producirían su vertido o si incineración no controlado)
- En la incineración de residuos en el horno de cemento no se produce residuo como cenizas o escorias que requieran ser depositados o vertidos, ya que estas son absorbidas en el proceso y capturadas por las materias primas. Todos los elementos que ingresan al horno están presentes en el producto.
- Costos menores de gestión (se usan instalaciones existentes, evitándose inversiones en nuevas; y los costos de operación son menores)
- Se reducen las emisiones de CO₂ disminuyendo las emisiones de efecto invernadero.

3.7 Regeneración

Este método se realiza con cubiertas de estructura textil, se recupera con gran calidad la goma de las cubiertas de estructura de alma de acero de las llantas. Este proceso se basa en romper las cadenas que forman el material para obtener una materia prima que, aunque dista mucho de la original, podría volver a vulcanizarse y fabricar de nuevo el caucho. La regeneración se puede realizar por medio de dos fases:

- I. El neumático se tritura o muele con un cilindro estriado o con otro sistema que realice una reducción de 1 a 2 mm. Se mezcla con aceites minerales, desvulcanizadores, entre otros elementos. Posteriormente, se introduce a una autoclave para desvulcanizarla, y como producto final se obtiene el caucho reciclado, que tiene como características ser un material blando y pegajoso equivalente al caucho virgen.
- II. El caucho regenerado en teoría podría ser utilizado en la fabricación de neumáticos, pero cada día las mezclas utilizadas en la fabricación de los neumáticos, a los que se exigen altísimas prestaciones, tienen que cumplir con unas especificaciones tan estrictas que hacen difícil, por el momento, la utilización generalizada de caucho regenerado. En cualquier caso puede aplicarse a la fabricación de otros productos de caucho, o cubiertas macizas para otro tipo de vehículos.

En el proceso de regeneración del caucho, el reciclado se mezcla con una porción de caucho virgen (5 al 10%), azufre y otros productos en calderas de vapor de agua. Aquí es donde se produce la vulcanización, en esta fase de la regeneración del material que se obtiene es en forma de placas que se transforman en alfombrillas para automóvil, suelas, entre muchas otras aplicaciones.

3.8 Reutilización

Las tres únicas posibilidades de reutilización de neumáticos usados, como tales neumáticos sin variar su estructura, son: Recauchado, Reesculturado y Utilización directa.

3.8.1 Recauchado

Consiste en sustituir la banda de rodadura desgastada por una nueva, lo que permite que se prolongue la duración del resto de la cubierta por un período

similar a la duración de una cubierta nueva y con prácticamente las mismas prestaciones.

Entre las ventajas del recauchado se pueden citar:

1. Favorece al medio ambiente, debido a que se controla la eliminación de los neumáticos.
2. Se evita el desperdicio inútil de 4 a 5 Kg de goma que se desecharía al producirse el desgaste de la banda de rodadura que viene a ser de 1,5 Kg de goma.
3. El bajo consumo de combustible que se precisa para la producción de un neumático renovado, 5,5 litros en contraste con los 35 litros necesarios para la fabricación nueva.

3.8.2 Reesculturado

Otro proceso a destacar, en los neumáticos para vehículos industriales es el reesculturado que permite aprovechar al máximo el potencial del neumático, tanto del nuevo como del recauchutado, a la vez que se restituye la seguridad, y se disminuye el consumo de combustible.

3.8.3 Utilización directa de los neumáticos usados

La utilización directa, sólo consume una parte mínima de los neumáticos usados y nunca podrían considerarse como una solución del problema global:

Múltiples son los ejemplos en los cuales pueden utilizarse, bien los neumáticos totalmente enteros o sus flancos y banda de rodadura: parques infantiles, defensa de muelles o embarcaciones, rompeolas, etc., o más directamente relacionado con los neumáticos, barreras anti-ruídos, taludes de carretera, estabilización de zonas anegadas, pistas de carreras, o utilidades agrícolas para retener el agua, controlar la erosión, etc.

Es posible encontrar neumáticos enteros en pistas de alta velocidad y cartódromos así como en atracadero de botes y sitios de descarga, en donde son utilizados como barreras de contención y amortiguadores respectivamente.

En la próxima figura (Figura 3.8) se demuestra como un neumático puede alargar su vida útil a un período mucho más extenso, incrementándose a más del doble de su duración original.

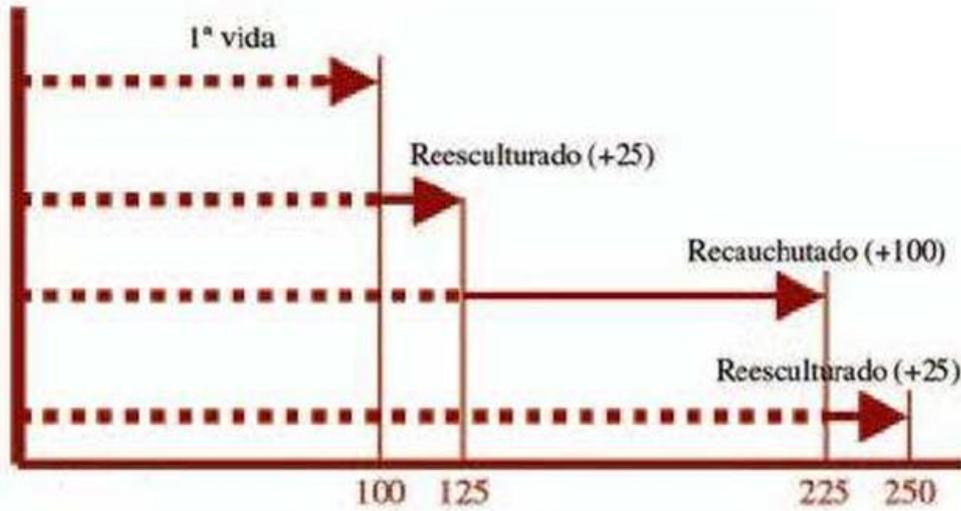


Figura 3.8 La reutilización alarga la vida útil del neumático²³

²³ Fuente: Castro, Guillermo. 2007. *Reutilización, Reciclado y Disposición final de neumáticos*. Departamento de Ingeniería Mecánica FIUBA. Buenos Aires, Argentina.

4. DEFINICION DEL PROBLEMA

4.1 Generación de neumáticos en Argentina

Luego de analizar el tema desde una visión más integral, lo que se pretende ahora es analizar la Argentina como el escenario para las posibles alternativas. Mucho se ha hablado acerca de la situación de países extranjeros pero es hora de analizar en profundidad nuestro país. Con el fin de comenzar a cuantificar el problema en Argentina, a continuación se detalla como es el contexto en relación a los neumáticos.

Los neumáticos usados se separan en dos grandes grupos. En primer lugar, existe un stock inmenso de neumáticos en desuso y por otro lado existe una generación constante de neumáticos usados. El informe se centrará en estos últimos ya que son los que se utilizarán para las posibles alternativas dado que estos se continuarán produciendo a largo plazo a diferencia del stock que se acabará en algún futuro. El factor importante de esta decisión es que la alternativa propuesta debe ser sustentable en el tiempo.

Según las estimaciones del INTI, se desechan actualmente alrededor de 110.000 toneladas de neumáticos, lo cual equivaldría a casi 16 millones de neumáticos anuales.

A continuación se hace un estudio detallado de la producción de los neumáticos en los últimos años y una proyección para años venideros. La información de la generación de neumáticos en años anteriores se obtiene de la Cámara de la Industria del Neumático (CIN). Para un mejor entendimiento de la lógica de los cálculos, a continuación, se explican los conceptos utilizados.

El Consumo Aparente de un producto dado es una estimación razonablemente satisfactoria del volumen de su mercado.

Se basa en una expresión aritmética simple, que consiste en calcular la oferta total del país (producción más importaciones) neta de sus exportaciones. El diferencial resultante expresa así el volumen de producto canalizado hacia el mercado local, un concepto que bien puede asimilarse al de "ventas". La determinación del Consumo Aparente se realizó sobre la base de la fórmula general:

Los valores de "Producción de Neumáticos" son elaborados mensualmente por esta Cámara y resultan de consolidar los datos que suministran las empresas asociadas con plantas de producción radicadas en Argentina. Dicha información es suministrada con fines estadísticos únicamente al INDEC. Los datos que permitieron calcular las "Importaciones y Exportaciones de Neumáticos" tienen su fuente en el INDEC.

Los neumáticos en desuso tienen diversos orígenes. La Cámara de la Industria del Neumático los separa en tres grandes grupos: Neumáticos para automóviles y camionetas, neumáticos para camiones y por último, neumáticos agrícolas, industriales y otros.

Neumáticos para AUTOMÓVILES y CAMIONETAS (Unidades)				
Año	Producción	Exportación	Importación	Consumo
1990	3.346.960	1.071.332	76.511	2.352.139
1991	3.340.364	472.433	509.073	3.377.004
1992	3.844.397	394.244	1.075.973	4.526.126
1993	4.473.120	609.469	906.134	4.769.785
1994	5.411.660	1.342.405	1.011.678	5.080.933
1995	5.286.500	2.101.073	712.208	3.897.635
1996	5.672.072	1.949.313	1.178.707	4.901.466
1997	6.061.791	2.119.158	2.082.364	6.024.997
1998	6.991.563	3.176.106	2.260.626	6.076.083
1999	6.644.837	3.739.394	2.532.102	5.437.545
2000	6.904.375	4.173.490	3.484.178	6.215.063
2001	6.431.033	3.979.535	2.569.054	5.020.552
2002	7.481.124	5.212.283	1.252.081	3.520.922
2003	7.684.745	4.363.620	2.183.581	5.504.706
2004	8.509.515	4.713.611	2.873.524	5.783.530
2005	11.274.367	6.111.401	2.997.374	8.160.340
2006	11.503.549	6.526.152	3.332.180	8.309.577
2007	11.493.291	6.122.648	4.188.830	9.559.473
2008	10.525.459	5.568.027	4.821.525	9.778.957

Tabla 4.1 Generación de neumáticos para automóviles

Neumáticos para CAMIONES (Unidades)				
Año	Producción	Exportación	Importación	Consumo
1990	1.325.546	172.033	52.682	1.206.195
1991	1.227.262	105.347	296.141	1.418.056
1992	1.520.103	96.522	438.675	1.862.256
1993	1.564.904	153.723	306.126	1.717.307
1994	1.670.874	242.400	411.671	1.840.145

1995	1.653.728	329.645	44.370	1.368.453
1996	1.625.318	359.003	604.999	1.871.314
1997	2.076.610	405.965	812.868	2.483.513
1998	2.198.243	501.491	938.521	2.635.273
1999	1.440.183	470.770	959.760	1.929.173
2000	1.614.999	599.474	974.424	1.989.949
2001	1.480.163	555.845	624.522	1.548.840
2002	1.507.439	736.870	221.656	992.225
2003	1.893.726	716.297	703.041	1.880.470
2004	1.954.360	634.295	747.910	2.067.975
2005	591.263	269.850	810.199	1.131.612
2006	639.025	303.574	764.773	1.100.224
2007	585.892	289.180	945.323	1.242.035
2008	437.087	211.963	1.002.750	1.227.874

Tabla 4.2 Generación de neumáticos para camiones

Neumáticos AGRÍCOLAS, INDUSTRIALES y OTROS (Unidades)				
Columna1	Producción	Exportación	Importación	Consumo
1990	282.489	14.798	11.648	279.339
1991	171.106	2.908	214.265	382.463
1992	262.658	4.480	192.597	450.775
1993	204.727	7.242	162.288	359.773
1994	246.480	11.352	195.650	430.778
1995	233.961	16.354	114.529	332.136
1996	295.643	27.954	205.270	472.959
1997	393.788	95.717	308.317	606.388
1998	325.867	94.448	287.780	519.199
1999	165.180	51.752	188980	302.408
2000	116.076	34.991	292.028	373.113
2001	125.702	39.506	266.094	352.290
2002	104.457	33.458	81.661	152.660
2003	179.731	27.891	224.414	376.254
2004	185.748	33.863	188.684	340.569
2005	168.271	59.856	314.873	423.288
2006	144.292	27.672	159.969	276.589
2007	132.317	58.585	331.003	404.735
2008	130.758	70.454	380.008	440.312

Tabla 4.3 Generación de neumáticos para usos industriales

A partir de estos tres grupos de determina el número total de neumáticos generados por año.

