

Índice General

Abreviaturas	9
Introducción	11
1. Marco Conceptual	13
2. Definición del Problema	22
3. Estado del Arte de la Gestión de Vehículos Fuera de Uso	24
3.1. Unión Europea	26
3.2. Japón	27
4. Problemas Asociados a la Gestión de Vehículos Fuera de Uso	30
4.1. Trabajo de Campo Realizado.....	32
4.2. Diagnóstico Situacional.....	39
5. Pretensiones del Proceso de Investigación	49
6. Desarrollo del Problema	60
6.1. Impacto Ambiental de la Chatarrización de Vehículos Fuera de Uso.....	60
6.1.1. Componente Geosférico	63
6.1.2. Componente Atmosférico	65
6.1.3. Componente Hídrico	69
6.1.4. Componente Socioeconómico	70

6.1.5. Componente Ecosistémico	75
6.2. Alternativas para la Gestión de Subproductos de la Chatarrización Vehicular del Sector Transporte Público en Bogotá.....	76
6.2.1. Plásticos	77
6.2.2. Caucho – Neumático Fuera de Uso	81
6.2.3. Metales No Ferrosos	83
6.2.4. Vidrio	86
6.2.5. Residuos Peligrosos	86
7. RESULTADOS	88
7.1. Análisis de Alternativas de Gestión de los Residuos de los Vehículos Fuera de Uso	88
7.1.1. Plásticos	88
7.1.2. Caucho – Neumático Fuera de Uso	101
7.1.3. Metales no Ferrosos	110
7.1.4. Vidrio	114
7.1.5. Residuos Peligrosos	116
8. ANÁLISIS DE RESULTADOS	143
8.1. Cadena de Manejo de los Subproductos de la Chatarrización Vehicular	143
8.1.1. Modelo I	143
8.1.2. MODELO II	146

8.1.3. MODELO III	148
8.1.4. MODELO IV	149
8.1.5. MODELO V	152
9. CONCLUSIONES	153
10. RECOMENDACIONES	155
11. BIBLIOGRAFÍA	156
ANEXOS	159

Índice de Tablas

Tabla 1. Tecnologías para la gestión del residuo de fragmentación acogidas por la Unión Europea.	27
Tabla 2. Tecnologías para la gestión del residuo de fragmentación acogidas por Japón.	29
Tabla 3. Cantidad de vehículos públicos urbanos activos para el 2012 en la ciudad de Bogotá.	31
Tabla 4. Demanda de vehículos fuera de uso en las instalaciones de SIDENAL para el año 2013.	32
Tabla 5. Caracterización física del vehículo Chevrolet Spark modelo 2007.	36
Tabla 6. Cantidad de residuos de fragmentación acumulados en SIDENAL S.A.	39
Tabla 7. Identificación de subproductos metales ferrosos representativos	50
Tabla 8. Identificación de subproductos plásticos representativos en los VFU.	51
Tabla 9. Identificación de subproductos. Metales no ferrosos representativos en los VFU	55
Tabla 10. Identificación de subproductos caucho en los VFU.	58
Tabla 11. Identificación del subproducto vidrio de los VFU.	59
Tabla 12. Forma de calificación de magnitud e importancia de la matriz de Leopold.	61
Tabla 13. Matriz de impacto ambiental de la chatarrización vehicular.	62
Tabla 14. Resultados matriz de impacto ambiental de la chatarrización vehicular.	62
Tabla 15. Emisiones atmosféricas puntuales registradas del 21 al 23 de noviembre 2011 en SIDENAL S.A.	66
Tabla 16. Localización de estaciones para monitoreo de emisiones.	67
Tabla 17. Normas de calidad de aire y aire local según resolución 610 del 24 de marzo de 2010.	68
Tabla 18. Resultados obtenidos del estudio de emisiones en la entidad chatarrizadora.	68

Tabla 19. Análisis de emisión de ruido en la entidad chatarrizadora, comparado con la resolución 627 de 07 de abril del 2006.	69
Tabla 20. Funciones de los metales no ferrosos en el vehículo.	84
Tabla 21. Lista de plantas productoras de cemento en Colombia.	89
Tabla 22. Datos de partida para la construcción de una planta de pirólisis de residuos de fragmentación.	94
Tabla 23. Subproductos obtenidos de un proceso de pirólisis.	97
Tabla 24. Valores de consumo de energía eléctrica.	100
Tabla 25. Aplicaciones de los productos generados a través de los procesos de molienda a temperatura ambiente.	105
Tabla 26. Cálculo de la media móvil.	116
Tabla 27. Clasificación CRETIP de los residuos peligrosos generados en el proceso de chatarrización de VFU de servicio público.	118
Tabla 28. Tipos de contenedores para el almacenamiento de los residuos peligrosos producto de la chatarrización de VFU.	128
Tabla 29. Empresas con licencia ambiental otorgadas por la secretaria de ambiente para el manejo de residuos peligrosos en el perímetro urbano.	133
Tabla 30. Tecnologías de re-refino/regeneración de aceites usados.	141

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Identificación de problemas de señalización, demarcación y delimitación de la zona de recepción de vehículos.....	41
Ilustración 2. Salida del residuo de fragmentación.	42
Ilustración 3. Chatarra metálica almacenada a la intemperie.	43
Ilustración 4. Almacenamiento a la intemperie de neumáticos fuera de uso.....	44
Ilustración 5. Almacenamiento de metales no ferrosos y polvillo de acería en Big-Bags.....	44
Ilustración 6. Unidad de descontaminación de vehículos fuera de uso. Volco.....	46
Ilustración 7. Unidad de almacenamiento de aceites usados.	47
Ilustración 8. Unidad de compactación.	47
Ilustración 9. Unidad de fragmentación.....	48
Ilustración 10. Perfil de suelos SIDENAL.	64
Ilustración 11. Sistema de depuración de emisiones mediante filtros de mangas. 66	
Ilustración 12. Obrero con su equipo de protección personal ejecutando la clasificación manual de metales no ferrosos.	71
Ilustración 13. Obrero en tren de laminación, sin el equipo de protección personal en su totalidad.....	72
Ilustración 14. Alrededores de la sede SIDENAL Tocancipá. Terreno poblado La Diana.....	73
Ilustración 15. SIDENAL Sogamoso.....	74
Ilustración 16. Sistema de molienda a temperatura ambiente.	104
Ilustración 17. Proceso de medios densos.....	112
Ilustración 18. Proceso de separación por corrientes de Foucault.....	114
Ilustración 19. Ejemplo de almacenaje de fluidos de diferente composición.....	127
Ilustración 20. Ejemplo de rotulado y etiquetado de un contenedor de residuos peligrosos.....	130
Ilustración 21. Zorra para el transporte de residuos peligrosos.	131
Ilustración 22. Transportadores de estibas.	132

Ilustración 23. Proceso de aprovechamiento del zinc mediante el horno de Waelz.
..... 137

Índice de Esquemas

Esquema 1. Sistema de manejo de vehículos fuera de uso de la Unión Europea.	26
Esquema 2. Sistema de manejo de vehículos fuera de uso en Japón.	28
Esquema 3. Proceso de desmontaje y caracterización de un VFU de servicio público Chevrolet Spark modelo 2007.	35
Esquema 4. Balance de masa y energía de una planta de pirólisis con capacidad de 20000 ton/año.	98
Esquema 5. Neumáticos fuera de uso en la producción de cemento.	109
Esquema 6. Modelo I: cadena de manejo de los subproductos de la chatarrización vehicular.	145
Esquema 7. Modelo II: cadena de manejo de los subproductos de la chatarrización vehicular.	147
Esquema 8 Modelo III: cadena de manejo de los subproductos de la chatarrización vehicular.	149
Esquema 9. Modelo IV: cadena de manejo de los subproductos de la chatarrización vehicular.	151
Esquema 10. Modelo V: cadena de manejo de los subproductos de la chatarrización vehicular.	152

Índice de Gráficas

Gráfica 1. Composición del parque automotor registrado en 2012.....	31
Gráfica 2. Representatividad de los residuos de los vehículos fuera de uso de servicio público.....	38

Índice de Anexos

ANEXO 1. Alternativas Aplicables a la Gestión de Subproductos de la Chatarrización Vehicular.

ANEXO 2. Alternativas para la Gestión de los Subproductos Provenientes del Proceso de Chatarrización Vehicular.

ANEXO 3. Directorio Colombiano de Reciclaje de Residuos Plásticos.

ANEXO 4. Hidrogenación

Abreviaturas

ABS	Acrilonitrilo/butadieno/estireno.
ACOPLASTICOS	Asociación Colombiana de Industrias Plásticas.
ASA	Acrilonitrilo/estireno/acrilato.
BORSI	Bolsa de residuos y productos industriales.
BR	Polibutadieno.
CR	Policloropreno.
EPDM	Etileno/propileno/dieno.
HDPE	Polietileno de alta densidad.
LDPE	Polietileno de baja densidad.
NFU	Neumáticos fuera de uso.
PA	Poliamida.
PC	Policarbonato.
PCP	neopreno.
PE	Polietileno.
PET	Polietilentereftalato.
PMMA	Poli (metilmetacrilato).
PP	Polipropileno.
PS	Poliestireno.
PU o PUR	Poliuretano.
PVC	Poli (cloruro de vinilo).

Ro	Rendimiento operativo.
SI	Silicona.
SIDENAL S.A	Siderúrgica Nacional.
SIGRAUTO	Asociación Española para el tratamiento medioambiental de los vehículos fuera de uso.
SL	Polisiloxano.
Tdes	Tiempo de desmontaje.
VFU	Vehículo fuera de uso o vehículo al final de su vida útil.

Introducción

Actualmente en Colombia la industria automotriz constituye un elemento fundamental para el desarrollo económico y la integración social, en particular, en lo que atañe al servicio público de transporte. Es tal el auge de este último sector que se ha incrementado la demanda de movilidad. Así mismo, la relevancia de la industria en mención es mayor a raíz de la baja calidad de los servicios de transporte, pues no responden a las necesidades de la población, que va en constante aumento. Según cifras de la Secretaría Distrital de Movilidad, para 2.012, el parque automotor en Bogotá continuó con tendencia al alza y registró una tasa de crecimiento del 10,5% a nivel general. En lo que a los vehículos de servicio público se refiere, se tiene que en el año 2.012 había aproximadamente 67.150 vehículos en circulación en la capital, lo cual incide directamente en la movilidad de la ciudad.

La movilidad no es la única preocupación de las entidades distritales en relación con la industria automotriz y, en específico, relativa al sector del transporte público: otro problema es el alto costo en términos de afectación al medio ambiente, producido por la utilización de los vehículos, los cuales ocupan el segundo puesto entre las fuentes emisoras de dióxido de carbono.. En adición a lo anterior, hay otra problemática que toma fuerza, a saber, la finalización de la vida útil de los vehículos, dado que hay escasos conocimientos en organización y gestión de los vehículos fuera de uso (VFU).

Existen grupos siderúrgicos como DIACO S. A. y Siderúrgica Nacional (SIDENAL S. A.), los cuales son los únicos que cuentan con la autorización para efectuar el procedimiento de desintegración física de los vehículos de transporte público (sin contar el transporte especial) y privado en el Distrito Capital. Cabe anotar que SIDENAL es la única encargada de los vehículos del sector de transporte público. Si bien en el momento solo se cuenta con las entidades mencionadas, quienes cumplan con los requisitos establecidos en la Resolución 381 del 10 de agosto de 2007 y reciban el aval de la Secretaría Distrital de Movilidad podrían adelantar el proceso citado.

La acción de SIDENAL se enfoca en dos ejes: el primero es la reposición para acceder a la matrícula de un nuevo equipo, lo que garantiza que los vehículos que hayan cumplido su

ciclo de vida útil sean sustituidos por equipos nuevos. El segundo eje de acción es la reducción de la sobreoferta con cargo a recursos del factor de calidad.

Con el aumento de la demanda de vehículos casi que proporcionalmente se origina un aumento de vehículos que salen de circulación. Para el manejo de estos últimos, el proceso de desintegración física y chatarrización es la opción más viable. Sin embargo, un vehículo está constituido de metales ferrosos y un conjunto de diferentes materiales cuya gestión no está definida, por lo cual los residuos resultantes intensifican la contaminación y carecen de potencial de aprovechamiento.

En función de lo anteriormente expuesto, el objetivo del presente proyecto de grado es generar alternativas de manejo de los materiales residuales del procedimiento de chatarrización que se lleva a cabo en SIDENAL S. A., de modo tal que no sean un generador de pasivos ambientales, sino un subproducto con potencial de aprovechamiento.

1. Marco Conceptual

Aditivos

Materiales que se mezclan con los polímeros para facilitar su procesamiento, a fin de darle las propiedades físicas y/o químicas requeridas en su aplicación final y para protegerlos de los efectos de los elementos climáticos. Puede decirse que: "polímeros + aditivos = plásticos".

Almacenamiento

Acumulación o depósito temporal, en recipientes o lugares, de la basura y residuos sólidos de un generador o una comunidad, para su posterior recolección, aprovechamiento, transformación, comercialización o disposición final.

Aprovechamiento

Es el proceso mediante el cual, a través del manejo integral de los residuos sólidos, los materiales recuperados en procesos como la chatarrización se reincorporan al ciclo económico y productivo en forma eficiente, por medio de la reutilización, el reciclaje, la incineración con fines de generación de energía, el compostaje o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales y/o económicos¹.

Aprovechamiento energético

Se trata del proceso de recuperación o tratamiento mediante el cual se utiliza la energía térmica liberada por los residuos producto de la desintegración y chatarrización de vehículos para llevar a cabo otros procesos.

Calandrado

Este es un proceso primario en la transformación de materiales plásticos, generalmente se utiliza para producir láminas delgadas o diversas películas, el sistema se compone de cilindros por donde pasa el material pre plastificado con el fin de llevarlo al espesor que se

¹ Decreto 1713 de 2002

deseo después el material resultante es llevado a rodillos donde es enfriado. Los productos plásticos representativos de este proceso son cubiertos de PVC para pisos, cortinas para baños, manteles de vinilo, etc.

Centro de acopio

Lugar donde los residuos sólidos son adecuadamente almacenados y/o separados y clasificados según su potencial de uso o transformación sin afectar el entorno ambiental.

Chatarrización

Consiste en la destrucción de los elementos y componentes metálicos del automotor hasta convertir las partes metálicas ferrosas de desecho en chatarra y ser finalmente transformadas para producir acero.

Contaminación

Es la alteración del medio ambiente por sustancias o formas de energía puestas allí por la actividad humana o de la naturaleza en cantidades, concentraciones o niveles capaces de interferir con el bienestar y la salud de las personas, atentar contra la flora y/o la fauna, degradar la calidad del medio ambiente o afectar los recursos de la Nación o de los particulares. Decreto 1713 del 2002.

Desmontaje de vehículo

Consiste en la separación de los elementos y componentes del automotor, por parte de una entidad desintegradora debidamente autorizada.

Desintegración y/o desmontaje vehicular

Es la disgregación de los diferentes elementos y componentes del automotor que, mediante un esquema de gestión ambiental, serán un subproducto de aprovechamiento.

Empresa recuperadora

Asociación u organización dedicada a alguna de las siguientes actividades relacionadas con el aprovechamiento (reciclaje) de residuos: recolección, tratamiento, compra, selección, acondicionamiento, transformación, clasificación, transporte o comercialización.

Elastómeros

Son aquellos plásticos que tienen como principal característica una elevada elasticidad, estos se deforman cuando se someten a un esfuerzo, pero recuperan su forma original cuando se deja ejercer dicha fuerza sobre ellos. No soportan muy bien el calor debido a que su temperatura de transición vítrea es menor a la temperatura ambiente.

Dentro de los elementos representativos de los elastómeros se destacan los neumáticos de vehículos.

Escoria

Es un subproducto formado en algunos procesos de purificación o sedimentación de metales.