TOTAL NEUMATICOS				
Año	Producción	Exportación	Importación	Consumo
1990	4.954.995	1.258.163	140.841	3.837.673
1991	4.738.732	580.688	1.019.479	5.177.523
1992	5.627.158	495.246	1.707.245	6.839.157
1993	6.242.751	770.434	1.374.548	6.846.865
1994	7.329.014	1.596.157	1.618.999	7.351.856
1995	7.174.189	2.447.072	871.107	5.598.224
1996	7.593.033	2.336.270	1.988.976	7.245.739
1997	8.532.189	2.620.840	3.203.549	9.114.898
1998	9.515.673	3.772.045	3.486.927	9.230.555
1999	8.250.200	4.261.916	3.680.842	7.669.126
2000	8.635.450	4.807.955	4.750.630	8.578.125
2001	8.036.898	4.574.886	3.459.670	6.921.682
2002	9.093.020	5.982.611	1.555.398	4.665.807
2003	9.758.202	5.107.808	3.111.036	7.761.430
2004	10.649.623	5.381.769	3.810.118	9.077.972
2005	12.033.901	6.441.107	4.122.446	9.715.240
2006	12.286.866	6.857.398	4.256.922	9.686.390
2007	12.211.500	6.470.413	5.465.156	11.206.243
2008	11.093.304	5.850.444	6.204.283	11.447.143

Tabla 4.4 Generación total de neumáticos

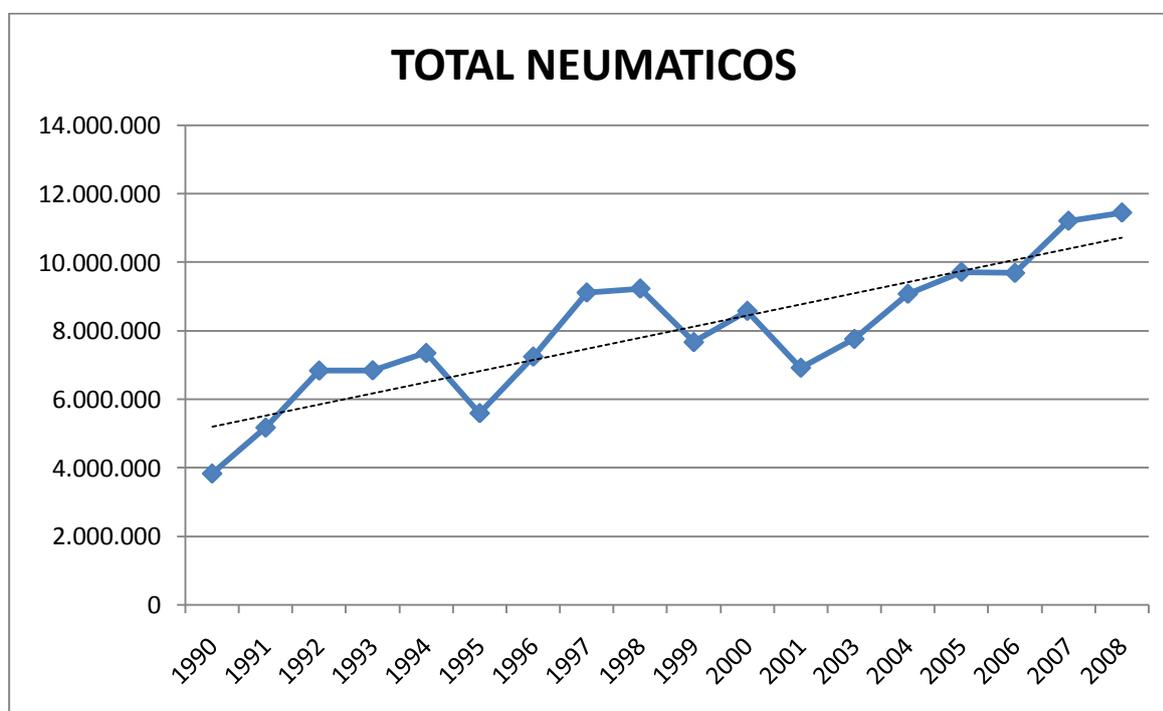


Figura 4.5 NFU generados por año

Cabe aclarar que se quitó el valor del año 2002 ya que era un punto disruptivo para el análisis, ya que la generación se vio fuertemente afectada por la crisis que se estaba desarrollando en ese período.

A partir de estos números y gráficos, es evidente que la generación está en constante aumento y se puede inferir que continuara por este camino en el futuro. Con estos datos, se obtuvo la tendencia de generación y se hizo una proyección para los próximos años (hasta el año 2027).

TOTAL NEUMATICOS		Proyección	
Año	Consumo	Año	Consumo
1990	3.837.673	2009	10.566.238
1991	5.177.523	2010	10.844.064
1992	6.839.157	2011	11.121.889
1993	6.846.865	2012	11.399.715
1994	7.351.856	2013	11.677.540
1995	5.598.224	2014	11.955.366
1996	7.245.739	2015	12.233.192
1997	9.114.898	2016	12.511.017
1998	9.230.555	2017	12.788.843
1999	7.669.126	2018	13.066.669
2000	8.578.125	2019	13.344.494
2001	6.921.682	2020	13.622.320
2002	4.665.807	2021	13.900.146
2003	7.761.430	2022	14.177.971
2004	9.077.972	2023	14.455.797
2005	9.715.240	2024	14.733.623
2006	9.686.390	2025	15.011.448
2007	11.206.243	2026	15.289.274
2008	11.447.143	2027	15.567.100

Tabla 4.6 Proyección de NFU hasta el año 2027

La tendencia se obtuvo a partir del Excel, y en la Figura 4.6 se esquematiza la generación para los años futuros y la ecuación de la línea de tendencia utilizada. En la figura se muestra la cantidad de neumáticos producidos a lo largo del tiempo.

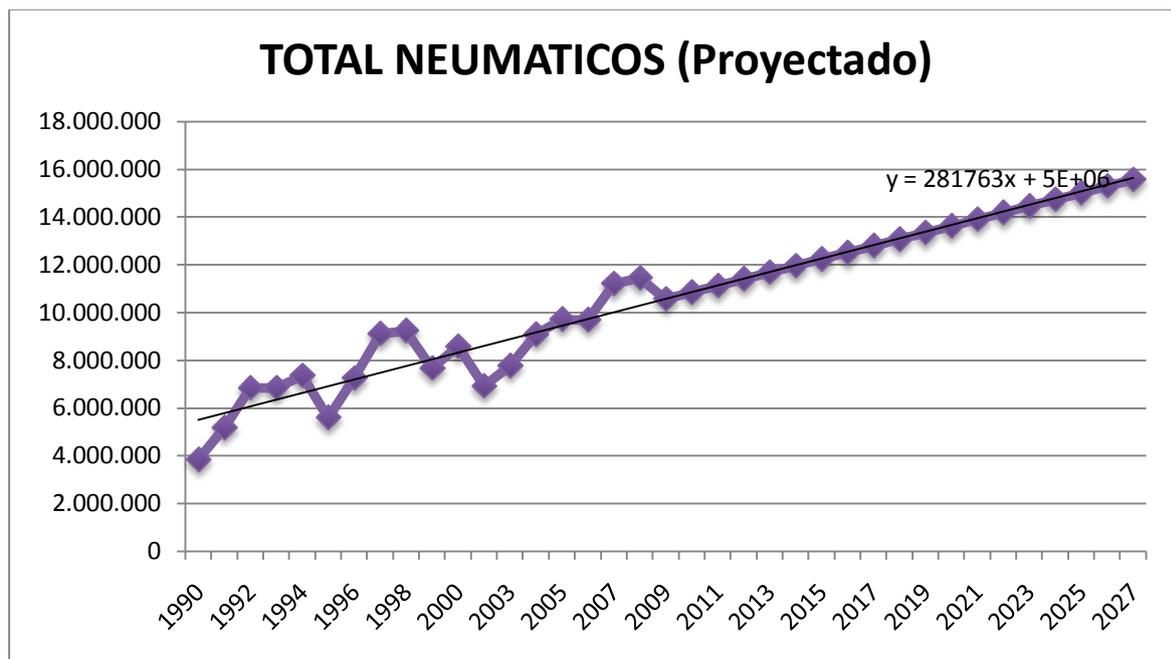


Figura 4.7 Proyección de NFU generados en el futuro

Estos datos son preocupantes si no se toma ninguna medida al respecto. La necesidad de una alternativa es cada día más importante. Por otro lado, se puede decir que si este residuo es catalogado como materia prima para algún proceso es un punto a favor ya que la generación es creciente y difícilmente se detenga.

4.2 Gestión de neumáticos en desuso en Argentina

4.2.1 Primer proyecto argentino en reciclado de neumáticos ²⁴

El INTI coordina la comisión multisectorial que impulsa un llamado a licitación pública del CEAMSE para instalar una planta de reciclado

La Comisión Permanente de Trabajo para el Reciclado de Neumáticos Usados, coordinada por el INTI desde 2003, señala como objetivos "la evaluación y desarrollo de las diversas propuestas logísticas y tecnológicas de reutilización de neumáticos al fin de su vida útil, y la promoción de la Legislación Ambiental específica." En esta dirección, la Comisión articuló a los distintos actores públicos y privados vinculados al tema para proponer un modelo de gestión y de legislación consensuado. En este grupo de trabajo participan el Programa

²⁴ Fuente: Reutilización, reciclado y disposición final de neumáticos, Ing., Guillermo Castro, Diciembre 2007

de Reciclado Industrial y de Medio Ambiente del INTI, el Centro INTI-Caucho, la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SayDS), la Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado (CEAMSE), la Asociación de Fabricantes de Cemento Pórtland (AFCP), el Instituto del Cemento Portland Argentino (ICPA), la Federación Argentina del Neumático (FAN), la Asociación Reconstructores Argentinos de Neumáticos (ARAN), la Federación Argentina de la Industria del Caucho (FAIC), la Cámara Argentina de Reconstructores de Neumáticos (CAR), la Cámara de la Industria del Neumático (CIN) y las empresas Bridgestone/Firestone Argentina S.A., Fate S.A., Neumáticos Goodyear S.R.L., Michelin Argentina S.A. y Pirelli Neumáticos S.A. Asimismo brindan su apoyo las áreas ambientales de los Gobiernos de la Ciudad y de la Provincia de Buenos Aires.

Dicha Comisión se dedicó a profundizar, actualizar y evaluar el estado de situación de la disposición final de neumáticos usados en el mundo; las restricciones internacionales que los países fueron aplicando al tránsito e ingreso de neumáticos usados en sus territorios para evitar el aumento de sus pasivos ambientales; la situación interna de Argentina respecto al tema; el tratamiento de los neumáticos recauchutados y usados en las negociaciones internacionales de Argentina y el Mercosur; proyectos de reciclado de neumáticos; la evaluación de disponibilidad por región y nacional; proyectos de utilización como aporte energético y la factibilidad técnicoeconómica de una planta modular de reciclado de neumáticos usados, definiendo tamaños, inversiones y tecnologías.

La Comisión realizó a su vez estudios logísticos, seleccionando una propuesta operativa para el área metropolitana. El primer resultado concreto de este trabajo es la licitación pública que la CEAMSE desarrolla en estos días. En este proceso, el INTI se encargó de reunir a los actores involucrados en el proyecto y de gestionar ante el CEAMSE, en representación de todo el grupo de trabajo, la participación y concreción del actual llamado a licitación como ejemplo y modelo testigo para trasladar a otras regiones del país. Asimismo colaboró en la redacción de los pliegos de la licitación y brindó asesoramiento en las áreas técnicas de la misma. Junto con el CEAMSE, el INTI será el encargado de revisar la aprobación de las licitaciones a adjudicar como coevaluador técnico y realizará además auditorías técnicas a la planta recicladora.

Por su parte, el Directorio del CEAMSE aprobó los pliegos de la licitación para instalar la planta recicladora, la que se concretará con aportes privados. A la fecha, el INTI tiene registradas unas 15 empresas privadas nacionales y extranjeras con contactos en el país interesadas en esta licitación.

De la planta construida a partir de este proyecto se podrán obtener distintos productos, para diversas aplicaciones:

- Producto proveniente del neumático en una primera etapa de trozado, sin separación de tela y metal. De esta manera puede servir, por ejemplo, como combustible para cualquier tipo de caldera u horno que esté adaptado para quemar residuos sólidos sin contaminar el medio ambiente.

- Separando las partes del neumático se obtienen metal y residuos textiles reciclables, además de polvo de goma de diferentes granulometrías con el que se pueden obtener productos varios, como por ejemplo: alfombras para piso, lomos de burro, amortiguación en canchas de césped sintético (éstas utilizan casi 100 Tn. por cada una), plásticos cargados, picaderos para caballos de carrera (se comprobó que con polvo de goma los caballos tienen menos riesgo de conjuntivitis), pisos de goma y asfaltos (contribuye fundamentalmente a la disminución de ruido y permite aumentar su durabilidad), entre otros.

Actualmente existen empresas con equipos portátiles que realizan el trozado primario en el lugar de depósito, lo que facilita su traslado hasta el lugar de disposición final, permitiendo de esta forma transportar mayor cantidad de neumáticos por camión. Esta modalidad resulta una buena alternativa para evitar la instalación de plantas de tratamiento fijas donde no se justifique la inversión y para llegar a zonas poco pobladas del interior del país.

Primera planta en el país: un logro colectivo

El modelo de planta procesadora de neumáticos fuera de uso para la región metropolitana fue diseñado según las bases técnicas definidas por el Centro INTI-Caucho junto con la CEAMSE, teniendo en cuenta el aseguramiento de la demanda del material reciclado.

Esta iniciativa arranca en 2007, cuando se firma un convenio entre la CEAMSE y la empresa REGOMAX a partir del cual la Coordinación cede un terreno de 2 hectáreas por 20 años y deriva la entrega de los neumáticos fuera de uso a la planta de reciclado. Por su parte, la empresa REGOMAX construyó la planta y realizó la inversión en bienes de capital por dos millones de dólares aproximadamente. Una vez alcanzado el punto de equilibrio del proceso, la empresa pagará un canon anual a la CEAMSE que será destinado a las Plantas Sociales de Reciclado (plantas especialmente diseñadas y ubicadas en los distintos Complejos Ambientales donde recolectores informales, organizados en asociaciones civiles, realizan tareas de separación y clasificación, con las maquinarias y el equipamiento de higiene y seguridad

necesario). Por su parte, el Centro INTI-Caucho está a cargo de realizar auditorías técnicas, verificando la correcta aplicación de tecnologías y uso de los materiales.

REGOMAX produce molido de goma a partir de los neumáticos y éste es utilizado para la fabricación de pisos, pavimentos deportivos y canchas sintéticas, entre otras aplicaciones. Además, en el proceso de reciclado se recupera el acero y los restos de la tela de la estructura de los neumáticos para luego ser destinados a nuevos usos. La sustitución de la importación del molido de goma es uno de los objetivos principales del emprendimiento, como también facilitar la exportación de canchas sintéticas y pisos deportivos.

En este marco, el INTI se encuentra trabajando con distintos municipios de la provincia de Buenos Aires para el diseño de la logística de abastecimiento de la planta. Además, como colaboración con los programas de educación ambiental municipales, se ocupa de entregar material informativo de difusión pública. También asesora en la formulación de las regulaciones legales correspondientes. La ventaja para las municipalidades y grandes generadores reside en el hecho de que no deberán pagar por la disposición final de los neumáticos y se les entregará el certificado ambiental correspondiente.

Este modelo de intervención muestra que el trabajo conjunto entre organismos del Estado y actores del sector privado puede resolver con creatividad y gestión adecuada problemas ambientales y de salud pública que hasta el momento no tenían solución.

4.2.2 Asfaltos modificados con caucho de neumáticos. Prueba piloto de la UTN de La Plata ²⁵

Se trata de asfalto ecológico. Según especialistas consultados, dura más y es más económico. En EEUU la reutilización de neumáticos es obligatoria. Intentan aprobar una normativa similar para nuestra ciudad.

Los neumáticos son un serio problema para el medio ambiente. El principal foco de contaminación nace de la quema -la emisión de gases con partículas nocivas dañan el ambiente-, pero también de la acumulación en lugares abiertos -una lenta degradación que acumula insectos y roedores.

²⁵ Fuente: Cuattrocchio A.C.; Botasso H.G.; Rebollo O., Soengas Cecilia J. 2006. *El uso de caucho de cubiertas en mezclas asfálticas*. Universidad Tecnológica Nacional. La Plata, Argentina.

La Universidad Tecnológica Nacional (UTN) Regional La Plata concretó una experiencia piloto que permite reutilizar los neumáticos en el asfalto.

Se trata de un pavimento denominado asfalto ecológico. Y que, según indicó a Hoy Gerardo Botasso, director del Centro de Investigaciones Viales de la UTN - Facultad Regional La Plata, consiste en “triturar los neumáticos para reutilizarlos en las mezclas asfálticas”. Las ventajas son numerosas. “Deshacerse de un residuo muy contaminante y lograr una mezcla resistente en el tiempo”, explicó.

La prueba piloto se realizó en la 19 y 510 (Gonnet), donde la Municipalidad de La Plata inauguró la semana pasada un paso bajo nivel, con ensanche de calzada de 508 a 510 para un acceso más ágil y seguro al hospital San Roque.

Allí, se colocó un cartel que sorprendió a muchos vecinos: “Asfalto ecológico”. “Ahora se realizan evaluaciones semestrales para observar la respuesta de esta mezcla entre caucho y asfalto. En nuestra ciudad -y en el país- es la primera vez que se utiliza”, sostuvo Botasso. Sin embargo, en Estados Unidos, por ejemplo, existen localidades donde es obligatorio reutilizar los neumáticos en el asfalto.

La experiencia exitosa en Estados Unidos, Portugal, Noruega o Dinamarca llevó a los directivos de la UTN a presentar un proyecto de ordenanza en el Concejo Deliberante de La Plata para que se establezca la obligatoriedad de reutilizar los neumáticos en las mezclas asfálticas.

El proceso

El neumático usado es triturado hasta que se consigue un polvo de menos de un milímetro de espesor. Ese polvo, añadido al betún en el momento previo del asfaltado, “crea un asfalto más silencioso, más elástico y más resistente al paso del tiempo, y que filtra mejor el agua”. Actualmente, las calles se hacen ya con un polímero sintético que se añade al betún para darles elasticidad. El caucho de los neumáticos sustituye a este polímero.

Pablo Machado, ambientalista platense, explicó a Hoy que “el reciclaje de neumáticos es una medida imprescindible, ya que el caucho de los neumáticos dura siglos en el medio ambiente y supone un importante problema de contaminación”. Y agregó: “Este tipo de intervenciones son nuevas para nuestro país, pero en Europa o Estados Unidos se practican con éxito hace

varios años. Debemos copiar estas experiencias ya que benefician al medio ambiente”.

Por su parte, Francisco Ucha, titular de la dirección de Obras Públicas de la Municipalidad de La Plata, indicó que “se trata de una nueva experiencia que será evaluada, como ocurre en avenida 51 de 20 a 23, donde se realizó una prueba con la UNLP: “El primer asfalto en Argentina con microtexturado, piedra y asfalto con polímero”.

4.2.3 El Municipio firmó convenio con gomerías para el reciclado de neumáticos²⁶

En la jornada de hoy el Municipio de Ushuaia firmó un convenio con las ocho gomerías de la ciudad para llevar a cabo en forma conjunta la nueva campaña del Programa Ushuaia Recicla, que consiste en reciclar cubiertas que estén en desuso; desde el Programa también se informó que durante los meses de mayo y junio, los días sábado de 11 a 15, los vecinos podrán depositar papel, plástico, vidrio y neumáticos frente a la rotonda del CADIC.

La firma del convenio fue rubricado por el intendente Federico Sciurano y los representantes de los comercios del rubro gomería.

Las gomerías que se suman a esta campaña son: El Águila I; Gomería Chubut; Los Cuatro Hermanos; Mar y Sol; Servicio Integral Perito Moreno; El Gomerito; Gomería 2190 y Neumáticos Río Grande.

En el convenio las partes acuerdan trabajar en conjunto para motivar a la comunidad en cuanto al cuidado del medio ambiente participando de la campaña de reutilización de neumáticos fuera de uso.

La responsable del Programa Ushuaia Recicla, Analía Casal manifestó que buscaron “una nueva alianza entre el Estado municipal y los comercios, en este caso lo hicimos con todos los que generan reparación y recambio de neumáticos”.

“Estamos muy contentos porque les hemos sacado un problema de encima a los comercios que no sabían qué hacer con las cubiertas. La Municipalidad les va a prestar la logística que ellos requieran para el retiro de neumáticos fuera de uso que vayan dejando sus clientes”, agregó Casal.

Para finalizar, Casal señaló que gracias a que “nos han aprobado un préstamo que otorga el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva,

²⁶ Fuente: Argentina Municipal, Sur 54, Tierra del Fuego, Mayo 2011

estamos gestionando la compra de una máquina hidráulica que corta los neumáticos en gajos”; ese material será trasladado a la planta de trituración ubicada en el complejo del Ceamse, en Buenos Aires.

4.3 Reflexión

La creciente generación, en adición con el existente stock de neumáticos en desuso, crea un entorno muy difícil para la Argentina si no se encuentran alternativas eficaces rápidamente. Las soluciones existentes son insuficientes para la gran cantidad de residuo concebido. Eliminar de manera ecológica los NFU es una tarea muy compleja debido a las características propias del residuo y a los costos que tienen aparejados los tratamientos y procesos de transformación. La mayoría de los neumáticos continúan en sumideros y basurales o, siendo incinerados indiscriminadamente, contaminando tierra y aire.

Los entes y organismos existentes, a pesar de los esfuerzos titánicos que realizan, cuentan con poca experiencia y rodaje, lo que hace imposible un tratamiento a una porción considerable de los residuos existentes. La planta del CEAMSE, junto con los proyectos de la UTN en La Plata, al día de hoy, no son suficientes para mantener el medio ambiente libre de este tipo de residuos. Es evidente que hacen falta más alternativas. La idea es encontrar proyectos que cuenten con una significativa rentabilidad con el fin de que inversores y organizaciones consideren poner su dinero en proyectos ecológicos.

Por otro lado, es vital crear una concientización a la gente de que estos residuos son muy nocivos para el medio ambiente, con el fin de que los consumidores actúen en consecuencia lo pueden hacer de diferentes maneras, llevando los neumáticos a lugares afines o brindando colaboración de cualquier tipo, ya sea económica o presencial en proyectos de este rubro. Con ayuda de la gente, del gobierno y de toda organización interesada se puede crear un entorno libre de este tipo de residuo y crear materia prima, insumos y energía para diversos sectores productivos.

5. SOLUCION PROPUESTA

A partir del análisis detallado descripto anteriormente se procederá a presentar una alternativa para el problema itinerante. Diversas son las opciones que se pueden desarrollar para crear un ambiente más limpio, pero a continuación se estudiará tanto técnica como económicamente una opción para poder transformar esta problemática en una oportunidad.

5.1 Visión general del reciclaje

La creciente cantidad de vehículos en las carreteras de naciones industrializadas y en desarrollo, genera millones de neumáticos usados cada año. Aunque el almacenamiento o tiradero de neumáticos no contamina al ambiente a causa de alguna emisión, su resistencia contra la descomposición, su enorme necesidad de espacio para almacenarlos así como el desperdicio de las materias primas si no se usan, y el riesgo de incendio, los convierten en problema ambiental en muchos países.

En especial, en los países industrializados, donde es mayor la densidad de automóviles, el problema de cómo desechar los neumáticos usados se presentó mucho antes y a mayor escala, la industria y los centros de investigación han tratado de desarrollar conceptos para reciclar neumáticos durante los últimos años. Si bien se ha introducido una cantidad apreciable de conceptos y procesos, ninguno está listo para resolver por sí solo el problema.

Dependiendo de las facilidades tecnológicas existentes, de la legislación ambiental y la disponibilidad de presupuestos para las actividades ambientales y para concientización del público se puede lograr un mejor entorno para un medio ambiente más verde. Algunos de estos conceptos han tenido un éxito hasta cierto punto; sin embargo, todavía no se ve un gran avance. Por otro lado, el proceso conlleva, asimismo, el aprovechamiento de materiales obtenidos a partir del reciclaje mediante su comercialización y usos determinados.

En Alemania se recicla una cantidad estimada de un 44% de los neumáticos usados (incluyendo exportaciones de neumáticos usados); un 41% se convierte en energía y un 15% se desechan en rellenos, o se desconoce su paradero.

En Canadá algunas compañías fabrican varios productos a partir del caucho: controladores de velocidad para calles, almohadillas antivibratorias, anillos para

bocas de inspección cloacal o de teléfonos en calles, frenos para ruedas, defensas para muelles, y bases de señales camineras. Otras, ofrecen las tecnologías para separar las cubiertas en sus elementos componentes, modificando y recobrando los materiales, y reintegrando esa producción en la manufactura de repuestos.

En España, del total de residuo recogido durante 2007, 18.035 toneladas de Neumáticos Usados se destinaron a su reutilización directa o a su recauchutado. De los NFU restantes, Signus destinó un 85% a valorización material y un 15% a valorización energética (mayoritariamente en cementeras).

Gran parte de los países del primer mundo tienen iniciativas y marcos legales alineados con el problema presente. El reciclaje y la reutilización con conceptos comunes entre estas naciones y de a poco se van acercando a un entorno limpio, libre de estos nocivos residuos.

La idea principal de este proyecto es incitar a la población a recorrer este camino y poder sacar provecho de estos insumos para desarrollar la producción y activar la economía. El objetivo es enfocar esta problemática como una oportunidad para mejorar distintos aspectos como lo son el medio ambiente, la producción, la economía y el aspecto social creando conciencia social y puestos de trabajo.

5.2 Tratamiento de neumáticos en desuso a partir de pirólisis

Una de las tecnologías alternativas para el manejo de los residuos sólidos urbanos y que ofrece prometedoras ventajas aunque aún se encuentra en proceso de desarrollo tecnológico es la pirólisis. Este es un proceso fisicoquímico complejo que desde hace algunos años se ha investigado en los países desarrollados, particularmente en los Estados Unidos de América como una alternativa para reciclar indirectamente los residuos sólidos urbanos.

La pirólisis se define como un proceso fisicoquímico mediante el cual el material orgánico de los residuos sólidos se descompone por la acción del calor, en una atmósfera deficiente de oxígeno y se transforma en una mezcla líquida de hidrocarburos, gases combustibles, residuos secos de carbón y agua.

La pirólisis tiene como objetivo la disposición sanitaria y ecológica de los residuos sólidos urbanos, disminuyendo su volumen al ser transformados en

materiales sólidos, líquidos y gaseosos con potencial de uso como energético o materias primas para diversos procesos industriales.

5.2.1 Antecedentes²⁷

Un paso importante hacia la aplicación de la pirólisis para la disposición final de los residuos sólidos urbanos fue el estudio realizado por E. R. Kaiser y S. B. Friedman en la Universidad de Nueva York en 1967, denominado “Pruebas exploratorias de laboratorio de la destilación destructiva de residuos orgánicos, y los prospectos para la gasificación completa de la materia orgánica”. Para este estudio se utilizaron muestras homogéneas de materiales orgánicos encontrados en los residuos.