Extrusión

Cuando la materia prima es fundida, esta pasa de forma continua a través de una boquilla y es recogida a la salida de la misma por un sistema de arrastre. Al enfriarse, bien sea por contacto con el aire del medio ambiente o mediante circulación forzada de aire frío, se obtiene un material final denominado perfil.

Extrusión – espumado

Es un proceso de transformación donde una resina termoplástica es extruida simultáneamente con un agente espumante, al pasar a través de una boquilla, para formar un tubo y transformarse en lámina con estructura celular o espumada. Posteriormente, ésta es enfriada y dejada en maduración para que libere el agente espumante dentro de un término establecido y, de esa manera, garantizar su utilización en Termoformado u otros procesos posteriores. De esta forma se produce tanto poliestireno como polietileno

espumado. Con el uso de aditivos se puede modificar el producto en color, dureza y otras características físicas².

Fragmentación/Trituración

Proceso mediante el cual el vehículo es reducido a partículas inferiores a 10 cm de diámetro.

Moldeo abierto por aspersión (Spray up)

Este consiste en recubrir un molde con pintura a base de poliéster y después con un equipo de aspersión se incorpora la resina, simultáneamente la fibra de vidrio se va cortando en pequeñas mechas, el uso de resina y fibra debe ser proporcional para garantizar la estructura de la pieza³.

Moldeo abierto por contacto (Hand Lay up)

Es similar al anterior, solo que en este caso la resina y la fibra de vidrio se incorporan por capas manualmente al molde debido a que se hace sin un equipo de aspersión⁴.

Moldeo por embobinado (Filament Winding)

Este es un proceso automatizado, su uso generalmente está enfocado a piezas de forma tubular, consta de un molde giratorio al que se le va enrollando mechas de fibra de vidrio previamente impregnadas de resina, el filamento está unido a guía que proporciona un patrón geométrico para que el molde sea envuelto en su totalidad⁵.

Moldeo por Inyección

Este proceso se inyecta aire en la boquilla de salida, que deforma el plástico saliente. Se forma así una burbuja de aire que estira el plástico el cual posteriormente pasa por unos

² Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - Guías ambientales sector plásticos, 2004, pág. 39.

³ rhinonerd.blogspot.com

⁴ [www.wacker.com/ Hand Lay-Up](http://www.wacker.com/Hand-Lay-Up)

⁵ www.gdecotech.com/Filament-winding

rodillos enfriadores hasta conseguir la película deseada. De este proceso se derivan productos para el embalaje de alimentos o películas fotográficas, etc⁶.

Moldeo por Compresión

Es un proceso complementario a la extrusión, consiste en colocar en el fondo de un molde caliente materia prima fundida con el fin de someter está a presión para que tome la forma de la cavidad, después de esto se deja enfriar para que se solidifique el polímero y por último se retira del molde⁷.

Moldeo por extrusión – soplado

Este consiste en introducir en el molde una cantidad de material fundido, luego por intermedio de un tubo se inyecta aire a presión haciendo que el material fundido se expanda hasta llegar al punto donde el plástico se adapta al molde, en este proceso se obtienen objetos de paredes delgadas⁸.

Monómero

Es una molécula de pequeña masa molecular que unida a otros monómeros, cientos o miles, por medio de enlaces químicos, generalmente covalentes, forman macromoléculas llamadas polímeros.

Plásticos

Los plásticos son materiales relativamente nuevos, pues el comienzo de su fabricación data desde la segunda mitad del siglo XIX, esta industria ha sufrido un rápido crecimiento y transformación que ha permitido la masificación de su uso y así mismo se ha creado diversos tipos de plásticos al punto que en algunas aplicaciones como la medicina y telecomunicaciones son indispensables.

Los plásticos hacen parte de un grupo de compuestos orgánicos denominados polímeros. Están conformados por largas cadenas macromoleculares que contienen en su estructura

⁶ <http://induplastco.com>.

⁷ tecnologiadelosplasticos.blogspot.com

⁸ Ídem.

carbono e hidrogeno. La materia prima para la fabricación de plásticos puede ser de origen sintético o natural, pero en su mayoría proviene de gas natural y petróleo⁹.

Polímero

Material orgánico que consta de largas cadenas de moléculas compuestas por muchas unidades llamadas monómeros. La mayoría de los plásticos tienen una cadena de átomos de carbono como columna vertebral. Los polímeros se mezclan casi siempre con aditivos antes de su utilización. Plásticos = polímeros + aditivos.

Reciclaje

Es cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios, que el generador abandona, rechaza o entrega y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o de disposición final. Los residuos sólidos se dividen en aprovechables y no aprovechables¹⁰.

Residuo Sólido aprovechable

Es cualquier material, objeto, sustancia o elemento sólido que no tiene valor de uso directo o indirecto para quien lo genere, pero que es susceptible de incorporación a un proceso productivo¹¹.

Residuo sólido no aprovechable

Es todo material o sustancia sólida o semisólida de origen orgánico e inorgánico, putrescible o no, proveniente de actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios, que no ofrece ninguna posibilidad de aprovechamiento, reutilización o reincorporación en un proceso productivo. Son residuos sólidos que no tienen ningún valor

⁹ Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - Guías ambientales sector plásticos, 2004, pág. 14.

¹⁰ Decreto 1713 de 2002

¹¹ Ídem

comercial, requieren tratamiento y disposición final y, por lo tanto, generan costos de disposición⁴.

Resina

Es un polímero artificial resultado de la reacción química entre dos o más sustancias, habitualmente con ayuda del calor o de un catalizador. Esta definición incluye a la goma sintética, siliconas (elastómeros).

Reutilización

Es toda operación por la que los componentes de los vehículos al final de su vida útil se utilizan para el mismo fin para el que fueron concebidos o para fines similares¹².

Rotomoldeo

También conocido como moldeo rotacional, este es un proceso donde un molde hueco se llena con resina líquida o en polvo y es rotado en dos direcciones en una cámara caliente, hasta que la resina cubre la superficie del molde y se solidifica formando una pieza¹³.

Siderurgia

Se denomina así a la técnica o conjunto de técnicas que se utilizan para el tratamiento del mineral de hierro con el fin transformarlo para obtener otros materiales.

Subproducto

Material o sustancia obtenida en un proceso de producción industrial, de transformación o de consumo al cual la empresa productora no le encuentra utilidad y, por lo tanto, es gestionado como residuo; sin embargo, sí puede ser utilizado como materia prima o auxiliar en otro proceso productivo distinto, sin poner en peligro la salud humana ni causar perjuicios al medio ambiente.

¹² Directiva 75/442/CEE.

¹³ Guías Ambientales para el Sector Plásticos, Colombia 2004.

Termoplásticos

Los materiales que poseen esta característica son aquellos que se deforman y/o funden cuando se calientan, lo cual permite que se puedan moldear y formar diferentes objetos, también el reciclaje de estos puede realizarse a través de procesos de fusión. De acuerdo a la temperatura que se encuentren, su estado físico dependerá del proceso de calentamiento. Cuando un material termoplástico se calienta hasta superar el punto de fusión este pasará al estado líquido, antes de este estado el material es deformable o semisólido y a temperatura ambiente permanece rígido.

Los materiales termoplásticos más comunes son el polietileno (PE), el polipropileno (PP), el polietilentereftalato (PET), las poliamidas (PA), el policloruro de vinilo (PVC), el poliestireno (PS) y el polimetacrilato (PMMA).

Termoestables

Los termoestables son más resistentes al calor que los termoplásticos y cuando se calientan no se funden, sino que los enlaces que mantienen unidas las moléculas que forman el material se destruyen y este se degrada. Lo anterior permite deducir que el reciclaje de estos materiales mediante calor no es posible, sin embargo, existen métodos químicos que pueden ser utilizados para su reciclaje.

Este tipo de material presenta dificultades a la hora de fabricarse debido a que no es posible su fundición también es más complejo darles forma.

Los plásticos termoestables más utilizados son los poliésteres, la baquelita, las resinas epoxi y el poliuretano.

Termoformado

Consiste en someter a calor láminas que previamente han sido extruidas, el termoformado se puede aplicar mediante vacío, presión y mecánicamente.

El termoformado al vacío funciona ubicando la lámina caliente en un molde cóncavo, a la cual se le va aplicar vacío de manera que esta se deforme hasta llegar a tocar las frías paredes del molde, allí se endurece quedando el material terminado¹⁴.

Trituración o fragmentación

Proceso mediante el cual las partes grandes del vehículo se reducen a diámetros inferiores a 10 cm, con el objetivo de separar componentes ferrosos que van al proceso de fundición¹⁵.

Valorización

Es cualquier procedimiento que permita el aprovechamiento de los recursos contenidos en los residuos sin poner en peligro la salud humana y sin utilizar métodos que puedan causar perjuicios al medio ambiente¹⁶.

Vehículo fuera de uso o vehículo al final de su vida útil

Se considera así a los vehículos de servicio público de transporte colectivo de pasajeros y/o mixto del radio de acción metropolitano, distrital y/o municipal, que llevan 20 años en circulación y, debido a su antigüedad, deben ser integrados a un proceso de desintegración física y chatarrización¹⁷.

¹⁴ Guías Ambientales para el Sector Plásticos, Colombia 2004.

¹⁵ SIDENAL S. A.

¹⁶ Unión Europea, directiva 91/156/CEE.

¹⁷ Ley 105 de 1993.

2. Definición del Problema

El propósito de las leyes que guardan relación con el tema de la chatarrización de vehículos es, en primera instancia, modernizar el parque automotor para el transporte público colectivo en el país. Dicho proceso requiere tiempo y una administración adecuada, pues no se puede sacar tan fácilmente de circulación los vehículos, porque se originaría un desabastecimiento para cumplir con la demanda de transporte, que hoy por hoy se constituye como una necesidad básica a nivel nacional y distrital. Así mismo, es importante resaltar que el proceso de desintegración de vehículos debe velar porque no se genere un mercado negro de repuestos, e incluso de vehículos que ya cumplieron su ciclo de vida útil, dado que la intención es retirar de las calles tecnología antigua, que es la que más contamina, y reemplazarla por una más moderna.

La única entidad desintegradora autorizada en Bogotá para la chatarrización de vehículos fuera de uso del sector servicio público es SIDENAL S. A. Esta entidad realiza procesos de desmontaje de ciertos componentes como la batería y la disposición de fluidos como aceites, combustibles, líquido de frenos, gas de aire acondicionado, líquido refrigerante, ácido de batería, entre otros. Tales procedimientos son ejecutados a través de entidades especializadas o gestores externos certificados, que deben garantizar el manejo medioambiental, y deben cumplir con la normatividad vigente (decreto 4741 de 2005), sin embargo, el problema no solo radica en la gestión de fluidos o residuos peligrosos.

Más del 60% de un vehículo de servicio público está compuesto por metales ferrosos, y el 40% restante corresponde a otros materiales como plástico, caucho, vidrio, metales no ferrosos, textiles y una mezcla de varios a la que se denomina tierra, entre otros. Actualmente SIDENAL en su proceso productivo no posee una alternativa económica, técnica y ambientalmente viable para el manejo de estos subproductos.

Los subproductos mencionados anteriormente se convierten en impactos potenciales debido a lo siguiente:

- Estar almacenados a la intemperie.
- Estar mezclados entre sí, debido a que son producto de procesos como la fragmentación, el cual son triturados.

- Intensificar y extender el impacto ambiental que generan por la disposición dada a los recursos geosféricos, hídricos, atmosféricos y paisajísticos.
- Proporcionar una imagen negativa a SIDENAL S. A., a sus empleados, sus miembros activos, la población y demás personas que guarden relación con la entidad.
- Suscitar el incumplimiento ante las entidades encargadas de verificar el estado ambiental de la empresa.
- Causar posibles gastos a la empresa debido a la mala gestión de los subproductos.

Debido a los inconvenientes que se derivan de las circunstancias descritas, es necesario realizar una gestión adecuada de los subproductos, para evitar la pérdida del gran potencial de aprovechamiento que poseen, teniendo en cuenta que SIDENAL es la única que recibe VFU a nivel distrital.

3. Estado del Arte de la Gestión de Vehículos Fuera de Uso

La gestión de los vehículos fuera de uso es un tema nuevo en Colombia, pero no es desconocido en países de Norteamérica y Europa. La problemática generada por los VFU en Bogotá es similar a la vivida en otros países, que hoy en día ofrecen diferentes alternativas de manejo, con las cuales cambió la percepción de los escépticos que consideraban que los subproductos de los VFU no eran más que un residuo. Así mismo, tales alternativas permiten el aprovechamiento de los subproductos en pro de obtener beneficios ambientales, económicos y sociales.

El proceso de desintegración física de vehículos ha adquirido importancia mundial, debido a que se ha convertido en un proceso en el cual se ven implicados los subproductos que conforman un vehículo, exceptuando la materia prima ferrosa. En relación con esta situación son varias las experiencias internacionales en la creación de rígidas normativas, implementación de acciones y búsqueda de soluciones que garanticen la sostenibilidad de este proceso industrial.

En el ámbito internacional, el Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea, mediante la Directiva 2000/53/CE, plantean que a más tardar desde el 1 de enero de 2006 debía aumentarse la reutilización y valorización de todos los vehículos al final de su vida útil, hasta un mínimo del 85% del peso medio por vehículo y año. Dentro del mismo plazo, se aumentaría la reutilización y reciclado hasta un mínimo del 80% del peso medio por vehículo y año. Adicionalmente, la normativa citada señala que a más tardar el 1 de enero de 2.015, se incrementará la reutilización y la valorización de los VFU hasta un mínimo del 95% del peso medio por vehículo y año. En este mismo plazo, se aumentará la reutilización y reciclado hasta un mínimo del 85% del peso medio por vehículo y año.

En países como España se ha acogido la normativa aludida; allí se ha adaptado la ley internacional al ordenamiento jurídico español por el Real Decreto (RD) 1383/2002 y se han establecido unas guías ambientales y manuales de buenas prácticas ambientales en la gestión de vehículos al final de su vida útil. Las guías y manuales contemplan, principalmente, la creación de tres tipos de instalaciones para el tratamiento de los vehículos, conocidas como: 1. Centros Autorizados de Tratamiento de vehículos al final de

su vida útil o CAT; 2. Instalaciones de fragmentación o IF; y 3. Instalaciones de post-fragmentación o ITP.

Según datos proporcionados por asociaciones muy importantes relacionadas con la gestión de los VFU como la Asociación Española para el tratamiento medioambiental de los vehículos fuera de uso (SIGRAUTO), para el año 2012 en España se contaba con 990 CAT, 27 IF y 10 ITP.

Además, otras instancias como la Asociación Nacional de Fabricantes de Automóviles y Camiones (ANFAC) y la Federación Española de la Recuperación (FER) en compañía de SIGRAUTO, han elaborado grandes investigaciones y proyectos encaminados a la valoración energética de los vehículos al final de su vida útil, para lo cual han propuesto técnicas como el uso de hornos de lecho fluidizado, y de hornos de cementeras.

Por otra parte, cabe citar la experiencia de México, donde se han establecido los denominados planes de manejo de los vehículos fuera de uso, los cuales comprenden en su núcleo de operaciones cuatro tipos de instalaciones: los distribuidores y Centros Autorizados de Recepción (CAR), los desmanteladores, los trituradores y los depósitos o corralones.