El propósito del mismo fue determinar si los gases producidos podían ser utilizados como una fuente de combustible para generar vapor, lo cual permitiría que el sistema se mantuviera a sí mismo sin la adición de otro combustible. Los resultados fueron positivos, sugiriendo Kaiser y Friedman que el carbón producido por la pirólisis podía ser gasificado a través de la adición de oxígeno convirtiéndose en combustible y esto haría el sistema autosuficiente en energéticos.

Estudios posteriores confirmaron esta hipótesis sustancialmente. Se observó que los productos de la pirólisis de los residuos sólidos orgánicos, gases, líquidos y sólidos, todos estos subproductos del proceso representaban formas potenciales de energía, por lo que una vez iniciado éste podía ser autosuficiente.

La investigación realizada en 1970 por W. S. Sanner, C. Ortuglio y J. G. Walters del Departamento de Minas de los Estados Unidos de América, usando muestras más grandes de residuos sólidos urbanos y residuos industriales, y una planta diseñada para separar los subproductos, llegó a los siguientes resultados:

Se demostró que una tonelada de residuos municipales se puede convertir a 70-192 kg. de residuos sólidos, 2-23 litros de alquitrán, 4-16 litros de aceite ligero, 367-503 litros de licor, 7-15 kg. de sulfato de amonio y 208, 978-511, 344 litros de gas. Se comprobó que los residuos de los desechos municipales tenían un alto valor como combustible y que la energía obtenida del gas

²⁷ Fuente: SEDESOL, Secretaria de Desarrollo Social, México
www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd61/tecnadmvo/cap6.pdf

generado durante la pirólisis de estos era más que suficiente para proveer el calor del proceso.

Posteriormente, J. Mc. Farland y colaboradores. del National Environment Research Center (NERC) y V. L. Hammond de Batelle, Northwest de los E.U.A., investigaron la pirólisis de desechos sólidos municipales a escala piloto. Hammond desarrolló una planta pirolítica de residuos a escala piloto, con cuyos resultados diseñaría una planta para la ciudad de Kennewick con una capacidad de 100-200 toneladas por día utilizando el proceso de gasificación. Como producto de la Experimentación se llegó a la siguiente conclusión:

- a) La conversión de energía del proceso excedió el 80%.
- b) La reducción del volumen y peso de los residuos están en el orden de los de incineración (entre el 70 y 90 %).
- c) Las plantas de gasificación con capacidades mayores a 100 toneladas serían económicamente competitivas con otros métodos de disposición de residuos sólidos.
- d) El gas combustible obtenido en el proceso pudo ser generado en forma limpia para producir vapor o generar electricidad.
- e) La producción de vapor parece ser la aplicación más económica de la energía producida por el proceso de gasificación.

Los resultados de los estudios antes mencionados vislumbraron la utilidad del proceso de la pirólisis para el control de los desechos sólidos municipales y las ventajas con relación a otros procesos.

5.2.2 Ventajas y Desventajas

La aplicación de la pirólisis en el tratamiento de los residuos urbanos es un proceso relativamente nuevo que tiene grandes ventajas con relación a otros: no produce contaminantes y puede ser un proceso económicamente redituable.

La pirólisis es un proceso que ha sido desarrollado y utilizado básicamente en los países desarrollados, principalmente en los Estados Unidos de América, para el tratamiento de desechos industriales, sólidos y líquidos. El tratamiento de los desechos sólidos urbanos usando este proceso en escala comercial, aún se encuentra en la etapa de desarrollo tecnológico.

A continuación se enumeran cuales son las principales ventajas y desventajas de este ambicioso proyecto. La mayoría de los aspectos son favorables,

consecuentemente se decidió hacer un estudio económico de este proyecto para determinar la viabilidad en la Argentina. Lo desfavorable de este tipo de emprendimiento es que es una investigación en desarrollo, lo que significa que los datos son escasos. Por otro lado, las proyecciones son muy alentadoras, haciendo que el proyecto sea muy atractivo y desafiante.

Ventajas

- a) Es una tecnología que permite transformar a muchos procesos industriales lineales en cíclicos.
- b) No genera gases contaminantes como óxidos de nitrógeno y azufre, los que se producen en la incineración, sino que se generan formas residuales de sustancias como nitrógeno gaseoso y azufre sólido. El cloro y el flúor se reducen a cloruros y fluoruros que se pueden precipitar con calcio.
- c) Se maneja todo tipo de material orgánico con alto valor calórico, inclusive mezclas de residuos domésticos e industriales peligrosos.
- d) Los residuos se transforman en una fuente de energía que en una pequeña proporción mantiene el sistema y el resto se puede utilizar en otras tecnologías complementarias.
- e) Los residuos se pueden transformar, en algunos casos, en materia prima del proceso.
- f) Permite tratar los lodos de las plantas de tratamiento y suelos contaminados con hidrocarburos u otros compuestos orgánicos y así ser transformados en ladrillos útiles para el hombre.
- g) Los plásticos, aceites, disolventes orgánicos, compuestos orgánicos clorados, hidrocarburos, materiales contaminados con estos productos, se convierten en hidrocarburos ligeros limpios y carbón.

Desventajas

- Este proceso aparentemente no presenta ninguna desventaja técnica ya que se trata de un sistema cerrado, que por lo tanto no genera emisiones a la atmósfera y en el que básicamente todos los subproductos obtenidos pueden ser reutilizados, ya sea como combustibles o materias primas para diferentes procesos industriales. Sin embargo la inversión requerida para la instalación de una planta pirolítica es alta, aunque este gasto puede recuperarse por la utilización de los subproductos, particularmente como combustibles en la generación de vapor y/o electricidad.

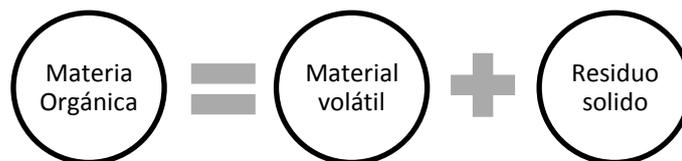
6. RESULTADOS O VERIFICACIÓN EXPERIMENTAL

6.1 Ingeniería

6.1.1 Introducción a la pirólisis

La pirólisis es un proceso endotérmico y ofrece una alternativa medioambientalmente atractiva para la reducción de los neumáticos usados acumulados actualmente en vertederos. El proceso global es consecuencia de la suma de una serie de reacciones paralelas y consecutivas que tienen lugar en el reactor de pirólisis. El proceso comienza con el precalentamiento de los neumáticos triturados, que se alimentan al reactor de pirólisis.

De esta forma, el proceso global de pirólisis se puede describir como:



- La materia orgánica alimentada al reactor de pirólisis se descompone por craqueo térmico produciendo una fracción volátil y un residuo sólido.
- La fracción volátil se enfría y condensa parcialmente, obteniéndose de esta forma dos fracciones: una líquida y otra gaseosa no condensable.

6.1.2 Proceso

Antes de iniciar la descripción del proceso de pirólisis de neumáticos en desuso hay que hacer ciertas consideraciones iniciales.

En primer lugar, para utilizar los neumáticos es necesario que estos sean triturados antes de ingresar al reactor de pirólisis. Como consecuencia hay que tener en cuenta que hay que instalar una trituradora de neumáticos que cumpla con las especificaciones en cuanto al tamaño de trituración de dichos residuos. Esta trituración se hace mecánicamente mediante el empleo de cuchillas rotatorias.

Lo que se propone es trabajar en conjunto con el CEAMSE. El proyecto de reciclaje del CEAMSE es triturar los NFU y utilizarlos en fabricación de pisos, pavimentos deportivos y canchas sintéticas, entre otras aplicaciones. Lo que se propone es utilizar estos desechos triturados para obtener mayor valor agregado ya que mediante este método, no solo se obtienen diversos insumos sino que también se obtiene energía para hacer trabajar el proceso entero, tanto el reactor de pirólisis como la maquinaria que realiza la trituración de los neumáticos. En contrapartida, se le entrega al CEAMSE, gas y energía para su proceso y se les aporta al pueblo y al gobierno una solución sofisticada con generación de dinero y puestos de trabajo.

La idea no es sustituir el reciclaje del CEAMSE sino complementarlo de tal forma que sea de mayor calidad, con menos emisiones, mayores ahorros en energía y esto conlleva mayor rentabilidad. Sería completar la cadena de valor enteramente, desde el neumático entero hasta que es transformado en energía e insumos. Por otro lado, esta alianza también trae aparejadas varias ventajas. Todo lo que concierne a la logística, recolección y almacenamiento es un tema ya resuelto por REGOMAX en colaboración con CEAMSE, lo que simplifica mucho al proyecto en su totalidad para poder abocarse totalmente al desarrollo de esta innovadora tecnología. A continuación se detallará paso por paso como es el proceso de la pirólisis de neumáticos.

Se analizaron dos propuestas de pirólisis. La metodología y tratamiento tienen las mismas bases, es decir, son similares en lo que respecta a su funcionamiento pero se obtienen productos distintos. La primera es la convencional que es más económica y productos de menor calidad. Por otro lado, existe la pirólisis en vacío, se realiza con otras condiciones de temperatura y presión. Los productos obtenidos son de diferente calidad y el proceso en vacío es más veloz. A pesar de que se escogió hacer el proyecto con la pirólisis convencional, se expondrán algunas comparaciones entre los dos procesos.

Previo a cualquier descripción de la planta y sus instalaciones hay que definir un tema importante, cómo se trabajará. Las opciones son en línea o batch. Lo ideal sería un trabajo continuo, sin demoras de set up, o tiempos muertos. La problemática está en que el CEAMSE trabaja en batch, y esta entidad es quien provee a la planta del residuo triturado. Lo que se propone es intentar cambiar la metodología de dicha organización, o como última medida, sería utilizar los neumáticos triturados que tienen en stock para alimentar el reactor y luego, si no es posible modificar su metodología de trabajo, trabajar en batch de la misma manera que CEAMSE.

En el esquema general de la planta se pueden distinguir cinco partes principales que serán detalladas a continuación:

- 1- Trituración de los neumáticos
- 2- Reacción de pirólisis
- 3- Tratamiento de los sólidos
- 4- Tratamiento de los líquidos
- 5- Tratamiento de los gases

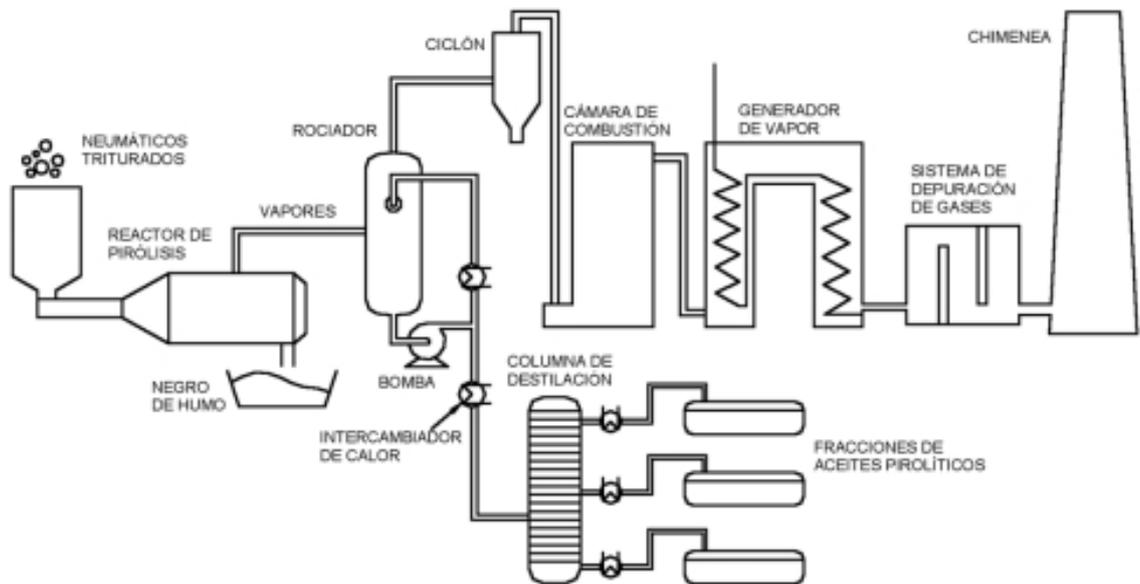


Figura 6.1 Proceso de pirólisis²⁸

1ra Fase: Trituración de neumáticos

Esta primera etapa es llevada a cabo por la planta que rigen REGOMAX y CEAMSE. Estos tienen maquinaria acorde para triturar los neumáticos enteros en distintos tamaños. Para el funcionamiento del equipo no hace falta que estén triturados de manera muy fina, es decir, se necesita la trituración más simple y económica. Los tamaños más comunes que se comercializan son 4-6 mm, 2-4 mm y 0-2 mm. El tamaño suficiente para el proceso posterior es el de 4-6 mm, pudiéndose utilizar los otros tamaños, aunque esto agregaría costos extras innecesarios.

2da Fase: Reacción de pirólisis

²⁸ Fuente: Bedia Motamoros, J.; Rodriguez Mirasol, J.; Cordero. 2004. Reciclado y reutilización de neumáticos usados (y II), Alternativas de recuperación de energía. Departamento de Ingeniería química. ETSI Industriales de Málaga. Málaga, España.

A continuación se detalla el procedimiento seguido en la realización de las reacciones de pirólisis.

Se carga el reactor con las piezas de neumático triturado y se cierra apretando los tornillos mediante una llave dinamométrica. Se conectan los tubos de entrada y salida de gas y se comprueba la estanqueidad del conjunto, luego se introduce el reactor en el horno.