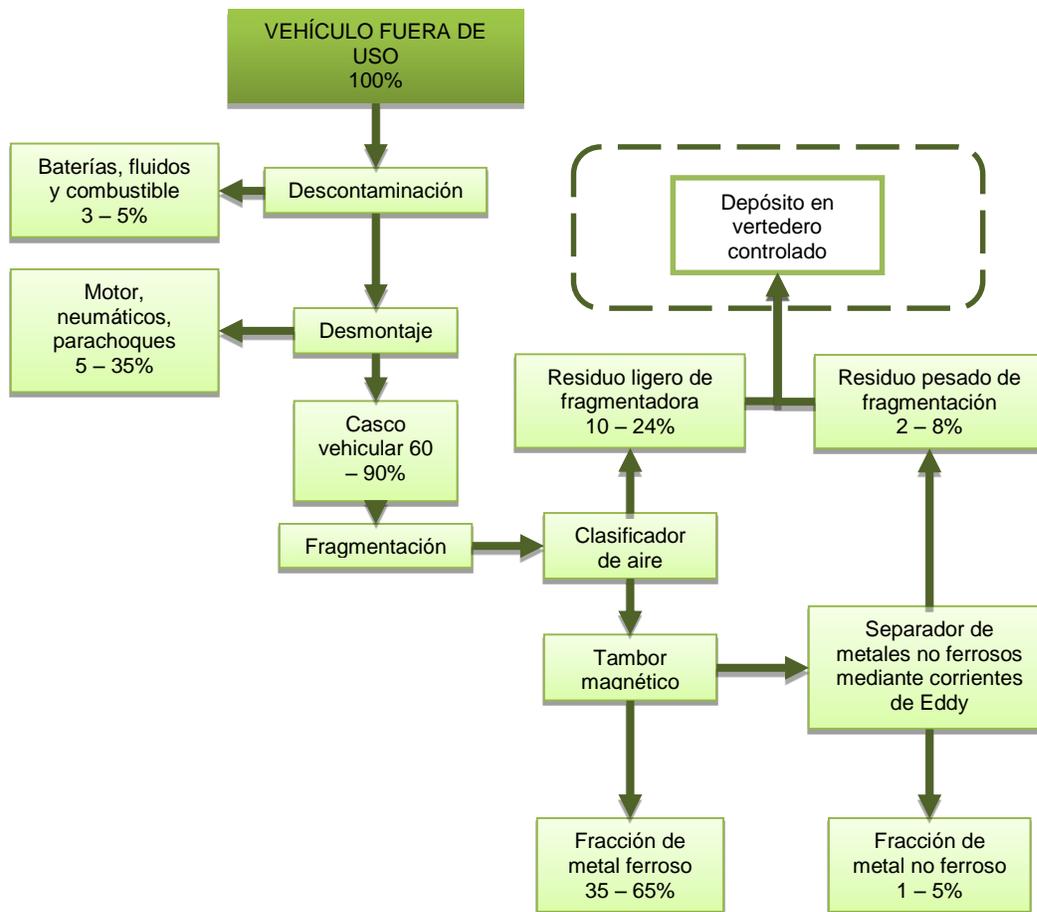
De igual manera, la nación mexicana incluye dentro de su modelo de gestión ambiental las industrias del acero y la fundición, las cementeras y de rellenos sanitarios, y las instalaciones para el tratamiento de los materiales o residuos peligrosos retirados de los VFU. Los sectores del acero y la fundición están asociados directamente al procesamiento de los productos obtenidos por los trituradores, principalmente, materiales ferrosos y no ferrosos provenientes del triturado de los VFU. A su vez, la industria cementera y los rellenos sanitarios están destinadas al manejo y disposición de los residuos de trituración de los vehículos. Por último, las instalaciones para el tratamiento de los materiales o residuos peligrosos retirados de los VFU están destinadas a recibir y procesar para tratar, neutralizar o eliminar los materiales en cuestión.

Muchos países adelantan programas similares de gestión de los VFU, la mayoría de los cuales se enfoca en el proceso de reciclaje de los vehículos. La etapa inicial de reciclaje consiste en el desmantelamiento de los componentes que contienen sustancias peligrosas como las baterías de plomo, aceites mecánicos y gases refrigerantes. Después, el proceso

se enfoca en los materiales reciclables, algunos de los cuales pueden destinarse para uso secundario, como los motores, los neumáticos y los parachoques. En los EE. UU. se opta por la recogida voluntaria de los componentes que contienen mercurio durante el desmantelamiento, como los interruptores. En China, los componentes recogidos en los desmanteladores son revendidos o reciclados como productos secundarios.

En el Esquema 1 se observa, a grandes rasgos, la gestión de vehículos fuera de uso en la Unión Europea. También se presenta un análisis básico de materiales.

3.1. Unión Europea



Esquema 1. Sistema de manejo de vehículos fuera de uso de la Unión Europea.

Fuente: Shin-ichi et al. (2014).

La descontaminación y el desmontaje de los vehículos reducen el peso de los componentes del vehículo entre un 10% y un 40% del peso original. Tras la fragmentación del casco vehicular, los materiales triturados se separan por aire, lo cual resulta en una fracción del residuo ligero de fragmentadora, que oscila entre un 10% y un 24 %, el cual, unido al residuo pesado de fragmentadora (entre el 12% y el 32%), se dispone en un vertedero controlado. El resto del producto de fragmentación pasa a un tambor magnético, de lo cual se obtiene la fracción de metal ferroso, que es un producto de aprovechamiento, al igual que el metal no ferroso. No obstante, para cumplir con la directiva europea, un porcentaje correspondiente al 12 – 32% del peso del vehículo significa una pérdida formidable, para lo cual se han implementado diversas alternativas enfocadas en manejar el residuo de fragmentación. Dichas estrategias se exponen en la Tabla 1.

Tabla 1. Tecnologías para la gestión del residuo de fragmentación acogidas por la Unión Europea.

Tecnología	Descripción	Tipos
Recuperación secundaria del residuo de fragmentación.	Mejora física y mecánica del residuo de fragmentación	Clasificación por aire, separación magnética, cribado, selección, óptica Clasificación manual, secado, separación de flotación/sumidero, flotación por espuma Clasificación termo-mecánica, molienda húmeda, hidrociclón, estático.
	Recuperación secundaria avanzada del residuo de fragmentación.	Actualización a combustible, la incorporación a los productos fabricados.
Residuo de fragmentación como fuente de energía.	Co-incineración con otros flujos de residuos	Horno de parrilla, cámaras de combustión de lecho fluidizado, horno rotatorio, horno de cemento
	El uso de ASR como combustible en procesos metalúrgicos	Altos hornos, procesos de producción de metales no ferrosos piro-metalúrgico
Tratamiento termoquímico del residuo de fragmentación	Pirólisis y gasificación	

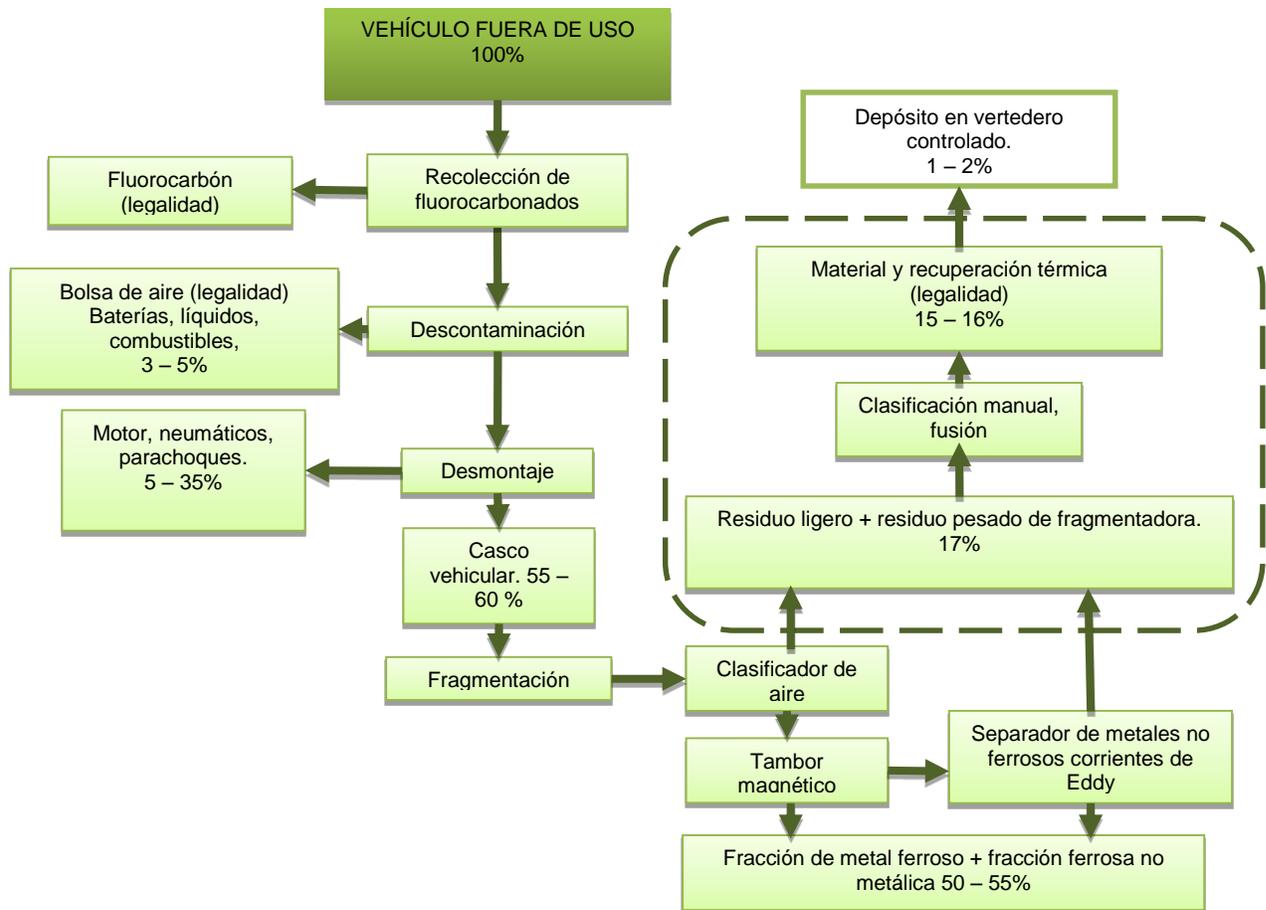
Fuente: Autor.

Gracias a estas alternativas la disposición en vertederos (rellenos sanitarios) ha dejado de ser una opción cercana para la gestión de subproductos de los VFU.

3.2. Japón

En Japón, la gestión de los mencionados subproductos es similar a la de la Unión Europea en el sentido de que las dos manejan procesos de descontaminación y desmontaje, los cuales reducen considerablemente el peso del vehículo, como se observa en el Esquema

2. Sin embargo, Japón maneja un modelo un poco más estricto, basado en la responsabilidad.



Esquema 2. Sistema de manejo de vehículos fuera de uso en Japón.

Fuente: Shin-ichi ét al. (2014).

En Japón, en virtud de la ley de reciclaje Act on Recycling, etc. of End-of-Life Vehicles (Act No. 87 of July 12, 2002), los fabricantes e importadores de los vehículos son responsables de recolectar y tratar tres artículos de los vehículos que han culminado su ciclo de vida. Estos artículos son el gas fluorocarbono del aire acondicionado del coche, bolsas de aire y el residuo de fragmentación del automóvil. Con ello, se logra mayor facilidad el tratamiento de los VFU.

Aun cuando los fabricantes e importadores se encargan de la gestión de los materiales, la responsabilidad se extiende al dueño del vehículo, quien paga la tasa de reciclado mucho

antes de que el vehículo llegue al final de su vida útil. En el caso de vehículos nuevos, la cuota de reciclaje se paga en el momento de la compra del vehículo nuevo. En el caso de los vehículos en uso, la cuota de reciclaje se paga en el momento de la inspección periódica. La cantidad de cuota de reciclaje varía según el tamaño del vehículo, el número de bolsas de aire y así sucesivamente, pero el promedio es de alrededor de 10.000 yenes para los VFU.

Este tipo de gestión posee muchos beneficios, entre estos, el principal es la posibilidad de poder gestionar el residuo de fragmentación, que representa aproximadamente el 17% del vehículo, con lo cual se logra que una mínima parte –entre el 1% y el 2% – sea dispuesta en un vertedero o relleno sanitario.

En función de lo anterior, Japón ofrece novedosas tecnologías para el manejo de los residuos de fragmentación, que se exponen en la Tabla 2:

Tabla 2. Tecnologías para la gestión del residuo de fragmentación acogidas por Japón.

Tecnología	Descripción
Combustible alternativo + recuperación de materiales	Utilización de las instalaciones existentes como refinerías de metales no ferrosos; uso de los residuos de fragmentación como combustible alternativo, y recuperación de metales como el cobre
Disposición térmica + recuperación térmica + recuperación de materiales	Recuperación térmica en la forma de electricidad o vapor de las calderas continuas; recuperación de los recursos de metal y la escoria mediante el tratamiento de la ceniza incinerada en hornos de fusión.
Gasificación + utilización del gas + recuperación de materiales	Producción de gas combustible a partir de la gasificación de residuos de fragmentación
Separación de materiales + gestión individual.	Tecnologías encaminadas a la recuperación de un material simple en específico

Fuente: Autor.

De esta manera se cumplen los objetivos y las metas ambientales trazadas por el gobierno de Japón.

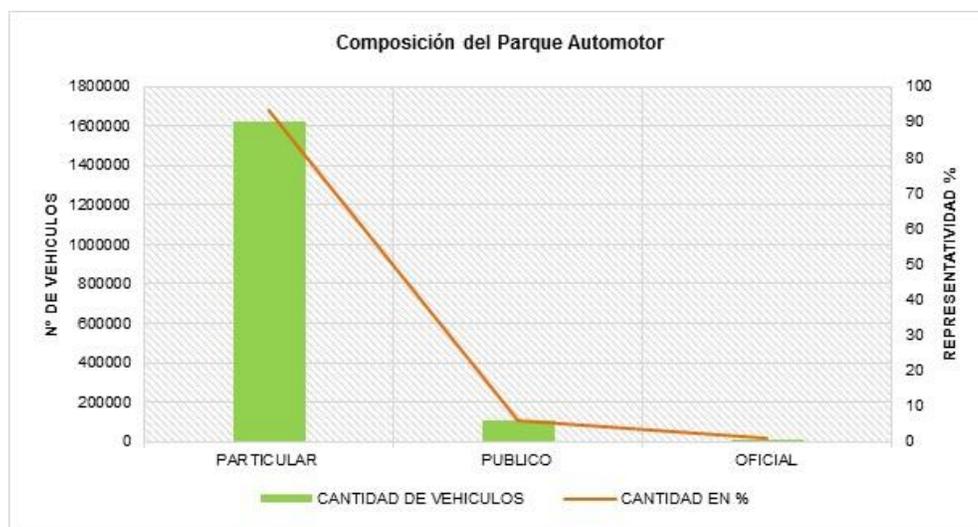
4. Problemas Asociados a la Gestión de Vehículos Fuera de Uso

En aras de dar solución a los problemas de movilidad de la ciudad de Bogotá, el Distrito ha propuesto acciones a largo plazo, en los siguientes tres ejes:

1. Una progresiva sustitución de la utilización del transporte individual por el colectivo en las aglomeraciones urbanas.
2. Una fuerte apuesta por el transporte colectivo con autobuses no contaminantes, metro y cercanías ferroviarias.
3. El fomento de la utilización de coches no contaminantes. Con las actuales tecnologías, parece que, a corto y mediano plazo, la opción por la que la industria del automóvil ha optado es el coche híbrido, con motor eléctrico y de gasolina, así como la reducción del peso de los vehículos, para disminuir el consumo de combustible.

En 2012, la composición del parque automotor (ver Gráfica 1) sufrió una leve modificación con respecto a la registrada en 2011. En efecto, el servicio particular aumentó un punto porcentual su participación dentro del parque automotor, alcanzando un 93% de representatividad, seguido por el servicio público, con el 6%, y el servicio oficial, con el 1%¹⁸.

¹⁸ Movilidad en cifras 2012. Secretaria de Movilidad. Alcaldía Mayor de Bogotá.



Gráfica 1. Composición del parque automotor registrado en 2012

Fuente: Registro Distrital Automotor (RDA) - Concesión Servicios Integrales para la Movilidad (SIM). Cálculos Dirección de Estudios Sectoriales y de Servicios-SDM.