Antes de iniciar el calentamiento se hace pasar N_2 durante 10 minutos para purgar la instalación, de esta manera se aseguran la ausencia del oxígeno. Este método de purga de oxígeno es conocido como “barrido con nitrógeno”. A continuación se fija el caudal de N_2 a mantener durante todo el proceso. Se procede al calentamiento del reactor a una velocidad programada de $15\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ hasta la temperatura de reacción deseada, desde 300 hasta $700\text{ }^\circ\text{C}$, ya que se ha estudiado que en este rango de temperaturas es donde se obtiene la mayor eficiencia en el proceso.

Normalmente se utiliza un tiempo de reacción de 30 minutos. En todas las reacciones se observa, por la aparición de unas nieblas blancas, que los vapores empiezan a salir del reactor a una temperatura entre 160 - $200\text{ }^\circ\text{C}$. Durante todo el proceso los productos de la descomposición del neumático que salen del reactor como gases, van pasando por los dispositivos destinados a condensar los productos líquidos. Los gases no condensables van a parar a un ciclón para luego ser utilizado como combustible para el proceso o para ser tratados.

Transcurrido el tiempo de reacción se desconecta el calentamiento y se enfría el reactor en aire, manteniendo el paso de N_2 por el sistema. Una vez enfriado el reactor se extrae todo el sólido residual y se pesa cuidadosamente.

Asimismo los líquidos condensados se recogen en su totalidad, se los traslada a una cámara de destilación para ser tratados.

Se definen como rendimientos de pirólisis (rendimiento en sólidos, rendimiento en líquidos y rendimiento en gases), los tantos por ciento en peso de sólido, líquido y gas tras la pirólisis. Los rendimientos en sólidos y líquidos se determinan directamente en función de los pesos de dichas fracciones, mientras que el rendimiento en gases se calcula por diferencia a 100. A continuación se muestran los rendimientos tanto en la pirólisis convencional como al vacío (Tabla 6.2)

	Pirólisis convencional	Pirólisis al vacío
Residuo sólido	33%	36 – 39%
Aceites y alquitranes	35%	43 – 47%
Fracción gaseosa	20%	5 – 6%
Fracción metálica	12%	10%
Agua	--	1 – 3%

Tabla 6.2 Proporción de productos²⁹

3ra Fase: Tratamiento de sólidos

El producto sólido resultante de ambas pirólisis es una pieza de iguales dimensiones que el trozo original de neumático, pero fácilmente disgregable en polvo negro y cordones y filamentos de acero. La composición del sólido obtenido depende, como todo en la pirólisis de la temperatura del proceso. En esta instalación la temperatura de reacción, es entre 300 y 700 °C. Para hacer los análisis correspondientes se tomó una temperatura estándar de 500 °C.

En la tabla 6.3 se puede apreciar la composición del sólido obtenido. Cabe aclarar que los porcentajes que allí aparecen son sobre el total del sólido obtenido, no sobre el total del residuo. Con ayuda de la tabla 6.2. donde muestra el porcentaje de residuo sólido sobre el total del residuo y la capacidad de la instalación se puede obtener la fracción exacta (en kg.) de cada uno de estos componentes.

Se muestra la composición para un rango de temperaturas, aunque es visible que para el rango de temperaturas correspondientes, los porcentajes no tienen cambios muy significativos.

Temperatura (°C)	400	500	600
Materia orgánica	2,20	2,43	2,19
Negro de humo	65,92	66,31	64,94
Acero	21,52	21,62	21,67
Otros	10,36	9,64	11,20

Tabla 6.3 Composición de los productos sólidos de pirólisis (% peso)³⁰

²⁹ Fuente: Reciclado y reutilización de neumáticos usados, J Bedia Motamoros, J. Rodriguez Mirasol, T. Cordero, ETSI Industriales de Málaga

³⁰ Fuente: Laresgoiti Pérez, María Felisa. 2010. Reciclado químico de neumáticos mediante pirólisis. Escuela técnica superior de Ingeniería de Bilbao. Bilbao, España.

Una vez obtenidos estos productos se los separa y se los trata para poder utilizarlos o comercializarlos en el futuro.

La parte metálica se separa mediante separadores magnéticos, obteniéndose un acero con una elevada concentración de azufre. Este acero puede ser destinado a chatarra férrea o a la producción de acero nuevo.

El negro de humo tiene entre sus características más importantes su área específica y su estructura. La estructura del negro de humo cambia sólo ligeramente durante el proceso de pirólisis; en cambio la composición química de la superficie sí se ve modificada.

El negro de humo pirolítico puede reemplazar parcialmente a negros de humo comerciales de calidad semireforzante utilizados para aplicaciones tales como suela de calzado, cintas transportadoras, etc., a los que no se les exige tan elevada calidad como la exigida a los negros de humo utilizados para neumáticos.

Otras posibles aplicaciones para los negros de humo de pirólisis serían: combustible sólido, pigmentos para tintas, carbonos activos o componente de telas asfálticas. El uso como carbono activo ha sido estudiado por diversos autores que han concluido que se pueden conseguir carbonos activos con áreas superficiales comparables a las de los carbonos activos comerciales, si se activan adecuadamente los productos sólidos de las pirólisis de neumáticos.

4ta Fase: Tratamiento de líquidos

Los productos líquidos obtenidos de la pirólisis tienen un aspecto muy similar a fracciones de petróleo, son de consistencia muy parecida y son de color marrón muy oscuro.

Es habitual encontrar agua en los productos resultantes de la pirólisis de materiales poliméricos. El agua en parte proviene de la humedad original del material y en parte resulta de las reacciones de descomposición del polímero en la pirólisis. Por otro lado, la fase acuosa para este tipo de instalaciones suele ser menor que el 0,5%, por lo que no será incluida en el análisis de los componentes de la fase líquida.

Dada la complejidad de estos líquidos no se pretende realizar una identificación exhaustiva de todos y cada uno de los componentes, sino solo

sugerir la identidad más probable de la mayoría de ellos a fin de conocer de forma aproximada la naturaleza de estos aceites y establecer su futura utilidad.

Los productos más abundantes, son tolueno, dimetilciclohexenos, etilbenceno, xilenos, estireno, metilocteno, etilmetilbencenos, metiletenilbencenos y limoneno.

Los tres productos más importantes son el tolueno, el xileno y el limoneno. Se obtienen un 15,7% para el tolueno, 21,2% para los xilenos, y 6,9% para el limoneno. Estos hidrocarburos volátiles están considerados como productos valiosos que dan un alto valor potencial a los aceites de pirólisis. ³¹

Con el fin de valorar la posible utilidad como combustibles de los aceites de pirólisis de neumáticos, se realiza una destilación. Esto se hace luego de separar los gases y los líquidos resultantes de la reacción de pirólisis. Se hace mediante columnas de destilación.

Debido a su elevado poder calorífico, que es aproximadamente 45 MJ/kg, los aceites obtenidos pueden ser utilizados como combustibles en un horno tradicional. Este combustible puede ser utilizado en las mismas instalaciones, o puede ser envasado y comercializado en el mercado.

Por otro lado, estos aceites también pueden ser utilizados como una fuente de productos químicos, ya que los productos resultantes, expuestos anteriormente son muy valiosos para distintas industrias.

5ta Fase: Tratamiento de gases

Una vez concluida la reacción de pirólisis, una bomba de vacío extrae tanto los líquidos como los gases de la cámara de combustión, al retirar los líquidos y enviarlos a las columnas de destilación, quedan solamente los gases pirolíticos. Se utiliza un ciclón para realizar una última separación de los gases de cualquier impureza.

Los gases de pirólisis de neumáticos están compuestos principalmente por hidrocarburos e H₂ y cierta proporción de CO, CO₂ y H₂S. Los óxidos de carbono posiblemente proceden de los compuestos oxigenados presentes en los neumáticos, tales como el ácido esteárico, aceites plastificantes, etc.

³¹ Fuente: Laresgoiti Pérez, María Felisa. 2010. *Reciclado químico de neumáticos mediante pirólisis. Escuela técnica superior de Ingeniería de Bilbao. Bilbao, España.*

El sulfuro de hidrógeno se produce por la descomposición de las uniones sulfuradas de la estructura vulcanizada del caucho. No obstante, su concentración es bastante baja teniendo en cuenta que la muestra de neumático contiene un 1,5% en peso de azufre; la mayor parte del contenido en azufre del neumático queda por tanto repartida entre el sólido y el líquido.

En la tabla 6.4 se muestran para un rango de temperaturas el porcentaje (tanto en peso como en volumen) los distintos elementos que conforman los gases de pirólisis. Al pie de esta se muestra el poder calorífico superior de los gases de combustión. Para la instalación en cuestión, se recuerda que se trabaja a 500 °C., en la tabla se comparan los resultados de esta temperatura con un rango inmediatamente superior e inferior.

En lo que se refiere al poder calorífico superior (PCS) de los gases de pirólisis de neumáticos, la Tabla 6.4 muestra que son muy elevados (54-77 MJ m⁻³). Este dato es muy importante debido a que se utilizará para demostrar que estos gases pueden ser utilizados como combustible tanto en esta instalación, para calentar el reactor de pirólisis, como en cualquiera.

Temperatura (°C)	400	500	600	700
H ₂ (% peso)	0,22	0,30	0,81	1,70
CO ₂ (% peso)	10,06	8,88	9,48	11,50
CO (% peso)	2,72	1,52	2,34	5,20
H ₂ S (% peso)	1,55	2,33	2,06	1,95
C ₁	4,51	7,58	7,98	7,62
C ₂	8,84	12,40	12,40	11,31
C ₃	8,18	10,55	10,32	8,82
C ₄	37,93	31,77	31,50	29,20
C ₅	16,83	15,63	15,02	13,71
C ₆	9,16	9,16	8,08	8,99
C ₁ -C ₆ (% peso)	85,45	87,10	85,30	79,65
PCS (MJ Kg ⁻¹)	42,76	44,01	43,94	42,66
H ₂ (% volumen)	4,7	5,89	14,36	25,94
CO ₂ (% volumen)	10,01	8,01	7,68	8,05
CO (% volumen)	4,26	2,15	3,00	5,73
H ₂ S (% volumen)	2,00	2,72	2,17	1,77
C ₁	12,34	18,79	17,77	14,68
C ₂	13,35	16,98	15,27	12,04
C ₃	8,33	9,78	8,60	6,34
C ₄	29,68	22,50	20,07	16,08
C ₅	10,54	8,85	7,66	6,04
C ₆	4,78	4,33	3,43	3,30
C ₁ -C ₆ (% volumen)	79,02	81,23	72,79	58,49
PCS (MJ m ⁻³)	76,67	71,45	64,15	53,83

Tabla 6.4 Composición de los gases de las pirólisis a cada temperatura.³²

Luego de pasar por el ciclón los gases ingresan directamente a la cámara de combustión. Como se vio en la tabla 6.4 estos gases cuentan con un poder calorífico muy elevado y consecuentemente se los utiliza como combustible. Este combustible hace funcionar un generador de vapor que se encarga de calentar el reactor de pirólisis. Este es un ahorro importante de combustible que repercute directamente en los costos, generando grandes ahorros y haciendo que la instalación sean más rentable.

Luego de que los gases son utilizados de combustible, estos se depuran en una estación auxiliar y son liberados al medio ambiente. Las emisiones nocivas de estos gases son muy reducidas, por lo que no afectan el medio ambiente.

6.1.3 Instalación elegida

Luego de hacer una búsqueda de maquinaria acordes para este proyecto, se escogió una maquina que tiene capacidad para 10 Tn. /día. Juzgando el costo de la maquinaria y su respectiva capacidad, se decidió instalar tres maquinas para que trabajen de forma paralela, con lo que se logra una capacidad de 30 Tn. /día y análogamente, alrededor de 11,000 Tn. anuales. Esto equivale a una decima parte de los neumáticos generados por año en el país y a un 25% de los NFU generados en la zona de Buenos Aires, Córdoba y La Pampa.

Las especificaciones de esta maquinaria se exponen a continuación. El precio de este equipo es de US\$ 200,000.

Artículos	Contenido
Tipo de equipo	DY-1-10
Materia prima	neumáticos/plástico
Forma estructural	Rotación horizontal
capacidad de 24 horas	10 toneladas
Producción del aceite	4.5 toneladas
Presión de funcionamiento	Normal
Material de Reactor	Q245R
Grueso de Reactor	14m m
Velocidad de Reactor	0.4 Rev. / Min

³² Fuente: Laresgoiti Pérez, María Felisa. 2010. *Reciclado químico de neumáticos mediante pirólisis. Escuela técnica superior de Ingeniería de Bilbao. Bilbao, España.*

Energía total	12KW
Modo de enfriamiento	Refrigeración por agua
Área de enfriamiento de condensador	53sqm
Clase de transmisión	Impulsión interna del engranaje
DB del ruido (A)	≤85
Tamaño del reactor (D×L)	2200×6000
Forma de trabajo	Operación intermitente
Plazo de expedición	20days
Peso	35 Tn.

Tabla 6.5 Especificaciones de la maquinaria³³

El sistema de pirólisis está compuesto por 11 piezas, que son:

- Reactor
- Dispositivos de conducción
- Cámara catalítica vertical
- Tubos de refrigeración
- Separador de agua
- Separador de aceite
- Condensador
- Tanque de aceite pesado
- Tanque de aceite ligero
- Sistema contra incendios del dispositivo
- Dispositivo de vacío
- Dispositivos de extracción de polvo

Dejando de lado esta maquinaria hay que agregar instalaciones auxiliares. Entre ellas se incluyen separadores magnéticos para separar las partes metálicas, tracto elevadores para la carga del reactor y finalmente un equipo de tratamiento de los gases utilizados.