Pese a que la demanda de vehículos particulares en la ciudad de Bogotá es alta, el análisis se enfoca en los vehículos de servicio público. En la Tabla 3, se observan las cifras que recoge la Secretaría de Movilidad en su informe de 2012, relativas a la cantidad de vehículos de transporte público de pasajeros, de radio de acción urbano, registrados en la ciudad al 31 de diciembre del año citado.

Tabla 3. Cantidad de vehículos públicos urbanos activos para el 2012 en la ciudad de Bogotá.

Transporte Público Urbano		Con T. O. ^a	Sin T. O. ^b	Total
Colectivo	Bus	5574	403	5977
	Buseta	2626	426	3052
	Microbus	4418	141	4559
Individual	Taxis	49 555	2059	51 614
Masivo	Bus articulado	1341	13	1354
	Bus biarticulado	92	0	92
	Bus alimentador	501	1	502
TOTAL		64 107	3043	67 150

Fuente: Movilidad en cifras 2012.

^a Vehículos que se encuentran prestando el servicio en la ciudad, es decir, con Tarjeta de Operación vigente.

^b Vehículos que no tenían la Tarjeta de Operación vigente.

En la tabla anterior se observa que, en total, había 67.150 vehículos de servicio público urbanos en circulación, en el año 2012.

Así como la cantidad de vehículos en circulación crece, también se eleva el número de vehículos que salen de circulación o que han culminado su ciclo de vida. Cifras proporcionadas por SIDENAL dan cuenta del número de vehículos de servicio público que ingresaron a la entidad en el periodo comprendido entre enero y noviembre del 2013, discriminados de la siguiente manera en la Tabla 4.

Tabla 4. Demanda de vehículos fuera de uso en las instalaciones de SIDENAL para el año 2013.

Mes/año 2013	Buses	Busetas	Micro	Taxis	Total
Enero	14	33	5	243	295
Febrero	38	53	9	323	423
Marzo	32	46	9	258	345
Abril	25	44	18	344	431
Mayo	40	49	10	313	412
Junio	52	35	18	254	359
Julio	51	28	12	282	373
Agosto	38	21	9	325	393
Septiembre	36	15	13	381	445
Octubre	42	22	8	355	427
Noviembre	50	12	8	319	389
Total	418	358	119	3397	4292

Fuente: SIDENAL S. A.

Si se realiza una comparación de las cifras entre los vehículos activos y los vehículos fuera de uso, se identifica un comportamiento directamente proporcional, por ejemplo, en la Tabla 3, dentro de la cantidad de vehículos activos se observa que los taxis son el tipo de vehículo con mayor representatividad entre los vehículos de servicio público, también son el tipo de vehículo con mayor entrada a las instalaciones de SIDENAL como VFU.

En Colombia, no existe información acerca de la composición física de los vehículos, en cuanto a peso, representatividad o tipo de elementos/componentes. Aunque SIDENAL realice el proceso de desintegración física y chatarrización, encamina sus actividades al uso de la materia prima ferrosa para la generación de acero sismorresistente para el sector de la construcción y otros sectores, de ahí que la mejor forma para conocer la composición física de los subproductos olvidados sea realizar un proceso de caracterización de un vehículo.

4.1. Trabajo de Campo Realizado

Para el presente trabajo de grado se realizó el desmontaje de un vehículo Chevrolet Spark modelo 2007. Se escogió esta marca y tipo de auto porque posee gran demanda entre los

vehículos de circulación, por lo que se proyecta que en unos años, sea el vehículo de mayor entrada en las instalaciones de SIDENAL S. A.

Para el desarme del vehículo mencionado anteriormente, la entidad desintegradora proporcionó lo siguiente:

- Un espacio para el desmontaje con un área de 64 m².
- Una báscula digital, de capacidad máxima de 300 kg.
- Un equipo de apoyo conformado por 6 personas, dentro de las cuales hay un mecánico y un operario de las instalaciones de SIDENAL.

El proceso de desmontaje y caracterización del vehículo se llevó a cabo en seis fases, que se describen en el Esquema 3.

FASE I. Ingreso del vehículo al área de desmontaje



Selección del vehículo destinado para el desmontaje. Vehículo Chevrolet Spark modelo 2007

FASE II. Desmontaje de componentes exteriores.

En esta fase se desmontan los componentes de mayor volumen, peso y más fácilmente de separar como los parachoques, el tablero de instrumentos, las luminarias, etc.



FASE III. Desmontaje de componentes interiores.



En esta fase se separan las partes interiores y los constituyentes de diferente material unidos entre sí, como el radiador, el múltiple de admisión, la batería, pedales etc.



Esquema 3. Proceso de desmontaje y caracterización de un VFU de servicio público Chevrolet Spark modelo 2007.

Fuente: Autor.

Con el desmontaje del vehículo se buscaba hacer la caracterización física detallada de los componentes, tanto en peso como en porcentaje, y con esto poder determinar alternativas de manejo para cada uno. Es importante resaltar que para el material ferroso se continúa con la alternativa utilizada actualmente: el uso como materia prima en el proceso de siderurgia.

En la Tabla 5 se presenta la composición física del vehículo, a partir de los hallazgos del trabajo de campo. Se observa la caracterización del vehículo fuera de uso marca Chevrolet Spark modelo 2007 con un peso total de 870 kg. Para el pesaje de los componentes se utilizó una báscula digital con capacidad de 300 kg.

Tabla 5. Caracterización física del vehículo Chevrolet Spark modelo 2007.

Componentes	Material	Cantidad	Peso (kg)	%
Cubierta interior de puertas	Plástico	4	7,00	0,805%
Cubiertas alm. agua	Plástico	2	2,00	0,230%
Panel de instrumentos	Plástico	1	4,20	0,483%
Parte interior panel de instrumentos	Plástico	1	1,50	0,172%
Soporte superior baúl	Plástico	1	1,80	0,207%
Consola caja cambios	Plástico	1	1,70	0,195%
Parachoques delantero	Plástico	1	3,20	0,368%
Parachoques trasero	Plástico	1	2,70	0,310%
Estopas	Plástico	2	1,50	0,172%
Farolas	Plástico	2	4,60	0,529%
Cubierta luminaria traseras	Plástico	2	0,20	0,023%
Cubiertas amortiguador	Plástico	2	1,30	0,149%
Conducto sistema aire acondicionado	Plástico	2	0,30	0,034%
Conductos internos	Plástico	2	2,40	0,276%
Tapa puerta trasera baúl	Plástico	1	0,40	0,046%
Soporte interior guantera	Plástico	1	1,20	0,138%
Cubierta retrovisor	Plástico	2	0,40	0,046%
Carcasa múltiple de admisión	Plástico	1	4,20	0,483%
Filtro de aire I	Plástico	1	1,40	0,161%
Filtro de aire II	Plástico	1	0,60	0,069%
Parachoques puertas	Plástico	4	1,20	0,138%
Asiento trasero	Plástico	1	7,00	0,805%
Guardabarros	Plástico	2	2,80	0,322%
Carcasas calefacción	Plástico	2	1,70	0,195%
Ventilador radiador	Plástico	1	0,70	0,080%
Paral cinturón de seguridad	Plástico	4	2,00	0,230%
Consolas varias	Plástico	4	3,00	0,345%
Rejilla parabrisa	Plástico	1	0,90	0,103%
Guantera	Plástico	1	0,90	0,103%
Asiento delantero	Plástico	2	3,60	0,414%
Espumas varias	Plástico		8,30	0,954%
Tablero de mando del sistema de aire acondicionado	Plástico	1	0,70	0,080%
Otros I	Plástico		8,70	1,000%
Cauchos varios	Caucho		11,50	1,322%
Neumático	Caucho	4	27,20	3,126%
Triángulo	Vidrio	2	0,80	0,092%

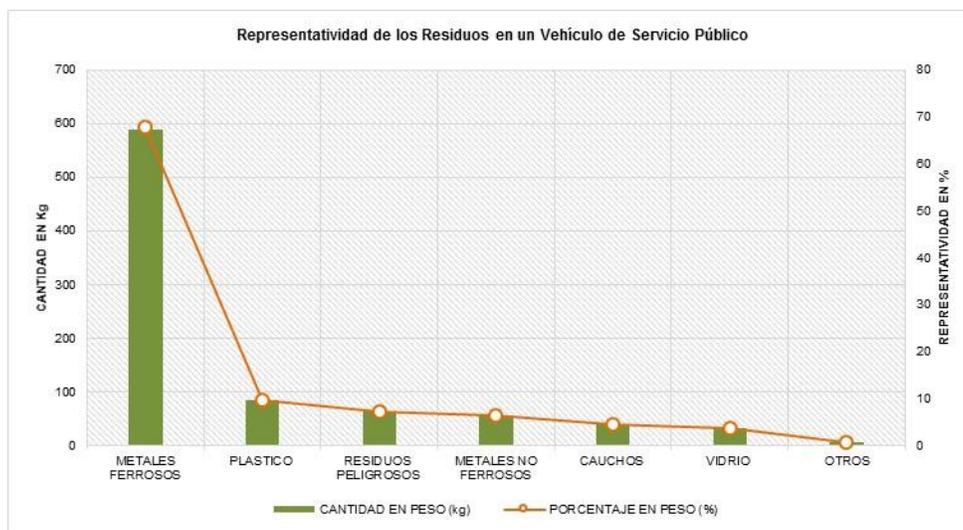
Componentes	Material	Cantidad	Peso (kg)	%
Retrovisor	Vidrio	2	0,20	0,023%
Lateral puerta	Vidrio	4	11,60	1,333%
Panorámico	Vidrio	1	11,50	1,322%
Trasero	Vidrio	1	8,50	0,977%
Calefacción	No ferroso	1	0,60	0,069%
Catalizador	No ferroso	1	3,20	0,368%
Caja de motor (culata)	No ferroso	1	17,60	2,023%
Pistones motor	No ferroso	4	6,80	0,782%
Caja de velocidad (carcasas)	No ferroso	1	12,80	1,471%
Arranque	No ferroso	1	4,40	0,506%
Cables generales	No ferroso		5,90	0,678%
Motoventilador	No ferroso	2	0,60	0,069%
Calefacción motor	No ferroso	1	0,18	0,021%
Otros II	No ferroso		2,00	0,230%
Batería	Respel	1	14,20	1,632%
Radiador	Respel	1	2,20	0,253%
Múltiple de admisión	Respel	1	17,60	2,023%
Pastillas impregnadas de asbesto	Respel		0,59	0,068%
Bujías impregnadas de gasolina	Respel		0,61	0,070%
Recipiente líquido de frenos	Respel	1	0,12	0,014%
Computador	Respel	1	0,64	0,074%
Bombillas	Respel		0,20	0,022%
Caja de cambios impregnada de valvulina	Respel	1	26,10	3,000%
Rin	Metal ferroso	2	3,80	0,437%
Puerta delantera con vidrio	Metal ferroso	1	18,80	2,161%
Puerta trasera con vidrio	Metal ferroso	1	14,80	1,701%
Capó	Metal ferroso	1	7,20	0,828%
Tornillos	Metal ferroso		2,90	0,333%
Casco vehicular	Metal ferroso	1	544,16	62,547%
Techo	Variable	1	2,30	0,264%
Timón	Aluminio, espuma, ferroso	1	1,50	0,172%
Cinturón de seguridad	Textil, Plástico, metal ferroso y no ferroso	2	2,80	0,322%
Total peso kg			870,00	100%

Fuente: Autor.

Es importante aclarar lo siguiente:

- El componente llamado Otros I corresponde a pequeñas partes plásticas adheridas a otros componentes de mayor tamaño, sean otros componentes plásticos de mayor volumen, metales ferrosos y no ferrosos.

- Los Cauchos Varios forman parte de un grupo de empaques y recubrimientos, y representan la pieza intermedia para evitar la fricción de componentes como el vidrio y el metal.
- Otros II son un grupo de pequeñas partes no ferrosos adheridas a otros componentes de mayor tamaño, sean otros metales no ferrosos, metales ferrosos o plástico.
- El Radiador es considerado un RESPEL, sin embargo, está constituido en buena parte por metales no ferrosos. Para hacer una apreciación un poco más detallada de la identificación de los subproductos de un vehículo fuera de uso, se muestra la Gráfica 2.



Gráfica 2. Representatividad de los residuos de los vehículos fuera de uso de servicio público.

Fuente: Autor.

De acuerdo con los resultados expuestos en la tabla anterior, se puede afirmar que, en orden de importancia, peso y representatividad, el 62,54% del vehículo está compuesto de metales; el 9,67% corresponde a plásticos; el 7,16% equivale a los residuos peligrosos; los metales no ferrosos corresponden al 6,22%; los cauchos, al 4,45%; el vidrio, al 3,74%; y la categoría “Otros” equivale al 0,76%. Este último grupo de materiales corresponde a espuma, plástico, aluminio, textil, cartón, entre otros. Se hizo tal categorización teniendo en cuenta que la separación de los componentes en cuestión requiere de un proceso complejo.

Por otro lado, se puede mencionar que en la sede de SIDENAL localizada en Tocancipá se lleva a cabo la descontaminación del vehículo mediante el retiro de los fluidos y la extracción de los componentes con características de peligrosidad. Posteriormente, se realiza la reducción del volumen mediante compactación primaria y se lleva el material para la planta ubicada en el municipio de Sogamoso.

Es importante resaltar que la empresa realiza el aprovechamiento de los materiales ferrosos únicamente porque se pierde el gran potencial de aprovechamiento que tienen los demás subproductos. El residuo de fragmentación es una de las mayores problemáticas para la empresa, ya que para la fecha en la que se realizó el trabajo de campo para el presente proyecto existían 90.000 toneladas de residuos de fragmentación acumulados, los cuales se describen en la Tabla 6.

Tabla 6. Cantidad de residuos de fragmentación acumulados en SIDENAL S.A.

Tipo de materiales	Cantidad (Toneladas)	Cantidad (Porcentaje %)
Metales recuperables (no magnéticos)	4500	5
Material inerte (tierra y vidrio)	49 500	55
Material orgánico (caucho y plástico)	36 000	40
Total	90 000	100

Fuente: Autor.

Es importante mencionar que mensualmente se están generando 1400 toneladas aportantes al residuo de fragmentación acumulado.

4.2. Diagnóstico Situacional

El diagnóstico situacional para el presente proyecto se realizó teniendo en cuenta cada una de las etapas del proceso productivo en SIDENAL. Puede entenderse, entonces, que aquellas etapas que no estén contempladas en el presente diagnóstico cumplen con aspectos técnicos y ambientales.

4.2.1. Señalización, Demarcación y Delimitación de las Zonas de Trabajo

Situación Evidenciada

Existen etapas del proceso en SIDENAL, como las de Pesaje, Acería, Figuración y Laminación, que disponen de sistemas de señalización (tanto la empleada para salud ocupacional y seguridad industrial como la convencional) y formas de identificación de las zonas, diferenciándolas de los demás espacios de trabajo, sin embargo, otros espacios de trabajo como las unidades de recepción, descontaminación, almacenamiento temporal de chatarra y de almacenamiento del residuo de fragmentación tienen las siguientes falencias:

- No hay una identificación del área de trabajo.
- No existe delimitación alguna de la zona de trabajo, es decir, no hay un conocimiento del fin de una zona de trabajo y el comienzo de otra zona (límite).
- No existe señalización de índole de seguridad industrial.
- Los espacios de trabajo están a la intemperie, no hay impermeabilización del suelo, es decir, se trabaja sobre el entorno natural del suelo.



Ilustración 1. Identificación de problemas de señalización, demarcación y delimitación de la zona de recepción de vehículos.

Fuente: Autor.

4.2.2. Residuo de Fragmentación

Situación Evidenciada

El residuo de fragmentación se encuentra a la intemperie, formando montañas de aproximadamente 2,5 m de altura, y es una de las circunstancias observadas que conlleva más riesgos. Este residuo de fragmentación es una mezcla de los siguientes residuos industriales:

- Tierra
- Vidrio
- Plástico
- Caucho
- Metales no ferrosos
- Otros

Los residuos pertenecientes a la clase “Otros” son pequeñas fracciones de textil, cartón/papel y fracciones metálicas que no fueron captadas por las bandas magnéticas, debido a que la función de esta no es 100% eficiente: siempre habrá un margen de error mínimo y, por tanto, una mínima fracción de metales ferrosos que se escapa de

las bandas y que es dispuesta con el residuo de fragmentación. Comúnmente le llaman a este fenómeno el cortocircuito del proceso de fragmentación. Debido a la exposición al aire libre de este residuo, se dificulta enormemente su reciclaje. Asimismo, pequeñas cantidades de metales (hierro, cromo, cobre, manganeso, zinc y níquel), están presentes en concentraciones de partes por millón¹⁹.



Ilustración 2. Salida del residuo de fragmentación.

Fuente: Autor

4.2.3. Unidades de Acopio – Almacenamiento de Chatarra, Metales no Ferrosos, Neumáticos Fuera de Uso (NFU) y Polvillo de Acería

Situación Evidenciada

Pese a que mayormente son unidades de almacenamiento temporal, tampoco existe un área específica para el destino de las mismas, lo que genera una desorganización en el proceso productivo. Como tal, estas unidades representan posibles impactos asociados al no tener cobertura alguna, en la parte inferior o superior de las mismas, que impida la exposición a factores climáticos del territorio. La chatarra metálica almacenada a la intemperie –ver Ilustración 3– se puede ir oxidando; a su vez, los remanentes de aceites y fluidos pueden tener contacto con determinadas partes en los

¹⁹ Valoración energética de residuos de fragmentación y neumáticos provenientes de vehículos fuera de uso.

vehículos, lo que implica contaminación por arrastre y lavado de materiales en pequeñas pero significativas proporciones.



Ilustración 3. Chatarra metálica almacenada a la intemperie.

Fuente: Autor

La cantidad de neumáticos fuera de uso aumenta progresivamente, y SIDENAL no ha encontrado una estrategia para darle un valor agregado más que el almacenamiento permanente, que ocasiona prolongación de vectores por acumulación de agua y fuertes temperaturas como se observa en la Ilustración 4.



Ilustración 4. Almacenamiento a la intemperie de neumáticos fuera de uso.

Fuente: Autor.

Por su parte, los metales no ferrosos son separados del residuo ligero de fragmentación manual y son depositados en big-bag, lo que no implica una falencia o error de SIDENAL. No obstante, los big-bag no son sellados (ver Ilustración 5), por lo cual su parte superior queda expuesta al ambiente. Una situación similar se presenta con el polvillo de acería, como se ve a continuación:



Ilustración 5. Almacenamiento de metales no ferrosos y polvillo de acería en Big-Bags.

Fuente: Autor.

4.2.4. Áreas de Descontaminación Vehicular

Situación Evidenciada

Las áreas de descontaminación vehicular cumplen con requerimientos básicos en cuanto a señalización de los depósitos de fluidos, como el líquido de frenos, el aceite refrigerante, entre otros. Sin embargo, la extracción es tradicional, en la medida en que:

- El vehículo se ubica sobre un volco sin ningún otro soporte que garantice que el vehículo no resbale al interior del mismo.
- La extracción de los fluidos es manual: el operario se sitúa debajo del volco y rompe el área donde se encuentran los fluidos, que salen por gravedad y son recolectados en una caneca convencional, para ser depositados finalmente en un bidón.
- Durante la extracción de fluidos, puede haber salpicaduras o remanentes que no capte la herramienta de recolección. En esos casos, se utiliza arena como material absorbente.
- Cada operario debe trasladar herramientas para hacer la labor de descontaminación (I y II), ya que no existe un cuarto de herramientas en las áreas de descontaminación.

En la Ilustración 6 se observa la unidad donde se depositan los autos para la extracción de fluidos.



Ilustración 6. Unidad de descontaminación de vehículos fuera de uso. Volco.

Fuente: Autor.

En cuanto al almacenamiento de los fluidos, se cumple con los requerimientos: se utilizan los recipientes adecuados y se los rotula con etiquetas con información detallada del líquido almacenado, sin embargo, la unidad de almacenamiento no cuenta con sistemas antiderrames más eficaces que la arena; así mismo, muchos de los recipientes se encuentran a la intemperie, pese a que están sellados. Tampoco se cumplen requisitos técnicos indispensables para esta entidad, como un dique o muro de contención con capacidad para confinar posibles derrames, goteos o fugas producidas por incidentes ocasionales al recibir o entregar aceites lubricantes usados, hacia o desde unidades de transporte autorizada. Finalmente, no hay una demarcación de la zona de descontaminación, y se trabaja sobre el subsuelo sin ningún tipo de impermeabilización.



Ilustración 7. Unidad de almacenamiento de aceites usados.

Fuente: Autor.

4.2.5. Área de Compactación y Fragmentación

Situación Evidenciada

El área de compactación posee una cubierta superior (techo), sin embargo, en el sitio se observa desorden de chatarra en el radio de acción de la compactadora.



Ilustración 8. Unidad de compactación.

Fuente: Autor.

La unidad de fragmentación, por su parte, mantiene mejores condiciones de organización en cuanto a la materia prima que entra, al material ferroso fragmentado que sale y al residuo de fragmentación, sin embargo, esta unidad no tiene cobertura inferior ni superior, lo que ocasiona que la chatarra y los fragmentados estén expuestos al ambiente.



Ilustración 9. Unidad de fragmentación.

Fuente: Autor.

Como tal, las dos áreas generan bastante ruido y hay medidas de mitigación en el usuario, mas no en el medio ni en la fuente.

5. Pretensiones del Proceso de Investigación

La normatividad vigente en Bogotá señala que a la culminación del ciclo de vida útil de un vehículo precede la entrega del mismo a una empresa autorizada, para iniciar el correspondiente proceso de chatarrización. Sin embargo, cuando se habla de chatarrización, se hace alusión a una gestión del metal ferroso que conforma un vehículo, con lo cual se deja de lado que un vehículo está conformado por otro tipo de elementos o componentes constituidos de materiales diferentes a los metales ferrosos. Por lo anteriormente expuesto, la base para el proceso de investigación del presente proyecto se centran en el análisis y la evaluación del proceso de chatarrización vehicular del sector transporte público en Bogotá, con el propósito de identificar los elementos o componentes que no están incluidos en la gestión de un vehículo fuera de uso, cuando en realidad podrían establecerse como un subproducto potencial.

Como se observó en la Gráfica 2, entre el 60% y el 70% de un vehículo de uso individual tipo taxi es metal ferroso y, en orden descendente, se encuentran los plásticos, los metales no ferrosos, el caucho (incluyendo los neumáticos fuera de uso), el vidrio y, finalmente, otros materiales.

Ahora bien, si se profundiza en la problemática que implica la gestión de los VFU, se encuentra que al año, según cifras de SIDENAL (ver Tabla 4), hay aproximadamente 3397 vehículos fuera de uso tipo taxi. Si se deduce que el 30% restante de un vehículo equivale a sus subproductos y que el peso promedio de un taxi oscila entre 800 y 1000 kg, resulta ser que anualmente se está desaprovechando un valor aproximado entre 815 ton y 1019 ton por año, lo que significa una pérdida considerable de subproductos que pudieron ser gestionados de manera diferente a un almacenamiento como residuo sólido.

En adición a lo anterior, resta conocer la composición de ese 30% de subproductos que se pierden por cada vehículo fuera de uso, por lo que es necesario determinar a qué partes de un vehículo automotor representa y de qué tipo de materiales se trata. En las siguientes tablas (de la 7 a la 11), se plasman las características y composición de los subproductos más representativos de un vehículo fuera de uso. Se tiene en cuenta el peso representativo de cada subproducto en el vehículo.

Tabla 7. Identificación de subproductos metales ferrosos representativos

Nombre del componente	Detalle	Ilustración
<p>Casco vehicular</p>	<p>También denominado monocasco o chasis, es la parte más representativa en peso de un vehículo (taxi), aproximadamente equivale a 544 kg. Es la unidad de soporte o base del vehículo. Su función principal es proteger a la gente de las partes móviles situadas debajo del capó, y de la exposición al viento y a la lluvia</p>	
<p>Tornillería</p>	<p>Son los utensilios utilizados en la fijación temporal de unas piezas con otras, se encuentran en toda la estructura del vehículo. Los hay de diferentes formas, tamaños y grosor</p>	
<p>Puerta</p>	<p>Un vehículo convencional dispone de cuatro puertas. Su función es servir como unidad de entrada y salida del vehículo, además de brindar seguridad para el conductor y los pasajeros</p>	

Nombre del componente	Detalle	Ilustración
<p>Estructura de asientos</p>	<p>Esta estructura metálica es el soporte de la espuma de los asientos vehiculares, para asegurar una mayor vida útil, y comodidad al pasajero y al conductor</p>	

Fuente: Autor

Tabla 8. Identificación de subproductos plásticos representativos en los VFU

Nombre	Detalle	Ilustración
<p>Recipientes almacenaje de agua</p>	<p>Como su mismo nombre lo dice, son los recipientes donde se almacena agua en el vehículo. Cumplen la función de refrigerar y están hechos de polipropileno</p>	
<p>Sistema de iluminación de un vehículo</p>	<p>Son los dispositivos de iluminación del vehículo ante condiciones de baja visibilidad u oscuridad. Normalmente, se cuenta con luminarias delanteras, traseras y laterales. Son de polipropileno</p>	
<p>Tablero de mando aire acondicionado</p>	<p>Se encuentra en la zona de control de mando del conductor. Esta pieza está hecha de acrilonitrilo, butadieno estireno y policarbonato</p>	

Nombre	Detalle	Ilustración
<p>Carcasa espejo retrovisor</p>	<p>Se encuentran en las zonas exteriores – laterales del vehículo. Proporcionan visibilidad lateral al conductor. Están constituida de: acrilonitrilo, estireno y acrilato</p>	
<p>Cobertura múltiple de admisión</p>	<p>Este se encuentra en la parte frontal del vehículo. Está hecho de polipropileno y su función es cubrir el múltiple de admisión</p>	
<p>Ductos internos aire acondicionado</p>	<p>Son los conductos por donde se transporta el sistema de aire acondicionado. Son polietileno de alta densidad, se encuentran a lo largo del tablero de mando del conductor.</p>	
<p>Cubiertas amortiguador</p>	<p>Son las cubiertas de los amortiguadores de la silla trasera del vehículo. Están constituidas de polipropileno. Como su nombre lo indica, son soportes de amortiguamiento ante un eventual accidente</p>	

Nombre	Detalle	Ilustración
<p>Parales cinturón de seguridad</p>	<p>Se encuentran en las zonas laterales y sirven de soporte para el cinturón de seguridad. Son de polipropileno</p>	
<p>Consola caja de cambios</p>	<p>Estas tres piezas son constituyentes de toda el área denominada caja de cambios. Todas están constituidas de polietileno de alta densidad, y su función es proteger el control de mando de los cambios</p>	 
<p>Filtros de aire</p>	<p>Se ubican en la parte frontal del vehículo cerca al motor. Están hechos de polipropileno</p>	
<p>Ventilador radiador</p>	<p>Mantiene refrigerado el radiador del vehículo. Evita el sobrecalentamiento debido a las altas temperaturas que se producen mientras se utiliza el vehículo. Está constituido de polipropileno</p>	

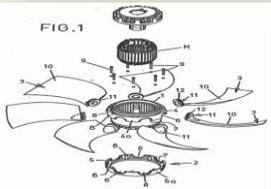
Nombre	Detalle	Ilustración
<p>Soporte trasero del baúl</p>	<p>Esta estructura se encuentra en la parte trasera del vehículo. Su función es estética, al cubrir el baúl</p>	
<p>Tablero de mando del conductor</p>	<p>Este conjunto de piezas constituye buena parte del espacio del conductor. Su peso y volumen son considerablemente elevados. Son de polipropileno</p>	
<p>Guardabarros</p>	<p>Su principal función es evitar que elementos como arena, lodo, rocas, líquidos y otros residuos del camino sean lanzados al aire por el neumático al rotar. Debido a esto, son partes que se ensucian considerablemente. Están hechos de polipropileno</p>	
<p>Tapas puertas</p>	<p>Estas partes están unidas a los soportes metálicos de las sillas de los vehículos. Están hechas de polipropileno, etileno, propileno y dieno</p>	
<p>Paragolpes delantero y trasero</p>	<p>Su objetivo es el de amortiguar y proteger el vehículo en caso de colisión. Reduce los daños pero no el impacto. Son representativos en tamaño y peso. Son de polipropileno, etileno, propileno y dieno</p>	

Nombre	Detalle	Ilustración
Asientos	Ofrecen comodidad al conductor y a los pasajeros. Se fabrican de espuma, también llamada poliuretano	

Fuente: Autor.

Tabla 9. Identificación de subproductos. Metales no ferrosos representativos en los VFU

Nombre componente	Detalle	Ilustración
Radiador	Es una parte fundamental del vehículo, responsable de enfriar las aguas que entran al motor, para así evitar su recalentamiento. Es de aluminio.	
Calefacción	Se encarga de aumentar la temperatura en el interior del vehículo. Es de aluminio	
Caja del motor (Culata)	Los pistones están compuestos de aluminio templado. La carcasa es de aluminio y el empaque de la culata puede estar hecho de asbesto o cobre	

Nombre componente	Detalle	Ilustración
<p>Alternador</p>	<p>Produce energía. Está compuesto por la carcasa, el inducido, bobinas (acero y cobre) y escobillas</p>	
<p>Bovina del alternador</p>	<p>La bobina funciona junto con el rotor o parte móvil del alternador. Ayuda a crear el campo magnético inductor, el cual provoca en el bobinado inducido la corriente eléctrica que suministra después el alternador. Este último está cubierto de acero</p>	
<p>Distribuidor de corriente</p>	<p>Distribuye la corriente a los pistones del motor</p>	
<p>Motor de calefacción</p>	<p>Cumple la función de proveer ventilación al radiador, para evitar su sobrecalentamiento.</p>	
<p>Cables</p>	<p>Constituyen todo el sistema eléctrico del vehículo, éstos están compuestos por un conductor (generalmente cobre), que canaliza el flujo eléctrico, y un aislamiento que contiene este flujo eléctrico en el conductor. Además, pueden incorporar otros elementos auxiliares que garanticen su longevidad.</p>	

Nombre componente	Detalle	Ilustración
Otros III	Pequeñas partes compuestas de cobre y aluminio.	
Bordes de ventanas	Están en los bordes de los ventanales del vehículo, y son de aluminio	 
Caja de velocidad	Transmite la energía potencial del motor, y da aceleración y fuerza al vehículo. Está constituido principalmente por aluminio y cobre.	
Motor de arranque	Es un conjunto de partes de diferentes materiales: un núcleo magnético y unas escobillas, de cobre; la tapa delantera, la bocina, filtro y el casco o carcasa, que están hechos de aluminio	

Nombre componente	Detalle	Ilustración
<p>Pistones motor (4)</p>	<p>Estos pistones comprimen la mezcla de aire y combustible</p>	

Fuente: Autor.

Tabla 10. Identificación de subproductos caucho en los VFU.

Nombre componente	Detalle	Ilustración
<p>Caucho</p>	<p>Se encuentra principalmente en los tapetes y empaques del vehículo. También está en las zonas intermedias de contacto entre el vidrio y el metal, para evitar desgaste por fricción</p>	
<p>Llantas</p>	<p>La llanta es la pieza sobre la que se coloca un neumático y que forma parte de la rueda (compuesta esta última por llanta y disco)</p>	

Fuente: Autor

Tabla 11. Identificación del subproducto vidrio de los VFU.

Nombre componente	Detalle	Ilustración
Vidrios varios	Los vidrios se encuentran en la parte delantera y trasera del vehículo. También están anexos a las puertas del vehículo. Forman parte de este grupo los pequeños vidrios triangulares de la zona lateral – delantera del vehículo. Es un vidrio de tipo blanco, que puede ser laminado o templado.	