6.1.4 Layout

Para estudiar cómo es la disposición de la maquinaria y los otros aspectos de la planta se propuso hacer un layout para poder determinar el área del terreno

³³ Fuente: Xinxiang Xinyuan Vibrating Equipment Co., Ltd, www.china-doing.com

necesario. Conjuntamente esto sirve para poder cuantificar todas las inversiones en activo fijo con el objetivo de incluirlo en el estudio económico financiero.

Se tomo como modelo un estudio de un layout de una planta similar. Esta disposición se obtuvo de una investigación realizada por Recyclotech Industries (Pty) Ltd.

En la figura 6.6 se pueden apreciar distintos aspectos. El terreno necesario para esta nave industrial consta de 91.2 metro de ancho y 72 metros de largo lo que resulta en 6,500 m² aproximadamente, la superficie necesaria para el galpón consta de 2,000 m². Cuenta con parte administrativa, estacionamiento, seguridad y depósitos. Todos estos aspectos estarán presentes en los activos fijos en la siguiente sección.

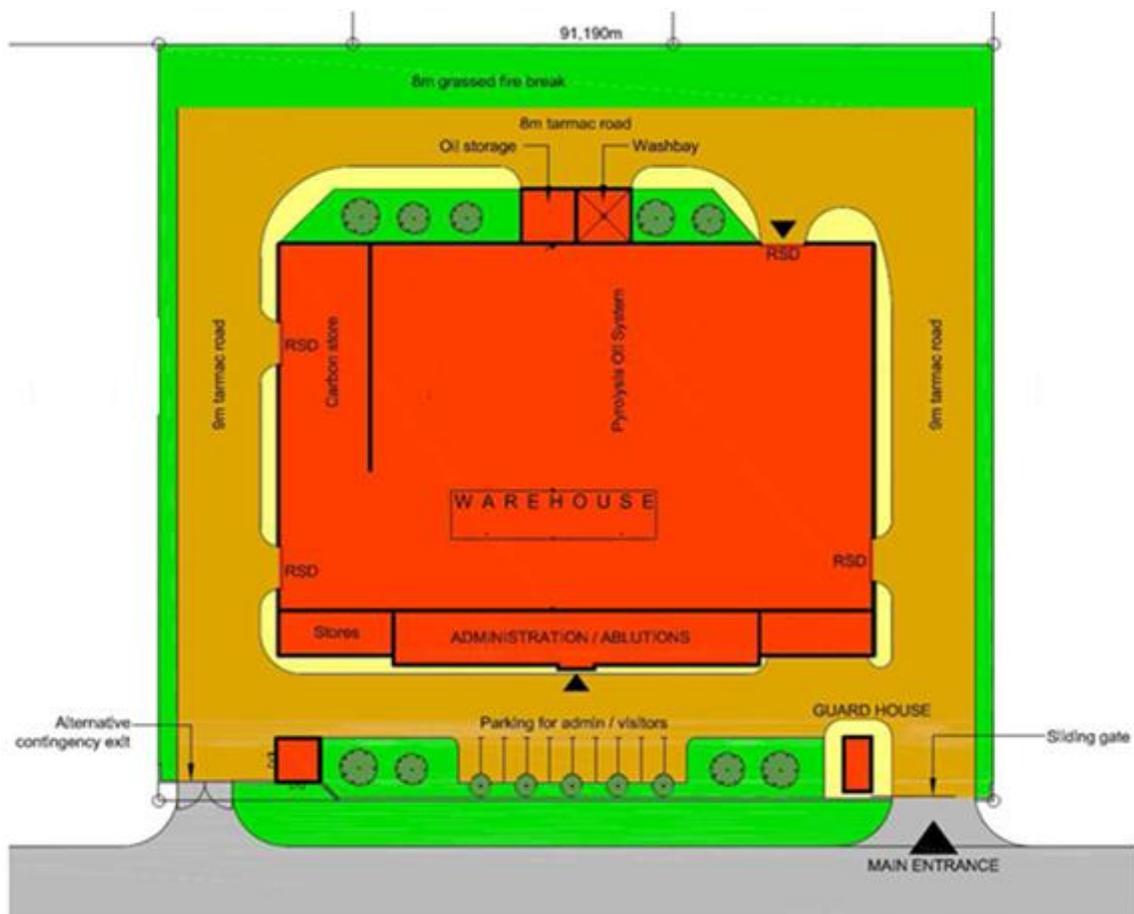


Figura 6.6 Layout elegido ³⁴

³⁴ Fuente: Recyclotech Industries (Pty) Ltd. 2011. Recyclotech technical report proposed waste tyre pyrolysis plant Atlantis. Western Cape, Sudáfrica.

7. ESTUDIO ECONÓMICO FINANCIERO

En la presente sección, se analizarán los números del proyecto con el fin de verificar si es económicamente viable. Se tendrán en cuenta todos los aspectos de la maquinaria e instalación. Antes de comenzar con el análisis hace falta aclarar algunos aspectos. En primer lugar, no hay inversión en terreno que forma parte de la unión con el CEAMSE, la planta industrial se ubicará dentro del complejo ubicado en el camino de Buen Ayre. Este predio contará con las dimensiones detalladas en la sección de layout.

Se toma como horizonte temporal un período de 10 años para el análisis.

7.1 Inversiones

En primer lugar se detalla todo lo relacionado a inversiones, ya sea en activos fijos, como en maquinaria, muebles y útiles, etc. Se muestra tanto los valores de cada rubro, como la fuente de la cuál de obtuvo este valor. Algunos valores están en dólares, se tomo como tasa de cambio 4,10 AR\$ / US\$.

Activos fijos	
Descripcion	Precio (AR\$)
Galpón	\$ 1.200.000,00
Zona administrativa	\$ 42.000,00
Baños	\$ 38.000,00
Deposito de aceites	\$ 22.000,00
Deposito de negro de humo	\$ 12.000,00
Deposito de acero	\$ 9.000,00
Instalacion de gas	\$ 22.000,00
Instalacion de agua	\$ 17.000,00
Instalacion electrica	\$ 120.000,00
Iluminacion	\$ 16.000,00
Seguridad	\$ 12.000,00
Sistema contra incendios	\$ 18.000,00
Parquizacion	\$ 15.000,00
Caminos internos	\$ 25.000,00
TOTAL	\$ 1.568.000,00

Tabla 7.1 Cuantificación de activos fijos

Muebles y útiles				
	Cantidad	Precio	Moneda	Fuente
Mesa de Reuniones	1	1.000	AR\$	Tisera SRL
Sillas				
<i>Reunion</i>	8	190	AR\$	
<i>Oficina</i>	6	185	AR\$	
Escritorios	2	1.200	AR\$	
Lamparas	4	400	AR\$	
Primeros Auxilios	1	600	AR\$	
Aire Acondicionado	1	2.750		
Otros		1.000	AR\$	
Total		10.980	AR\$	

Tabla 7.2 Cuantificación de muebles y útiles

Software y Telefonía				
Descripción	Cant.	Precio		Fuente
PC	1	600	USD	Moraut, Rubén Marcelo (Dealer Autorizado Microsoft Corporation)
Office	1	350	USD	
Windows	1	210	USD	
Servidor	1	150	USD	
Fax: Multifunción Epson Stylus TX300F	1	410	AR\$	
Teléfono de mesa Siemens Euroset 3005	1	85	AR\$	Office net
TOTAL		5.866	AR\$	

Tabla 7.3 Cuantificación de software y telefonía

Maquinaria				
Descripción	Cant.	Precio		Fuente
Reactor DY-1-10	3	200.000,00	USD	Xinxiang Xinyuan Vibrating Equipment Co., Ltd
Separador magnetico	3	1.500,00	USD	Quiminet
Equipo de tratamiento de gases	1	1.500,00	USD	Quiminet
TOTAL		2.484.600,00	AR\$	
Flete (7,5%)		186.345,00	AR\$	
Seguro (0,5%)		12.423,00	AR\$	
Precio Final		2.683.368,00	AR\$	

Tabla 7.4 Cuantificación de software y telefonía

A continuación se muestra el resumen de todas estas inversiones en una tabla (Tabla 7.5) y sus respectivos tiempos de amortización. También está presente el IVA sobre estas inversiones.

Existen dos fases de inversiones, debido a la vida útil de la maquinaria utilizada. La primera inversión se realiza al inicio donde cubre todo el costo de los bienes de usos así también como los gastos de constitución de la empresa e instalación. Al comienzo del sexto año, se renuevan las maquinarias y los muebles y útiles.

Cabe aclarar que la totalidad de las inversiones se hacen con capital propio, es decir, grupos privados invierten su dinero en proyectos de estas características. No se toman préstamos de ningún tipo, y ningún banco tiene lugar en lo que respecta a las inversiones.

Rubro		Vida útil (Años)	Valor residual	Amortización	
Bienes de Uso					
Obras Civiles					
	Obras Civiles	\$ 1.568.000,00	30	0	\$ 52.266,67
Instalaciones Industriales					
	Computación y telefonía	\$ 5.866,19	5	0	\$ 1.173,24
Maquinarias y/o Equipos					
	Maquinaria (primeros 5 años)	\$ 2.484.600,00	5	0	\$ 496.920,00
	Maquinaria (segundos 5 años)	\$ 2.484.600,00	5	0	\$ 496.920,00
Gastos de Nacionalización					
	Gastos de Transporte (Insurance & Freight) (primeros 5 años)	\$ 198.768,00	5	0	\$ 39.753,60
	Gastos de Transporte (Insurance & Freight) (segundos 5 años)	\$ 198.768,00	5		\$ 39.753,60
Muebles y Útiles					
	Muebles y útiles	\$ 10.980,00	5	0	\$ 2.196,00
Imprevistos					
	Imprevistos (20%)	\$ 1.390.316,44	5	0	\$ 278.063,29
Cargos Diferidos					
	Constitución y organización de la Empresa	\$ 18.000,00	5	0	\$ 3.600,00
	Gastos de Administración e Ingeniería durante la instalación	\$ 25.000,00	5	0	\$ 5.000,00
	Imprevistos (10%)	\$ 4.300,00	5	0	\$ 860,00
TOTAL		\$ 8.389.198,63			\$ 1.416.506,39

Tabla 7.5 Inversiones

7.2 Gastos

Una vez determinados las inversiones, se da paso a los costos tanto de producción como de administración. En la tabla 7.6 de muestran los montos anuales para los distintos rubros. Se delimitan dos grandes grupos, los gastos de fabricación. Que conllevan los montos específicos de la operación y

mantenimiento y la planta y los gastos de administración, que son los costos administrativos.

Gastos Generales de Fab	Monto	Gastos Generales de Adm	Monto
Amortizaciones	\$879.833	MOI	\$403.660
MOD	\$794.988	Limpieza y uniformes	\$18.000
Mantenimiento	\$275.000	Materiales de oficina	\$1.300
Energía	\$75.000	TOTAL GGA	\$422.960
Insumos	\$120.000		
TOTAL GGF	\$2.144.821		

Tabla 7.6 Gastos Generales

7.2.1 Mano de Obra

Lo que respecta a la mano de obra, hay que hacer distintas aclaraciones. En esta organización hay cuatro tipos de empleados, caracterizados por jerarquías y sueldos. Existe el gerente general, un gerente de operaciones, un gerente de mantenimiento, un empleado administrativo y el resto son operarios. Los operarios están separados en tres turnos. Cada turno cuenta con cinco empleados ocupados de la operación y un empleado de mantenimiento. Existen dos turnos diurnos y uno nocturno que cuenta con un adicional salarial. A continuación se muestran los sueldos y aportes de manera clara en la tabla 7.7.

Cargas Sociales		Puesto	Salario
Jubilación	11%	Gerente General	\$ 8.000
Ley 19032	3%	Gerencias	\$ 6.000
Aportes Patronales		Operario	\$ 2.500
Ley 19032	18%	Empleado Adm.	\$ 4.000
Obra Social	5%		
ART	2,50%		
Otros			
Sindicatos	8,33%		
Prevision por despido	2%		
Previsión por vacaciones	1%		
Total CS + Aportes y contribuciones			
50,83%			
Adicional Nocturno			20%

Tabla 7.7 Sueldos y cargas sociales

MOD		MOI	
OPERACIÓN: Turnos diurnos		Gerente General 1	
Cantidad	10	Salario por persona	\$ 8.000
Salario	2500,0	Costo salarial	\$ 96.000
Costo salarial	\$ 300.000	Cargas Sociales + Contr	\$ 4.066
Adicional Nocturno	\$ -	Costo total	\$ 108.066
Cargas Sociales + Contribuciones	\$ 152.490	Gerencias 2	
Costo total	\$ 452.490	Costo salarial	\$ 6.000
OPERACIÓN: Turnos nocturnos		Salario total	\$ 144.000
Cantidad	5	Cargas Sociales + Contr	\$ 73.195
Salario	2500,0	Costo total	\$ 223.195
Costo salarial	\$ 150.000	Empleados admin. 1,0	
Adicional Nocturno	\$ -	Costo salarial	\$ 4.000
Cargas Sociales + Contribuciones	\$ 30.000	Salario total	\$ 48.000
Costo total	\$ 180.000	Cargas Sociales + Contr	\$ 24.398
MANTENIMIENTO: Turnos diurnos		Costo total	\$ 72.398
Cantidad	2		
Salario	2500	Costo total Adm y Gerencia \$ 403.660	
Costo salarial	\$ 60.000		
Adicional Nocturno	\$ -		
Cargas Sociales + Contribuciones	\$ 30.498		
Costo total	\$ 90.498		
MANTENIMIENTO: Turnos nocturnos			
Cantidad	1		
Salario	2500		
Costo salarial	\$ 30.000		
Adicional Nocturno	\$ 6.000		
Cargas Sociales + Contribuciones	\$ 36.000		
Costo total	\$ 72.000		
Costo Total MOD \$ 794.988			
Costo Total de Personal \$ 1.198.648			

Tabla 7.8 Costo de Mano de Obra

7.3 Ingresos por ventas

En el momento de analizar lo que respecta a ingresos o ventas hay que analizar los cuatro productos producidos por el proceso. Tres de ellos se comercializan al mercado y el restante es utilizado como insumo para la instalación. Los cuatro productos mencionados son negro de humo, acero, gases pirolíticos y aceites pirolíticos.