Fuente: Autor

Como se puede observar, son muchos los subproductos que se pueden obtener de una correcta gestión de un vehículo fuera de uso. Partiendo de la importancia que tienen los componentes de los VFU, se busca proporcionar una gestión técnica, económica y ambientalmente factible. Conforme a lo anterior, en lo que resta del presente proyecto se presentarán alternativas para la gestión de los subproductos, con lo que se espera lograr que las entidades dedicadas a la chatarrización de vehículos perfeccionen sus labores y garanticen un proceso limpio.

6. Desarrollo del Problema

6.1. Impacto Ambiental de la Chatarrización de Vehículos Fuera de Uso

El impacto ambiental es la alteración que se produce en el ambiente cuando se lleva a cabo un proyecto, obra o actividad, cuyos efectos a corto, mediano y largo plazo afectan directa o indirectamente al ser humano y a los ambientes físicos, biológicos, sociales, económicos y culturales en que habita.

Para la evaluación del impacto ambiental, se tuvieron en cuenta los siguientes impactos:

Impactos por la intensidad o grado de destrucción²⁰

- Impacto Notable o muy alto. Su efecto se manifiesta como una modificación del medio ambiente, de los recursos naturales o de sus procesos fundamentales de funcionamiento. Puede producir en el futuro repercusiones apreciables en los aspectos listados.
- Impacto mínimo o bajo. Sus efectos se expresan en una destrucción mínima del factor considerado.
- Impacto medio. Se manifiesta como una alteración del medio ambiente o de algunos de sus factores, cuyas repercusiones en los mismos se consideran situadas entre los niveles anteriores.

Impactos por su duración

- **Impacto temporal.** Supone alteración no permanente, con un plazo temporal de manifestación.
- **Impacto Medio:** Aquel cuyo efecto supone alteración en un corto mediano de tiempo.
- **Impacto Permanente:** Aquel cuyo efecto supone una alteración indefinida en el impacto de los factores medioambientales predominantes en la estructura o en la función de los sistemas de relaciones ecológicas o ambientales en el lugar. Es decir aquel impacto que permanece en el tiempo. A efectos prácticos, se considera como

²⁰ http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/tesis/ingenie/coronel_g_j_a/cap5.htm

permanente un impacto con una duración superior a 10 años. (Construcción de carreteras, conducción vista de agua de riego, etc.).

Impactos por extensión o influencia

- Impacto puntual. En este caso, la acción impactante produce un efecto muy localizado.
- Impacto parcial o local. Se trata de una incidencia apreciable en el medio.
- Impacto extremo o regional. Se detecta en una gran parte del medio considerado.
- Impacto total o nacional/mundial. Su influencia se manifiesta de manera generalizada en todo el entorno considerado.

Adicionalmente, se utilizó la matriz de Leopold para caracterizar el impacto ambiental de la actividad estudiada. La calificación del impacto ambiental a partir de la matriz en mención se presenta en la Tabla 12.

Tabla 12. Forma de calificación de magnitud e importancia de la matriz de Leopold.

MAGNITUD			IMPORTANCIA		
Intensidad	Afectación	Calificación	Duración	Influencia	Calificación
Baja	Baja	-1 o +1	Temporal	Puntual	+1
Baja	Media	-2 o +2	Media	Puntual	+2
Baja	Alta	-3 o +3	Permanente	Puntual	+3
Media	Baja	-4 o +4	Temporal	Local	+4
Media	Media	-5 o +5	Media	Local	+5
Media	Alta	-6 o +6	Permanente	Local	+6
Alta	Baja	-7 o +7	Temporal	Regional	+7
Alta	Media	-8 o +8	Media	Regional	+8
Alta	Alta	-9 o +9	Permanente	Regional	+9
Muy Alta	Alta	-10 o +10	Permanente	Nacional	+10

Fuente: ESPOLE Escuela superior politécnica del litoral. Facultad de ingeniería mecánica y ciencias de la producción.

A continuación, en la Tabla 13, se plasma la matriz de Leopold, donde están contemplados los componentes ambientales y aspectos ambientales impactados a causa de las actividades de las empresas dedicadas a la chatarrización de vehículos fuera de uso de servicio público.

Tabla 13. Matriz de impacto ambiental de la chatarrización vehicular.

COMPONENTE	ASPECTO	TOCANCIPA				SOGAMOSO								PUNTAJE TOTAL	MAGNITUD	IMPORTANCIA													
		RECEPCIÓN	PESAJE	DESCONTAMINACIÓN I	DESCONTAMINACIÓN II	COMPACTACIÓN	TRANSPORTE	ALMACENAMIENTO TEMPORAL	FRAGMENTACIÓN	DISPOSICIÓN DE RESIDUO DE FRAGMENTACIÓN	CLASIFICACIÓN	ACERÍA	LAMINACIÓN				FIGURACIÓN												
COMPONENTE GEOSFÉRICO	TEXTURA	-1	-1	-2	-5	-5	0	-5	-5	-5	-4	-3	-3	-2	-41	-183	125												
	EROSIÓN	2	1	2	2	3	0	3	3	3	3	3	3	3	31														
	ESTABILIDAD	-4	-1	-2	-5	-6	0	-6	-6	-6	-4	-3	-3	-2	-48														
	CALIDAD DEL SUELO	2	2	2	2	3	0	3	3	3	3	3	3	3	31														
COMPONENTE ATMOSFÉRICO	CALIDAD DEL AIRE	-5	-4	-1	-1	-6	0	-6	-6	-6	-4	-2	-2	-2	-45	-65	109												
	EMISIÓN DE RUIDO	2	2	2	2	3	0	3	3	3	3	3	3	3	32														
COMPONENTE HÍDRICO	CALIDAD DEL AGUA	-2	-1	-3	-5	-6	0	-6	-6	-6	-6	-3	-3	-2	-49	-37	60												
	AGUA SUBTERRÁNEA	2	1	2	2	3	0	3	3	3	3	3	3	3	31														
	AGUA SUPERFICIAL	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	-2	-2	-2	0	0	0	-32														
COMPONENTE ECOSISTÉMICO	FAUNA Y FLORA	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	-2	-2	-2	0	0	0	-33	-46	78												
	PAISAJE	2	2	2	2	3	0	3	3	3	3	3	3	3	33														
COMPONENTE SOCIOECONÓMICO	EMPLEO	-2	-1	-2	-5	-5	-1	-5	-6	-6	-4	-3	-3	-3	-46	203	259												
	SALUD OCUPACIONAL	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	78														
	SALUD GENERAL	0	0	-1	-2	-3	-2	-3	-6	-4	-5	-6	-6	-4	-39														
	CALIDAD DE VIDA	8	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	65														
		1	47	3	41	-3	45	-14	45	-21	62	6	48	-27	60	-30	64	-31	60	-19	59	-8	56	-12	57	-3	55		

Fuente: Autor.

Los resultados obtenidos en la matriz de impactos se muestran en la siguiente tabla. Fueron escogidos cuatro intervalos de evaluación: leve, moderado, grave y crítico.

Tabla 14. Resultados matriz de impacto ambiental de la chatarrización vehicular.

TIPO DE IMPACTO			
LEVE	MODERADO	GRAVE	CRÍTICO
-12 a -21,25	-21,25 a -30,5	-30,5 a -39,75	-39,75 a -49
AGUA SUPERFICIAL	PAISAJE	CALIDAD DE AIRE	CALIDAD DEL SUELO
AGUA SUBTERRÁNEA		EMISIÓN DE RUIDO	EROSIÓN
CALIDAD DE AGUA		SALUD GENERAL	FLORA Y FAUNA
			ESTABILIDAD
			TEXTURA

Fuente: Autor.

En las siguientes secciones, se presentará una definición básica de cada componente y aspecto ambiental evaluado. Así mismo, se explicará el impacto ambiental sufrido por cada uno de ellos.

6.1.1. Componente Geosférico

La textura es el componente que indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño en el suelo, como la arena, el limo y la arcilla. También tiene que ver con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene, y la velocidad con que el agua penetra en el suelo y lo atraviesa²¹.

A causa de la actividad estudiada, la textura del suelo sufre un impacto de magnitud considerable, principalmente en las etapas de descontaminación, acopio, fragmentación y compactación, porque son tareas que se realizan a la intemperie, sobre el entorno natural. Por lo anterior, puede decirse que la intensidad y la afectación del suelo son de tipo medio.

En cuanto a la extensión del impacto ambiental ocasionado por las tareas ya enunciadas, vale decir que en casi todas las etapas es permanente y es puntual, con excepción de la etapa de descontaminación I. En esta última etapa, la duración del impacto es media pero su influencia es puntual, puesto que la extracción de fluidos se realiza únicamente durante la jornada laboral de 8 horas; después, el espacio locativo queda desocupado.

Por otro lado, se entiende la erosión como la pérdida gradual de los materiales que forman el suelo. Hay cuatro factores que pueden causar este proceso: 1. Agentes meteorológicos, como el viento y el agua (precipitación y escorrentía), que arrancan y transportan los materiales del suelo; 2. Presencia de materiales blandos en el suelo, pues son fácilmente erosionables; 3. Pérdida de vegetación, que impide las raíces de las plantas retenga el suelo; y 4. Actividades humanas.

De acuerdo con los análisis llevados a cabo, las tareas asociadas a la chatarrización provocan erosión de una magnitud alta, particularmente en las fases de descontaminación II, compactación, acopio y fragmentación. En ese sentido, sería una erosión de origen antropogénico, debida principalmente al cargue y descargue de material con maquinaria pesada, y al hecho de que las unidades de fragmentación y

²¹ ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6706s/x6706s06.htm / Definición de textura del suelo.

compactación son de considerable tamaño y peso. Las anteriores condiciones dañan la capa orgánica del suelo, removiéndola y dejándola expuesta a otros agentes que erosionan, como el viento y la lluvia.

Al momento de comparar el Horizonte 0 con las zonas aledañas que no han sido objeto del mismo grado de intervención, se observa que en estas aún no se evidencia erosión (ver Ilustración 10).

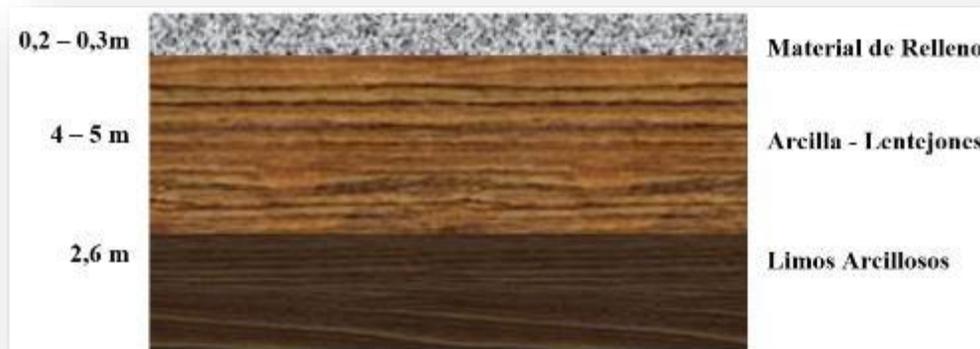


Ilustración 10. Perfil de suelos SIDENAL.

Fuente: Autor.

En cuanto a la estabilidad, puede definirse como la capacidad que poseen los agregados del suelo para soportar la tensión de diferentes fuerzas sin que se deformen. Esta cualidad del suelo resulta altamente impactada a raíz de los procesos de recepción, compactación, fragmentación y acopio, principalmente a causa del peso tanto de la chatarra como de las unidades de procesos. Se observó que el suelo del lugar destinado para la primera etapa del proceso y que hace referencia al retiro de líquidos y reducción de volumen ha sido compactado de manera significativa, lo cual ha fracturado los enlaces de aglomerados. Esta última condición impide un correcto drenaje de aguas, resultado de las altas cargas que soporta el suelo.

Otro rasgo del suelo que fue analizado es su calidad, la cual se define como la capacidad específica que tiene un suelo para funcionar en un ecosistema natural o antrópico (generado por el hombre). La salud de un suelo se determina por la evaluación de su calidad a lo largo del tiempo. Desde la perspectiva del impacto en la

calidad del suelo, se evalúan de forma integral los efectos que pueden tener sobre el suelo los diferentes usos y las actividades tecnológicas (erosión, salinización, acidificación, pérdida de materia orgánica, contaminación química, entre otros).

Lo novedoso del concepto de calidad es que no es sinónimo de capacidad de producción. Es decir, el suelo de mejor calidad no es el que produce cultivos de alta calidad, sino se considera al suelo como parte del sistema ecológico, en el cual interactúa con y afecta a otras variables ambientales. Por lo anterior, la calidad es la capacidad del suelo para producir sin resultar degradado o sin perjudicar al ambiente.²².

La calidad del suelo se ve afectada principalmente en las etapas del proceso estudiado cuando la chatarra se encuentra a la intemperie sobre el entorno natural, pues hay incorporación de partículas ajenas a la constitución normal del suelo. Pequeñas cantidades de metales como hierro, cromo, cobre, manganeso, zinc y níquel están presentes en concentraciones de partes por millón²³. Dichas partículas pueden incorporarse al suelo por arrastre y lavado de materiales.

6.1.2. Componente Atmosférico

La calidad del aire puede verse afectada por la presencia de material particulado y por las emisiones de NO_x, SO_x, CO₂, entre otros compuestos, los cuales pueden derivarse de las actividades de chatarrización y tratamiento de la chatarra. En términos generales, este componente sería uno de los más afectados porque en los procesos como compactación, fragmentación y acopio de chatarra puede haber desprendimiento de material particulado, en especial PM₁₀, por acción del viento y movimiento del material almacenado (chatarra fragmentada y comprimida).

Adicionalmente, durante la etapa de acería, en la cual se hace la fusión de la chatarra, se originan emisiones primarias y secundarias. Se presenta una situación similar con el tren de laminación y figuración, solo que en este caso las emisiones son menores.

²² <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/CalidSalSuelo.htm>. / Calidad y Salud del Suelo.

²³ SIGRAUTO, Informe de resultados del proyecto: Valorización energética de residuos de fragmentación y neumáticos provenientes de vehículos fuera de uso / España / pág. 19.

A pesar de que la calidad del aire sea el componente mayormente afectado, la entidad chatarrizadora cuenta con un sistema depurador de emisiones muy efectivo, el cual las reduce considerablemente. A continuación, se puede observar dicho sistema (Ilustración 11).



Ilustración 11. Sistema de depuración de emisiones mediante filtros de mangas.

Fuente: Autor.

El depurador consiste básicamente en un sistema de filtros de mangas, con aproximadamente 300 mangas por filtro. Gracias a él, se hace posible la retención de gran parte de los contaminantes y del material particulado emitido durante los procesos de acería, laminación y figuración. Por lo anterior, los valores de magnitud no son tan elevados como se esperaría.

En la Tabla 15 se presenta la evidencia de la evaluación de emisiones atmosféricas puntuales, realizada del 21 al 23 de noviembre del 2011, en los tres depuradores de SIDENAL.

Tabla 15. Emisiones atmosféricas puntuales registradas del 21 al 23 de noviembre 2011 en SIDENAL S.A.

Fuentes fijas	Contaminante	Emisión mg/m ³	Norma mg/m ³	Cumple	% cumple por debajo de la norma
Depurador 1	MP	23	150	Sí	84,7
	SO ₂	13	550	Sí	97,6
	NO ₂	7	550	Sí	98,7
Depurador 2	MP	12	150	Sí	92,0

Fuentes fijas	Contaminante	Emisión mg/m ³	Norma mg/m ³	Cumple	% cumple por debajo de la norma
Depurador 3	SO ₂	15	550	Sí	97,3
	NO ₂	9	550	Sí	98,4
	MP	22	150	Sí	85,3
	SO ₂	13	550	Sí	97,6
	NO ₂	5	550	Sí	99,1

Fuente: OOLA -0309-97; estudio de evaluación del estado de emisiones atmosféricas muestreo isocinético en chimenea calidad de aire.