Inicialmente se describirán los productos sólidos, estos son el negro de humo y el acero. Ambos productos son fácilmente separables y comercializados por separado. A juzgar por la calidad tanto del acero como del negro de humo, los precios son un poco inferiores a los de los productos en el mercado, sin embargo, su calidad es suficiente para distintas aplicaciones. Los precios convencionales para estos productos en el mercado son 65 US\$ para ambos productos pero como la calidad es inferior se tomó como precio de referencia 52 y 60 US\$ respectivamente.

Como se mencionó anteriormente, los porcentajes de negro de humo y acero son 33 y 12% respectivamente. Al tener una producción anual de 11,000 Tn., resulta un número muy interesante. Hay que tener en cuenta que la eficiencia de la instalación ronda el 66%. En la tabla 7.10 se muestran tanto valores y precios con el fin de determinar las ventas anuales en la moneda local. En la tabla 7.9 se muestran los parámetros utilizados para el cálculo.

Producción anual de NFU (Tn.)	11000
Tasa de cambio \$/US\$	4,1

Tabla 7.9 Parámetros

	%	Eficiencia	Prod. (Tn.)	Precio (US\$ / Tn.)	US\$	AR\$
Negro de humo	33%	66%	2395,8	52,00	124.581,60	510.784,56
Acero	12%	66%	871,2	60,00	52.272,00	214.315,20
TOTAL					176.853,60	725.099,76

Tabla 7.10 Ventas anuales de los productos sólidos

Por otro lado, también se obtienen productos líquidos, los llamados aceites pirolíticos. Para obtener el valor de venta de estos aceites se realizó un simple cálculo, se lo comparó con un combustible que tiene las mismas características, es decir, un poder calorífico similar. La metodología se presenta

a continuación en una serie de tablas. En la primera, se obtiene mediante promedio ponderados la energía obtenida de un neumático tratado por pirólisis. Lo que resulta que haciendo un promedio, un neumático entrega aproximadamente 543 MJ de energía.

No hay que olvidar la eficiencia de la instalación, según el modelo y las especificaciones indican que la eficiencia es del 66%.

	MJ/kg	KG / Neumático	Distribución	MJ/neumático
Neumáticos de pasajeros	36,85	9	85%	331,65
Neumáticos de camiones	34,82	50	15%	1741
Promedio	36,55	15,15		543,1

Tabla 7.11 Energía estimada de NFU obtenida del proceso de pirólisis³⁵

En la segunda tabla, con el dato del valor de un kilogramo del combustible similar se obtiene el costo equivalente, en dinero (\$/MJ). Con este número y el dato de la tabla anterior (MJ/kg.), se obtiene cuánto dinero se puede obtener por kilogramo de neumático vendiendo estos aceites pirolíticos

Cabe aclarar que estos datos son incompletos, ya que estos datos corresponden a aceite producido con la totalidad del neumático, es decir, si la totalidad de los productos obtenidos fuesen aceites, pero esto no sucede ya que en el proceso de pirólisis solamente un 35% de los productos corresponden a estos líquidos. En la última tabla se hace el cálculo de los ingresos por ventas de estos líquidos y se toma en cuenta que la capacidad anual de la maquinaria es de 11,000 neumáticos. Con este valor, junto con el de la eficiencia se obtienen los números en la moneda correspondiente.

Costo	0,585	US\$ / litro
Energía entregada	55	MJ / Kg
Costo equivalente	0,01064	US\$ / MJ
Energía Neumático	34	MJ / kg
Valor por NFU	0,362	US\$ / kg
	361,64	US\$ / Tn.

Tabla 7.12. Valor de los aceites de pirólisis

³⁵ Fuente: Perry, R.H.; Green, D.W. 1984. *Perry's Chemical Engineers' Handbook, 6th Ed. Mc Graw Hill.*

	%	Eficiencia	Prod. (Tn.)	Precio (US\$ / Tn.)	US\$	AR\$
Aceites pirolíticos	35%	66%	2541	361,64	918.918,00	3.767.563,80

Tabla 7.13 Ingresos por ventas de los aceites pirolíticos

Por último queda por analizar el producto restante, el gas de pirólisis. Este producto es el que va a ser utilizado como insumo de la instalación. Como se mostró en los capítulos anteriores, corresponde al 20% del total de productos obtenidos de la reacción. Los gases obtenidos no solo alcanzan para el consumo propio de la maquinaria sino que también se le suministra este insumo a las instalaciones del proyecto del CEAMSE – REGOMAX como parte de la alianza estipulada. Este insumo también se puede comercializar, pero dado el precio de este combustible en Argentina, no es muy rentable, entonces se opta por consumo propio. Este precio de mercado tan bajo se debe a los subsidios otorgados por el gobierno que hacen que el gas natural sea excesivamente barato.

Las ventas comienzan a ser efectivas luego de seis meses de iniciado el proyecto. Esto se debe a que el primer semestre del año inicial se ocupa para realizar todas las obras de infraestructura y de instalación de maquinaria. Esto se ve reflejado en el cuadro de resultados donde las ventas del primer año son el 50% de los años restantes. En el sexto año, cuando se renuevan la maquinaria también hay un leve descenso en las ventas, se toma un 70% de las ventas anuales estándar.

7.4 Cuadro de Resultados

Estado de Resultados										
Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ventas Totales	\$2.246.331,78	\$4.492.663,56	\$4.492.663,56	\$4.492.663,56	\$4.492.663,56	\$3.144.864,49	\$4.492.663,56	\$4.492.663,56	\$4.492.663,56	\$4.492.663,56
Costo de Producción	\$2.144.820,79	\$2.144.820,79	\$2.144.820,79	\$2.144.820,79	\$2.144.820,79	\$2.144.820,79	\$2.144.820,79	\$2.144.820,79	\$2.144.820,79	\$2.144.820,79
Resultado Operativo	\$101.510,99	\$2.347.842,77	\$2.347.842,77	\$2.347.842,77	\$2.347.842,77	\$1.000.043,70	\$2.347.842,77	\$2.347.842,77	\$2.347.842,77	\$2.347.842,77
Costo de Administración	\$422.960,00	\$422.960,00	\$422.960,00	\$422.960,00	\$422.960,00	\$422.960,00	\$422.960,00	\$422.960,00	\$422.960,00	\$422.960,00
Resultado Bruto	\$321.449,01	\$1.924.882,77	\$1.924.882,77	\$1.924.882,77	\$1.924.882,77	\$577.083,70	\$1.924.882,77	\$1.924.882,77	\$1.924.882,77	\$1.924.882,77
Ingresos brutos	\$0,00	\$57.746,48	\$57.746,48	\$57.746,48	\$57.746,48	\$17.312,51	\$57.746,48	\$57.746,48	\$57.746,48	\$57.746,48
UAIG	\$321.449,01	\$1.982.629,25	\$1.982.629,25	\$1.982.629,25	\$1.982.629,25	\$594.396,21	\$1.982.629,25	\$1.982.629,25	\$1.982.629,25	\$1.982.629,25
Impuesto a las Ganancias	\$0,00	\$693.920,24	\$693.920,24	\$693.920,24	\$693.920,24	\$208.038,67	\$693.920,24	\$693.920,24	\$693.920,24	\$693.920,24
Utilidad Neta	\$321.449,01	\$1.288.709,01	\$1.288.709,01	\$1.288.709,01	\$1.288.709,01	\$386.357,54	\$1.288.709,01	\$1.288.709,01	\$1.288.709,01	\$1.288.709,01

Figura 7.14. Cuadro de Resultados

7.5 Flujo de Fondos

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Egresos										
Inversión en Activo Fijo	\$ 8.389.198,63	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 3.267.757,03	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
IVA Inversión	\$ 1.290.002,04	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 25.807,43	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
IG	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Total Egresos	\$ 9.679.200,67	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 3.293.564,46	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Ingresos										
UAIG	\$ 321.449,01	\$ 1.982.629,25	\$ 1.982.629,25	\$ 1.982.629,25	\$ 1.982.629,25	\$ 594.396,21	\$ 1.982.629,25	\$ 1.982.629,25	\$ 1.982.629,25	\$ 1.982.629,25
Recupero del Crédito Fiscal	\$ 0,00	\$ 943.459,35	\$ 346.542,69	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 25.807,43	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Amortizaciones	\$ 879.832,79	\$ 879.832,79	\$ 879.832,79	\$ 879.832,79	\$ 879.832,79	\$ 879.832,79	\$ 879.832,79	\$ 879.832,79	\$ 879.832,79	\$ 879.832,79
Total Ingresos	\$ 558.383,78	\$ 3.805.921,39	\$ 3.209.004,73	\$ 2.862.462,04	\$ 2.862.462,04	\$ 1.474.229,00	\$ 2.888.269,48	\$ 2.862.462,04	\$ 2.862.462,04	\$ 2.862.462,04
FF	\$ 9.120.816,89	\$ 3.805.921,39	\$ 3.209.004,73	\$ 2.862.462,04	\$ 2.862.462,04	\$ 1.819.335,46	\$ 2.888.269,48	\$ 2.862.462,04	\$ 2.862.462,04	\$ 2.862.462,04
FF acumulado	\$ 9.120.816,89	\$ 5.314.895,50	\$ 2.105.890,76	\$ 756.571,28	\$ 3.619.033,32	\$ 1.799.697,87	\$ 4.687.967,34	\$ 7.550.429,39	\$ 10.412.891,43	\$ 13.275.353,47
Periodo de repago (Años)										
TIR	15%			3,74						

Figura 7.15 Flujo de Fondos

7.6 Flujo de Fondos Acumulado

A partir de las dos tablas anteriores, el Cuadro de Resultados y el Flujo de Fondos, se determinó el Flujo de Fondos acumulado. Esto resulta de hacer una suma de el flujo de fondo de cada año con el fin de determinar la TIR (Tasa Interna de Retorno) y el período de repago correspondiente. Esto se muestra gráficamente en la figura 7.15.

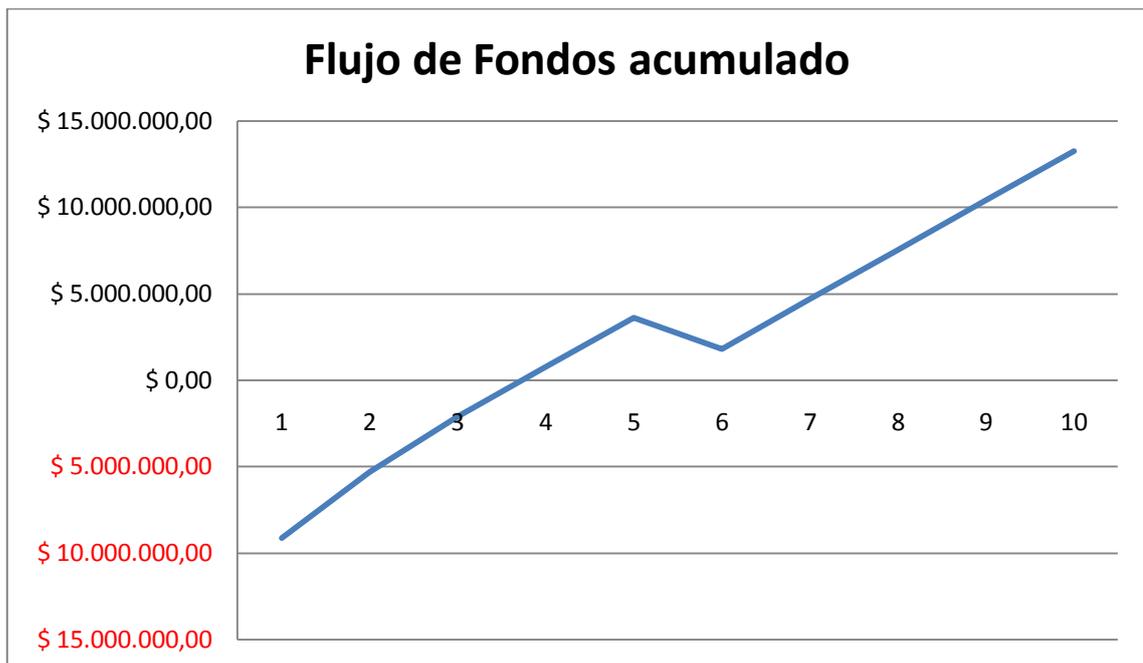


Figura 7.15 Flujo de fondos acumulado

Como se ve en la figura, el flujo de fondos acumulado es alentador para el inversor. La máxima exposición se da al inicio del proyecto, en el momento de realizar las mayores inversiones. Al sexto año hay un pequeño bache ya que corresponde al segundo período de inversiones.