Para la presente evaluación, se compararon los resultados obtenidos con las normas establecidas en la Resolución 909 de 2008 del Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, relativas a la prevención y al control de la contaminación atmosférica, y la protección de la calidad del aire.

Normalmente, la magnitud del impacto negativo debería ser menor a 5, debido a que hay un sistema de depuración y se cumple con la normatividad muy por debajo del límite, no obstante, en la evaluación de la calidad del aire los valores denotan un cambio significativo, ya que se modifican las características del aire en el área de influencia directa.

Para determinar la calidad del aire de la sede Sogamoso, se escogieron tres sitios para ubicar las estaciones de monitoreo o sitios de muestreo, los cuales cumplen con lo especificado técnicamente por la EPA/USA. Los contaminantes que se midieron en cada estación fueron los siguientes:

Tabla 16. Localización de estaciones para monitoreo de emisiones.

Estación	Localización	Contaminante
A	Campo de tiro	TSP, SO ₂ , NO ₂
B	Casa del señor José Milciades Rojas	TSP, SO ₂ , NO ₂
C	Casa del señor Jairo Plazas	TSP, SO ₂ , NO ₂

Fuente: OOLA -0309-97; estudio de evaluación del estado de emisiones atmosféricas muestreo isocinético en chimenea calidad de aire.

La Resolución 610 del 24 de marzo de 2010 contiene medidas para fijar los niveles permisibles para partículas en suspensión (TSP), dióxido de azufre (SO₂) y óxido de nitrógeno (NO₂). Los parámetros establecidos por la normativa citada se presentan en la Tabla 17.

Tabla 17. Normas de calidad de aire y aire local según resolución 610 del 24 de marzo de 2010.

Contaminante	Normas de calidad de aire		Normas de calidad del aire local	
	Norma diaria $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Norma anual $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Norma diaria $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Norma anual $\mu\text{g}/\text{m}^3$
TPS	300	100	231,7	77,23
SO₂	250	80	193,08	61,79
NO₂	150	100	115,85	77,23

Fuente: Autor.

En la Tabla 18 se observan las concentraciones máximas de material particulado, registradas en las tres estaciones escogidas.

Tabla 18. Resultados obtenidos del estudio de emisiones en la entidad chatarrizadora.

Estación	PST $\mu\text{g}/\text{m}^3$	SO ₂ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	NO ₂ $\mu\text{g}/\text{m}^3$
A	129,34	0,70	0,24
B	161,24	0,83	0,14
C	135,85	0,69	0,19

Fuente: OOLA -0309-97; estudio de evaluación del estado de emisiones atmosféricas muestreo isocinético en chimenea calidad de aire.

Si se hace un análisis de los resultados consignados en la tabla anterior, se observa que las concentraciones de PST, SO₂ y NO₂ no sobrepasan los valores de la norma diaria local; sin embargo, las concentraciones de PST sobrepasan la norma anual local, razón por la cual se le proporciona un valor de magnitud de -7 para acería y de -5 para laminación. Así mismo, ese valor da cuenta de las emisiones fugitivas presentadas principalmente en el tren de laminación.

Otra cualidad asociada al componente atmosférico es el nivel de ruido. Se entiende la emisión de ruido como el nivel de presión sonora en un sector en el que hay influencia de muchas fuentes, se mide en decibeles y su estudio se hace en un periodo completo de día y noche. Se adelantaron estudios en la sede de SIDENAL situada en Sogamoso para medir la emisión de ruido (ver los resultados en la Tabla 19). Se establecieron cinco puntos de medición, a saber: zona posterior al patio de fragmentación; zona posterior de los depuradores 1 y 2; portería; zona frontal del sector de fragmentación; y zona posterior del depurador 3.

Tabla 19. Análisis de emisión de ruido en la entidad chatarrizadora, comparado con la resolución 627 de 07 de abril del 2006.

Puntos de medición	Nivel de emisión de ruido corregido en db (a), aportado por la empresa		Estándares máximos permisibles de niveles de emisión de ruido en db (a)		Cumple
	Día	Noche	Día	Noche	
1	64,6	69,1	75	75	SÍ
2	69,8	73	75	75	SÍ
3	74,1	70,3	75	75	SÍ
4	68,5	67,8	75	75	SÍ
5	73,9	73,8	75	75	SÍ

Fuente: Autor.

Para la medición de ruido, se hizo la comparación con los niveles de emisión de ruido para el periodo diurno y nocturno, exigido por la norma Resolución 627 del 07 de abril del 2006, a partir de lo cual se demostró que la entidad chatarrizadora estudiada cumple con todos los requerimientos. Es posible afirmar esto porque los valores de emisión de ruido en la matriz de impacto no superan -5, con excepción de la etapa de proceso de compactación, en la cual el ruido es evidente y no un hay estudio que garantice que dicho factor esté por debajo o por encima de la norma. A pesar de esto, a partir de lo hallado durante las visitas diagnósticas y de reconocimiento, se asignó un valor levemente superior al que obtuvo la etapa de proceso de fragmentación, que fue de (-6).

6.1.3. Componente Hídrico

De acuerdo con la información consultada en el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Tocancipa, se tiene que en el área de influencia directa se encuentran dos humedales: Arrieros y Jaime Duque, otro aspecto a tener en cuenta es, que se tiene zona de recarga en el cerro Tibitoc. Además la empresa se encuentra ubicada a 2 kilómetros aproximadamente de la represa de Tibitoc, que es fuente de abastecimiento de la planta del mismo nombre y que es suministro de agua potable para la ciudad de Bogotá.

Teniendo en cuenta lo anterior el mayor impacto generado por el proceso de chatarrización se ubica en el sitio de extracción de líquidos, ya que por infiltración y percolación los químicos pueden causar impacto a las aguas subterráneas de la zona. Es importante resaltar que los niveles freáticos de la zona se encuentran distantes del

nivel del suelo por lo que la calificación para este componente corresponde a una valoración para calidad del agua de (-12), agua subterránea (-12) y para aguas superficiales (-13).

6.1.4. Componente Socioeconómico

Una de las variables que conforman el componente socioeconómico es la generación de empleo, que se evalúa teniendo en cuenta la cantidad de personal necesario para emprender la etapa del proceso llevada. En ese sentido, una de las etapas del proceso de chatarrización que más oportunidades de empleo brinda es la recepción, la cual exige la recolección de información que es procesada en las áreas administrativas de la empresa. Adicionalmente, las etapas de acería, laminación, figuración y fragmentación son las que más demandan personal tanto interno como externo a la empresa. Las otras actividades requieren de personal mínimo, que, en términos generales, no son más de cuatro personas por etapa del proceso. Todos los trabajos se dan en un ámbito local porque las empresas dedicadas a la chatarrización se preocupan principalmente por brindarles trabajo a los habitantes de las zonas aledañas a su área de influencia directa.

La siguiente variable considerada es la salud ocupacional. Dicha disciplina de la salud se encarga de la evaluación y control de los factores de riesgo presentes en el ambiente laboral, con el objeto de prevenir las enfermedades y accidentes de trabajo, el agravamiento de las enfermedades preexistentes, y la realización de las actividades de promoción y capacitación para el bienestar y adaptación de los trabajadores a sus labores.

En relación con la salud ocupacional, SIDENAL plantea lo siguiente:

Nuestros registros de reporte de accidentes son mínimos, hace más de 4 meses que no se tiene un solo trabajador accidentado, y nunca hemos tenido un accidente que evoque la pérdida humana de alguno de nuestro cuerpo técnico en las instalaciones de SIDENAL²⁴.

²⁴ SIDENAL. Departamento de salud ocupacional.

Sin embargo, la empresa no mostró los reportes de los accidentes, por cuestiones de privacidad. En adición a lo anterior, vale la pena mencionar que en las visitas de reconocimiento realizadas a las instalaciones de la entidad se puso en evidencia que todo el personal cuenta con su equipo de protección personal, acorde al área de desempeño (ver Ilustración 12). En vista de lo expuesto hasta ahora, la mayoría de las etapas de proceso recibió una calificación de magnitud alta, equivalente a (+8).



Ilustración 12. Obrero con su equipo de protección personal ejecutando la clasificación manual de metales no ferrosos.

Fuente: Autor.

No se otorgó una calificación perfecta (+10) porque en las visitas se vio que el personal muchas veces no acata las obligaciones y no porta debidamente su equipo de protección, como se puede observar en la siguiente imagen (Ilustración 13), en la cual hay un trabajador en el tren de laminación. Es importante anotar que los empleados siempre deben portar sus guantes y su tapabocas dentro de las instalaciones de laminación, estén o no estén en ejecución de sus funciones, porque la palanquilla, al ser calentada, alcanza temperaturas entre 1150°C y 1200°C, y puede desprender vapores y material particulado. Tal procedimiento implica, entonces, un riesgo físico-químico y mecánico para el trabajador. Por lo que se acaba de describir, las etapas de laminación y de descontaminación tienen una calificación positiva, pero no muy alta (+5).



Ilustración 13. Obrero en tren de laminación, sin el equipo de protección personal en su totalidad.

Fuente: Autor.

Dentro del ámbito de salud ocupacional hay que analizar las características locativas de las áreas de trabajo. Del estudio de tales características cabe resaltar que los espacios de descontaminación I y II no cuentan con sistemas locativos que garanticen que la salud ocupacional ni seguridad industrial de los trabajadores.

Otra variable del componente socioeconómico es la salud general, entendida como un estado de completo bienestar físico, mental y social, y no solamente como la ausencia de enfermedad o dolencia alguna. A diferencia de la salud ocupacional, la salud general les concierne a los habitantes de las zonas aledañas a la empresa o al personal fuera de las instalaciones de la entidad chatarrizadora.

La salud general se calificó teniendo en cuenta el daño que las etapas del proceso pueden causar a la población cercana al área de influencia de las sedes de la entidad chatarrizadora seleccionada. Al respecto, es importante mencionar que si bien el predio de SIDENAL Tocancipá se ubica en un área de tipo industrial, hay un asentamiento cercano llamado La Diana. Esta población está localizada sobre la carretera central del norte, entre los sectores de Tibitó e Industrial, en cercanías del Parque Jaime Duque;

se extiende a lo largo de la vía, especialmente en el costado oriental. La cercanía con SIDENAL es entre 400 y 600 metros, como se observa en la Ilustración 14.



Ilustración 14. Alrededores de la sede SIDENAL Tocancipá. Terreno poblado La Diana.

Fuente: Google Earth modificado Autor.

Se presenta una situación semejante en SIDENAL Sogamoso, como se observa con la Ilustración 15. Allí, las instalaciones de la empresa se encuentran dentro del perímetro urbano con uso del suelo industrial. Es importante resaltar que la empresa cuenta con medidas de manejo ambiental, como las chimeneas, pero la población cercana puede verse impactada negativamente por el ruido y la emisión de material particulado.



Ilustración 15. SIDENAL Sogamoso.

Fuente: Google Earth modificado Autor.

Las actividades de fragmentación, acería, laminación y compactación pueden afectar negativamente a los pobladores aledaños, en la medida en que tales tareas se asocian con ruido y emisión de material particulado.

La siguiente variable evaluada fue la calidad de vida, la cual es el objetivo al que debería tender el estilo de desarrollo de un país que se preocupe por el ser humano integral. Este concepto alude al bienestar en todas las facetas del hombre y se relaciona con la creación de condiciones para satisfacer sus necesidades materiales (comida y cobijo), psicológicas (seguridad y afecto), sociales (trabajo, derechos y responsabilidades) y ecológicas (calidad del aire, del agua).

En cuanto a la calidad de vida, se encontró que en todas las etapas del proceso hay un impacto positivo, porque la empresa como tal da garantías a la población en general. SIDENAL brinda oportunidades de trabajo y establece una remuneración justa de acuerdo con la experiencia o el nivel educativo de los empleados. También ofrece acceso a servicios de salud y oportunidades de crecimiento económico a nivel familiar.

Si bien la empresa se preocupa por el bienestar físico y moral de sus trabajadores, no todas las medidas que implementa contribuyen al mejoramiento de la calidad de vida,

ya que están en riesgo aspectos como la salud del trabajador, que se deteriora conforme transcurre el tiempo y la dedicación en su área de desempeño.

Desde una perspectiva más abarcadora, el hecho de que los vehículos fuera de uso lleguen a las instalaciones de SIDENAL está garantizando una renovación del parque automotor, lo que en el ámbito regional sería positivo, pues con ello se reduce la contaminación producida por los vehículos que han culminado su ciclo de vida y que no están en condiciones técnico-mecánicas para seguir circulando por las mallas viales.

6.1.5. Componente Ecosistémico

El análisis de los impactos ambientales en el paisaje debe tratarse como cualquier otro recurso que podría ser afectado por una acción humana determinada. Para comprender en qué consisten la afectación del paisaje, es necesario tener en cuenta tres aspectos: la visibilidad, la fragilidad y la calidad estética.

La visibilidad se afecta debido a la modificación de la visión óptima desde un escenario perpendicular del perfil que se contempla. Su determinación delimita los posibles impactos que puedan derivarse de la alteración de las vistas de los puntos de observación con un nuevo elemento artificial. La fragilidad del paisaje, por su parte, corresponde al conjunto de características del territorio relacionadas con su capacidad de respuesta al cambio de sus propiedades paisajísticas. La fragilidad se perfila como una cualidad o propiedad del terreno que sirve de guía para localizar las posibles instalaciones o sus elementos, en aras de producir el menor impacto visual posible. Finalmente, se encuentra la calidad estética o belleza del paisaje, que cobra cada vez mayor importancia y exige ser evaluada en términos comparables a los del resto de los recursos.

La afectación del paisaje debida a las actividades de SIDENAL tiene que ver, principalmente, con la cantidad elevada de material que se acumula durante el proceso de almacenamiento temporal y disposición del residuo de fragmentación al aire libre. Los cúmulos de materiales superan los 2,5 m de altura, por lo que producen afectación visual, en cuanto contrastan con el paisaje del sector.

Las otras etapas del proceso no tienen un impacto tan significativo, debido a que hay que mencionar que en ciertos espacios de las instalaciones de las sedes de SIDENAL hay barreras construidas por la entidad.

Las siguientes dos variables pertenecientes al componente ecosistémico son la fauna y la flora. La fauna es el conjunto de animales en sus diferentes clasificaciones, como mamíferos, reptiles, aves, etc. La flora es el conjunto de especies vegetales que pueblan un territorio o una región geográfica; su riqueza se determina a partir de la cantidad de especies vegetales en la región geográfica considerada.

El impacto que las actividades de SIDENAL han producido en la fauna y la flora es de +6 en todas las etapas de proceso, debido a que su duración es permanente y su influencia es local. En cuanto a su magnitud, los valores difieren, dependiendo del espacio ocupado (área) y la forma de transformación por las etapas de proceso, de ahí que las etapas de proceso que ocupan más espacio y que han transformado más el medio desalojando especies (vegetales y animales) y haciendo que las mismas desaparezcan son las etapas de fragmentación, compactación y almacenamiento temporal y disposición del residuo de fragmentación. En general, todas las etapas del proceso han cambiado e impactado con un grado de afectación medio a la fauna y flora.

Finalmente, es importante aclarar que el impacto no es altamente negativo, debido a que el área donde se encuentran las sedes es de uso industrial, por ende, se da por entendido que no existen especies animales y vegetales tan significativas como para que el impacto sea relevante y requiera de un análisis e identificación especial de pérdida o desaparición de especies.

6.2. Alternativas para la Gestión de Subproductos de la Chatarrización Vehicular del Sector Transporte Público en Bogotá

Conforme crece la cantidad de vehículos que llegan a las instalaciones de las entidades dedicadas a la chatarrización vehicular, crecen las necesidades de gestionar los subproductos que no son metales ferrosos (los metales no ferrosos, los plásticos, los cauchos, los vidrios, los residuos peligrosos y demás elementos que conforman un

vehículo). En seguida, se muestran algunas alternativas para el manejo de cada subproducto encontrado cuando un vehículo llega al final de su vida útil. Asimismo, en el Anexo 1 se observa un esquema donde se recopilan todas las alternativas aplicables a la gestión de los subproductos de la chatarrización vehicular.