El período de repago del proyecto es algo menor al **4 años** (exactamente 3,74 años), lo que hace que sea muy interesante para invertir en este emprendimiento. En adición, la Tasa Interna de Retorno (TIR) da **15%**.

7.6.1 Cálculo de la tasa de descuento

La tasa de descuento del proyecto se ha establecido de acuerdo al flujo que se ha decidido evaluar para poder determinar el valor actual neto del proyecto. En vista de que esto se realiza en base al método del flujo libre generado por el proyecto, se ha decidido utilizar el método WACC.

Para poder calcular la tasa WACC, se utilizaron las hipótesis del modelo CAPM, y las hipótesis de Hammada para determinar el coeficiente beta de riesgo sistémico de la industria respecto del mercado.

Para poder determinar los costos del capital, se utilizó el siguiente modelo:

$$E(R_i) = R_f + \beta [E(R_m) - R_f] + R_p$$

El valor de la tasa libre de riesgo corresponde a los Bonos del tesoro de los Estados Unidos a la fecha 18/06/2011. Este valor y la tasa de mercado fueron proporcionados por la página web de Bloomberg. Por último, el dato del Beta fue proporcionado por INSEAD (Institut Européen d'Administration des Affaires). Se tomó como estructura financiera que el porcentaje de pasivo es del 20%. Con todos estos datos se obtuvo el costo de capital, como lo indica la Tabla 7.16.

Beta Unlevered	1,27
Riesgo País	6,25%
Prima de mercado	3,54%
Tasa Libre de Riesgo	2,93%
Beta Levered	1,48
WACC	11,53%

Tabla 7.16 Parámetros para el cálculo del costo de capital

Al analizar el atractivo por el método de la TIR, se ve que el costo de capital es mucho menor que la TIR, lo que sugiere que el proyecto es muy atractivo para los inversores.

Con este valor de costo de capital, se calculó el Valor Actual Neto del proyecto (VAN). Este valor dio la suma de \$ 3.248.068,96. Esta suma es positiva y muy alta lo que confirma el atractivo del proyecto.

8. CONCLUSIONES

En lo que respecta a las conclusiones finales de este trabajo, hay muchos aspectos que analizar y discutir.

El mundo se está orientando gradualmente a un entorno más limpio. Las iniciativas de un mundo verde son cada vez más frecuentes creando proyectos y organizaciones con el objetivo de tomar conciencia de que el problema existe y que hay que encontrar una solución de manera imperiosamente.

La urgencia de tratar el tema de la generación y disposición de NFU en la Argentina, considerando que el stock actual es inmenso y la producción es permanente y vertiginosamente creciente. Esto hacer que cada día que pasa hace peor al problema, llegando a cifras realmente alarmantes. La responsabilidad de tratar este tema con sumo cuidado pertenece a todos, tanto particulares, como empresas y el gobierno.

El reciclaje de neumáticos en desuso se está desarrollando con gran ahínco en los primeros países del mundo, dándole la importancia debida. Existen muchas alternativas de reciclaje y reutilización. Se está evolucionando a tecnologías más complejas y sofisticadas como la pirólisis y gasificación.

En lo que respecta al proceso de pirólisis en sí, tiene muchos aspectos muy favorables. Resulta ser una alternativa de interés para el reciclado de neumáticos. Al ser una reacción química que separa el residuo en partes sólida, líquida y gaseosa, los productos obtenidos tienen fácil manejo y almacenamiento a diferencia que el residuo entero que crea problemas de este tipo por su particular forma y volumen.

Los productos líquidos obtenidos en el proceso son muy valiosos y pueden ser utilizados como insumos en el mismo proceso o ser comercializados al mercado. No solo se pueden utilizar como combustibles debido a su alto poder calorífico, sino también se pueden obtener compuestos muy valiosos de los aceites pirolíticos, como limoneno, tolueno, xileno o hidrogeno.

Los sólidos, es decir, el acero y el negro de humo, son obtenidos con facilidad y su comercialización en el mercado es muy simple ya que tiene la calidad requerida.

Los gases resultantes de la pirólisis de neumáticos están compuestos fundamentalmente por hidrocarburos. Tienen poderes caloríficos muy elevados (54-77 MJ m⁻³) por lo que son fuente energética suficiente para autoabastecer el proceso, y además hay un excedente que puede ser valorizado energéticamente.

Todos estos productos son muy rentables en el mercado, haciendo que sea muy atractivo para invertir en un proyecto de tales magnitudes y características. Los parámetros determinados en el estudio muestran resultados muy alentadores con un período de repago bajo y un valor actual neto importante.

La capacidad de tratamiento de este proyecto contempla al 10% de la generación nacional de neumáticos y al 25% de la generación de Buenos Aires, La Pampa y Córdoba, pudiéndose ampliar o instalando mas plantas alrededor del país.

Las emisiones al entorno son despreciables ya que lo único que se descarte son gases de combustión previamente tratados y purificados.

Otro aspecto a analizar es la parte social que se puede dividir en dos partes. En primer lugar, iniciar un proyecto de este rubro, crea una conciencia social orientada al reciclaje y un entorno más saludable. Iniciativas así incentivan de manera indirecta a la población y empresas a cuidar el medio ambiente. Por otro lado, este proyecto tiene otra incidencia ya que crea puestos de trabajo para la operación y mantenimiento de la planta. Muchos de estos puestos son para mano de obra no calificada contribuyendo a la inserción social de muchos trabajadores.

9. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

9.1 Optimización

La tecnología descrita en el trabajo está en desarrollo, consecuentemente se pueden optimizar muchos aspectos para obtener productos de mejor calidad y a menor costo.

- I. Estudio de optimización de parámetros de operación, como presión y tiempo de residencia
- II. Optimización de los líquidos de pirólisis de manera que se obtengan productos o fracciones del máximo valor posible y con opciones reales e inmediatas de mercado. En esta línea cabe plantearse dos alternativas de trabajo: por un lado el estudio de catalizadores que mejoren la calidad de los productos directamente durante la pirólisis, y por otro lado, procesos de tratamiento y mejora de los líquidos en etapas posteriores a la pirólisis.
- III. Optimización de los sólidos de pirólisis también para obtener un producto de mayor valor. En etapas posteriores al proceso de pirólisis se buscaría mejorar parámetros como el área superficial o el contenido en cenizas.

9.2 Alternativas

Por otro lado, se pueden estudiar otras alternativas paralelas y complementarias a la pirólisis:

- + Estudio de otra técnicas de reciclado químico de neumáticos, concretamente la gasificación
- + Estudio del reciclado por pirólisis de otros residuos orgánicos poliméricos de interés, tales como residuos del sector eléctrico, residuos de fragmentadora de vehículos o residuos plásticos de envases y embalajes.

10. BIBLIOGRAFÍA

ADEFA, Asociación de Fábricas de Automóviles. 2011. Parque Automotor en Argentina. Buenos Aires, Argentina

Amari, Takeshi; Themelis, Nickolas J.; Wernick, Iddo K. 1999. Resource recovery from used Rubber tires. Columbia University. New York, Estados Unidos.

Bedia Motamoros, J.; Rodriguez Mirasol, J.; Cordero. 2004. Reciclado y reutilización de neumáticos usados (I), Recuperación de energía. Departamento de Ingeniería química. ETSI Industriales de Málaga. Málaga, España.

Bedia Motamoros, J.; Rodriguez Mirasol, J.; Cordero. 2004. Reciclado y reutilización de neumáticos usados (II), Alternativas de recuperación de energía. Departamento de Ingeniería química. ETSI Industriales de Málaga. Málaga, España.

Bruno de la Cruz, Silvia. 2004. Diseño, construcción y puesta en marcha de una planta de reciclado de neumáticos para su uso en hormigones y morteros. España.

Cabrera Estrada, Isabel; Mendoza Martinez, Dora; Laurerio Salabarría, Julio A.; Rodriguez Rico, Iván; Allegue, Ricardo. 2003. Posibilidad de uso del polvo de recape de neumáticos en mezclas asfálticas. TECNOLOGÍA QUÍMICA Vol. XXIII, No. 1, 2003. Universidad Central "Marta Abreu" de la Villas, MICONS, Villa Clara.

Cano Serrano, Encarnación; Cerezo García, Lidia; Urbina Fraile, Marina. 2007. Valorización material y energética de los neumáticos fuera de uso. Informe de vigilancia tecnológica. Madrid, España.

Cantanhede, Alvaro; Monge, Gladys. 2002. Estado del arte del manejo de llantas usadas en las Américas. Lima, Perú.

Castro, Guillermo. 2007. Reutilización, Reciclado y Disposición final de neumáticos. Departamento de Ingeniería Mecánica FIUBA. Buenos Aires, Argentina.

Castro, Guillermo. 2008. Materiales y compuestos para la industria del neumático. Departamento de Ingeniería Mecánica FIUBA. Buenos Aires, Argentina.

CEDESOL, Capítulo 6, Pirólisis. México.

Conessa Ferrer, Juan Antonio. 1996. Estudio de la pirólisis de residuos plásticos de polietileno y neumáticos usados. Universidad de Alicante. Alicante, España.

Cuattrocchio A.C.; Botasso H.G.; Rebollo O., Soengas Cecilia J. 2006. El uso de caucho de cubiertas en mezclas asfálticas. Universidad Tecnológica Nacional. La Plata, Argentina.

Delarze Díaz, Paulina Alejandra. 2008. Reciclaje de neumáticos y aplicación en la construcción. Universidad de Valdivia, Chile.

Hervás Ramirez, Lorenzo. 2008. Los neumáticos fuera de uso. Capítulo IX. Andalucía, España.

Laresgoiti Pérez, María Felisa. 2010. Reciclado químico de neumáticos mediante pirólisis. Escuela técnica superior de Ingeniería de Bilbao. Bilbao, España.

Marks, J. 1989. Manual del Ingeniero Mecánico, Mc Graw Hill.

Miranda Guardiola, Rosa del Carmen; Segovia Martínez, Ciro César; Sosa Blanco, César Alberto. 2006. Pirólisis de llantas usadas: estudio cinético. Facultad de Ciencias Químicas, UANL. México.

Navarrete Córdova, Mario Alejandro. 2009. Estudio de utilización como combustible alternativo y plan de disposición final de los neumáticos desechados en la ciudad de Riobamba. Escuela superior politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

Observatorio del Medio Ambiente, 2006. En pocas Palabras, el programa de Neumáticos fuera de uso. Aragón, España.

Osava, Mario. 2005. Neumáticos contra la Naturaleza. Rio de Janeiro, Brasil.

Osisco. 2010. Scrap tire & plastic processing advances pyrolysis technologies.

Perry, R.H.; Green, D.W. 1984. Perry's Chemical Engineers' Handbook, 6th Ed. Mc Graw Hill.

Plan Territorial Especial de Ordenación de Residuos de Tenerife. 2008. Neumáticos en Desuso. Tenerife, España.

Pomar Gascón, Jorge. 2008. Planta de reciclado y valorización de neumáticos fuera de uso (NFU's) en Aragón. Ingeniería de Organización Industrial. Universitat de Vic Escola Politècnica Superior. Aragón, España.

Ramos, Arizpe. 1997. Curso de Cemento: Combustibles alternativos, Holderbank.

Recyclotech Industries (Pty) Ltd. 2011. Recyclotech technical report proposed waste tyre pyrolysis plant Atlantis. Western Cape, Sudáfrica.

Rubber Manufacturers Association. Considerations for starting a scrap tire company, a blueprint for planning a bussiness strategy. Washington DC, Estados Unidos.

Secretaría de Medio Ambiente, Gobierno del distrito federal del México. 2002. Llantas usadas, diagnóstico de la situación actual en el Distrito Federal. México.

Universidad de Alicante. 2008. Reciclado de neumáticos por pirólisis y combustión. Alicante, España.

Universidad de Don Bosco, Departamento de Medio Ambiente. 2004. Análisis del desecho neumático fuera de uso. El Salvador.

University of California Riverside. 2006. Technology evaluation and economic analysis of waste tire pyrolysis, gasification and liquefaction. Integrated waste Management Board. California, Estados Unidos.

Vignart, Juan Martín. 2010. Problemática del Neumático fuera de uso, Reciclado y posterior aplicación industrial y comercial. Instituto Tecnológico de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.

10.1 Páginas de Internet

<http://waste.ideal.es/neumaticos.htm>

<http://www.soyentrepreneur.com/>

<http://www.agro20.com/>

<http://www.estrucplan.com.ar/>

<http://www.inti.gob.ar/>

<http://www.ambiente.gov.ar/>

<http://www.estrucplan.com.ar/>

<http://www.neumaticosfuerauso.com/>

<http://www.regomax.com/>

<http://www.faneumatico.org.ar/>

<http://www.ecoticias.com/>

<http://www.wastedb.eu/>

<http://www.motorspain.com/>

<http://responsabilidad-posconsumo.blogspot.com/>

<http://cientificos.blog.arnet.com.ar/>