6.2.1. Plásticos

Después de los metales, los plásticos son el subproducto con mayor representatividad en los vehículos fuera de uso, pues hoy en día dichos materiales constituyen entre el 9 y el 11% de los coches modernos. Se espera que, en el futuro, esa proporción aumente a más del 20%.

Son muchas las ventajas que el plástico ofrece, especialmente porque reduce el peso del vehículo, lo que implica un menor consumo de combustible y, por ende, una disminución de emisiones a la atmósfera. A su vez, las partes plásticas del vehículo brindan seguridad al conductor y demás pasajeros, como las bolsas de aires y los cinturones de seguridad.

Además, las innovaciones en tecnología hacen posible el uso de plásticos y metales juntos, lo que resulta en el aprovechamiento de las ventajas de ambos materiales. También vale la pena señalar que una cantidad cada vez mayor de piezas de carrocería es diseñada con mayores porcentajes de polímeros, lo que reduce aún más el peso, y mejora la estabilidad y la fuerza²⁵.

Por último, cabe decir que el plástico ofrece versatilidad para los diseñadores, ya que es fácilmente moldeable y su proceso de fabricación requiere menor energía que el de otros materiales.

Actualmente, las empresas dedicadas a la chatarrización no tienen una alternativa para la gestión de este subproducto, por lo que aquí se presentan alternativas enfocadas en la gestión del subproducto en mención.

²⁵ PLASTICEUROPE. Plastics to reduce tomorrow's cars weight

6.2.1.1. Pirólisis

La pirólisis es un proceso termoquímico que ocurre en ausencia de oxígeno. El proceso de pirólisis tiene tres etapas: la dosificación y alimentación de la materia prima, la transformación de la masa orgánica y, finalmente, la obtención y separación de los productos (coque, aceite y gas)²⁶.

Gracias al gran poder calorífico que presentan los plásticos, los subproductos plásticos de los VFU poseen grandes contenidos energéticos. Por lo anterior, son susceptibles de comercialización o pueden ser reconvertidos en fuente de energía eléctrica, en aras de obtener ingresos y un beneficio económico.

6.2.1.2. Gasificación

La gasificación es el conjunto de reacciones termoquímicas que se producen en un ambiente pobre en oxígeno, y que da como resultado la transformación de un sólido en un gas. Cuando los residuos plásticos atraviesan el proceso descrito producen varios gases susceptibles de ser utilizados en calderas, turbinas o motores, tras ser debidamente acondicionados. El agente gasificante puede ser oxígeno, un gas o una mezcla de gases que aportan calor para iniciar las reacciones²⁷.

6.2.1.3. Quimiólisis o Depolimerización

Este proceso se aplica a poliésteres, poliuretanos, poliacetales y poliamidas. Requiere altas cantidades de dichos materiales, agrupadas por tipo de resina. Consiste en la aplicación de procesos solvolíticos como hidrólisis, glicólisis o alcoholólisis para reciclarlos y transformarlos nuevamente en sus monómeros básicos, para la depolimerización en nuevos plásticos.

²⁶ Revista de química / Pontificia Universidad Católica del Perú - PUCP, 2012, Vol. 26, pág. 1

²⁷ IVÁN JUNQUERA DIZ, Gasificación de Residuos Plásticos para la Producción de Electricidad en Régimen Especial, pág. 26, MADRID, Junio 2010.

6.2.1.4. *Metanólisis*

Es un avanzado proceso de reciclado que consiste en la aplicación de metanol a plásticos como el polietileno tereftalato. Dicho material es descompuesto en sus moléculas básicas, incluido el dimetiltereftalato y el etilenglicol, los cuales pueden ser luego repolimerizados para producir resina virgen. Varios productores de polietilentereftalato están tratando de implementar este proceso para aplicarlo a las botellas de bebidas carbonatadas.

Las experiencias llevadas a cabo por empresas como Hoechst- Celanese, Dupont e Eastman han mostrado que los monómeros resultantes del reciclado químico son lo suficientemente puros para ser reutilizados en la fabricación de nuevas botellas de PET.

6.2.1.5. *Hidrogenación*

Consiste en la degradación de los polímeros mediante el calentamiento en atmósfera de hidrógeno a elevadas presiones, y en presencia de catalizadores. Con ese procedimiento se logra la ruptura de las cadenas poliméricas y se puede obtener materia prima sintética.

6.2.1.6. *Co-Procesamiento: Hornos de Cementeras Y Agente Reductor en Alto Horno*

Gracias al gran poder calorífico que posee el plástico, es posible la utilización de los residuos generados, tras la fragmentación como combustible alternativo, y como materia prima en los hornos de las plantas de fabricación de cemento. También es posible el uso de estos residuos como agentes reductores para la producción de hierro en altos hornos.

6.2.1.7. Hornos de Lecho Fluido

Los hornos de lecho fluido llevan a cabo un tipo de incineración de residuos que se realiza alimentando los residuos de forma continua a un lecho compuesto por material inerte granulado (0,1 – 1mm), que es fluidizado por una corriente ascendente de aire. La temperatura se mantiene entre 800 – 900 °C.

6.2.1.8. Entrega a Empresas Recuperadoras de Plástico

Los plásticos aun después de su uso pueden ser reutilizados o transformados para obtener un nuevo producto que responda a una necesidad particular. Existen diversas entidades que se encargan de los residuos plásticos para su posterior reciclaje y para la comercialización de nuevos productos fabricados a base de tales residuos.

6.2.1.9. Madera Plástica

Si la cantidad de residuos plásticos es considerable, lo mejor es utilizarlos como la materia prima de entrada para la producción de madera plástica, mediante procesos de selección, trituración, extrusión y moldeo, y comercialización del producto. Existen actualmente entidades dedicadas a la producción de madera plástica y son empresas recuperadoras de plástico, por tanto, esta alternativa está ligada a la anteriormente mencionada.

6.2.1.10. Reciclaje Mecánico Pos-Consumo

Consiste en la transformación de los residuos plásticos en materias primas secundarias con propiedades físicas y químicas idénticas a las del material original. El reciclaje mecánico es aplicable a los diferentes termoplásticos: polietileno tereftalato (PET), polietileno de alta densidad (PEAD), polietileno de baja densidad (PEBD), polipropileno (PP), poliestireno (PS), y cloruro de polivinilo (PVC). Esta técnica de aprovechamiento se fundamenta en las características físico-químicas de los termoplásticos, puesto que estos

materiales pueden fundirse una y otra vez, sin que se presenten cambios en su estructura. Lo anterior hace posible que los residuos plásticos pos-industria o pos-consumo puedan ser reintroducidos en los procesos de fabricación como sustituyentes de las resinas vírgenes. Varias de las entidades que prestan servicios de reciclaje mecánico pos-consumo son conocidas como empresas recuperadoras de plástico, por ende, esta alternativa guarda relación con la expuesta en el numeral 6.2.1.8.

6.2.2. Caucho – Neumático Fuera de Uso

Los neumáticos de automóvil están formados por diferentes materiales como acero, fibras textiles y elastómeros. Un 70% de la masa de los neumáticos está constituido por derivados de hidrocarburos, por lo que el contenido energético medio de un neumático de turismo equivale a 27 litros de petróleo (21 litros en materias primas y 6 en el proceso de fabricación). Este potencial energético da pistas acerca de las posibles técnicas de eliminación provechosa de neumáticos de desecho²⁸.

Actualmente, las empresas dedicadas a la chatarrización no tienen una alternativa para la gestión de este subproducto, por lo que se plantean varias opciones que permiten la consecución de dicho propósito. Las siguientes subsecciones se basan en el documento “Valoración material y energética de neumáticos fuera de uso”, elaborado por el Círculo de Innovación en Materiales, Tecnología Aeroespacial y Nanotecnología (CIMTAN):

6.2.2.1. Recauchutado

El proceso de recauchutado consiste en sustituir las gomas viejas del neumático y reconstruir su estructura original, convirtiéndolo en un neumático de características similares al nuevo.

²⁸ Valorización energética de residuo de fragmentación y neumáticos provenientes de vehículos fuera de uso, SIGRAUTO, Ministerio de Industria y Energía, pág. 15, España.

6.2.2.2. *Tratamiento Mecánico*

Es el proceso mecánico mediante el cual los neumáticos son comprimidos, cortados o fragmentados en piezas irregulares. Entre ellos se encuentran fabricación de balas, troceado (ripping) y trituración (cutting).

6.2.2.3. *Molienda o Tecnología de Reducción de Tamaño*

Hay varios tipos de molienda, que se describen en la siguiente lista:

- Molienda a temperatura ambiente. Es un tipo de tecnología de reducción de tamaño que se realiza con una serie de trituradoras, con el fin de conseguir partículas de caucho con una superficie exterior gruesa.
- Molienda criogénica. El procesamiento criogénico se lleva a cabo a temperaturas muy bajas. El caucho es expuesto a nitrógeno líquido, hasta obtener un producto más pequeño y fino.
- Molienda húmeda. Consiste en una serie de ruedas de molienda con agua pulverizada que es inyectada continuamente para asegurar el enfriamiento del polvo. Después de este proceso, se separa el agua del polvo y se seca.

6.2.2.4. *Recuperación*

El objetivo original de la recuperación del caucho vulcanizado es romper los entrecruzamientos, para posibilitar la reutilización de los componentes de caucho. Esta ruptura de los enlaces se puede dar mediante rotura del entrecruzamiento químico tridimensional del azufre (desvulcanización) o mediante el fraccionamiento de las cadenas del polímero (despolimerización).

6.2.2.5. *Pirólisis – Termolisis*

En el proceso de pirólisis se calientan los trozos de neumático (1-3 cm) a temperatura moderada (400-800 °C), en ausencia de oxígeno o con una cantidad limitada. La degradación térmica del material produce una descomposición del neumático, de modo que los elementos orgánicos volatilizables (principalmente cadenas de caucho) se descomponen en gases y líquidos, y los elementos inorgánicos (principalmente acero y negro de carbono no volátil) permanecen como residuo sólido.

6.2.2.6. *Co-Procesamiento: Hornos de Cementeras o Fábricas de Pasta de Papel*

Los neumáticos pueden ser usados como combustible después de pasar por un proceso de triturado, luego del cual se obtienen dimensiones específicas (granos de aproximadamente 5 x 5 cm). Su utilidad como combustible se debe a que están formados principalmente por carbono, por lo que su poder calorífico es de aproximadamente 34890 kJ/kg.

6.2.2.7. *Entrega a Empresas Recuperadoras de Caucho y Neumáticos Fuera de Uso*

El caucho y los neumáticos fuera de uso, al igual que el plástico, pueden ser reutilizados o transformados para obtener un nuevo producto. Hay diversas entidades que recolectan estos subproductos para su posterior reciclaje y comercialización de nuevos productos.

6.2.3. **Metales No Ferrosos**

Existen diferentes tipos de metales no ferrosos en un vehículo fuera de uso. Los metales no ferrosos comprenden todos los metales, a excepción del hierro. Carecen de la propiedad de magnetismo, que es la principal diferencia entre los metales ferrosos y los no ferrosos. Su utilización no está tan extendida como la de los productos férreos

(hierro, acero), pero son de gran importancia en la fabricación de vehículos, por el bajo peso específico, la resistencia a la oxidación, la fácil manipulación y mecanizado. Algunas funciones de los metales no ferrosos más utilizados en la industria automotriz son se presentan con detalle en la Tabla 20.

Tabla 20. Funciones de los metales no ferrosos en el vehículo.

Metal no ferroso	Funciones en el vehículo
Aluminio	Se emplea para desarrollar diferentes elementos mecánicos, por sus buenas cualidades para la evacuación de calor de dichos elementos y fácil mecanización. Sus principales aplicaciones son la fabricación de bloques de motor, culatas y elementos de refrigeración. La utilización de metales ligeros como las aleaciones de aluminio en la fabricación de vehículos se ha venido incrementando, con el objetivo de reducir el peso de los automotores y potenciar la eficiencia en el rendimiento del combustible, con la consecuente reducción de emisiones.
Cobre:	Gracias a la alta conductividad eléctrica, ductilidad y maleabilidad del cobre, este se ha convertido en el material más utilizado para fabricar cables eléctricos y otros accesorios eléctricos y electrónicos, también para dispositivos como el sistema de frenado antibloqueo (ABS), alarmas contra robo, ordenadores de navegación, etc.
Antimonio	Es un metal de color blanco plateado, que se encuentra en la corteza terrestre. Los minerales de antimonio son minados y luego se combinan con otros metales para formar aleaciones de antimonio, o se combinan con oxígeno para formar óxido de antimonio, no se usa por si solo porque es muy quebradizo; pero cuando se combina en aleaciones es usado en baterías de automóviles, soldadura, láminas y rodamientos, moldes de fundición y peltre. El óxido de antimonio se añade a tejidos y plásticos para darles resistencia al fuego.
Bronce	Por ser una aleación del cobre, el bronce es utilizado principalmente en aleaciones anticorrosivas, y en aleaciones que tienen un alto grado de tolerancia a la fricción generada en los motores. También es utilizado en recubrimiento de piezas electrónicas para mayor durabilidad.
Estaño y plomo:	Son utilizados por su resistencia a la oxidación y a la corrosión. Se usan para recubrir otros metales, protegiéndolos de la corrosión, como soldadura blanda en componentes electrónicos, transistores, condensadores y la base de todos los circuitos integrados del automóvil.
Níquel:	Se usa principalmente en forma de aleaciones, que tienen infinidad de aplicaciones cuando interesa controlar la dilatación, conferir propiedades mecánicas especiales, aumentar la resistencia a la corrosión, disponer de cualidades magnéticas específicas o disminuir la conductividad eléctrica. Estas aleaciones se usan en la fabricación de partes del automóvil como: ejes, frenos, engranajes, válvulas, rodamientos, y resistencias eléctricas.
Cromo:	Sus principales usos son la producción de aleaciones anticorrosivas de gran dureza y resistentes al calor, y como recubrimiento para galvanizados. Se encuentra en guardabarros, defensas, posapié, rejillas y espejos (accesorios de lujo).

Fuente: Formulación de alternativas para el manejo del subproductos metales no ferrosos provenientes del proceso de chatarrización de vehículos de servicio público en la ciudad de Bogotá.

Las alternativas para el aprovechamiento, reciclaje y valorización del subproducto tratado van encaminadas principalmente a la separación de los metales no ferrosos del producto de fragmentación, para su posterior venta y comercialización.

6.2.3.1. Separación por Medios Densos - Venta de Metales no Ferrosos

Los residuos pesados –compuestos por gomas, plásticos y otros materiales metálicos, en su mayoría no férricos– se genera en las plantas fragmentadoras. Tal clase de residuos es sometida a distintos procesos de segregación, para separar los distintos metales férricos y no férricos útiles en fundición (aluminio, cobre, etc.) de otras fracciones de materiales no metálicos que se depositan en el vertedero, o bien, se reciclan o se valorizan energéticamente.

6.2.3.2. Separación por Corrientes de Foucault – Venta de Metales no Ferrosos

Este procedimiento está basado en un campo magnético alternativo, es decir, en un campo magnético donde el polo Norte y el Sur cambian alternativamente. Si el metal no férrico está sometido a un campo magnético alternativo, se crearán unas corrientes internas denominadas corrientes de Foucault. Dichas corrientes generan un campo magnético opuesto al campo magnético generado por el imán. Esta fuerte oposición de campos magnéticos provoca una repulsión entre ellos y, por tanto, el metal no férrico será literalmente despedido de su trayectoria natural, separándose del resto de materiales.

6.2.3.3. Separación Manual – Venta de Metales no Ferrosos

Como su nombre lo indica, es la separación manual de los metales no ferrosos de otros componentes. Mediante una identificación óptica se apartan los compuestos no ferrosos de otros; los primeros son almacenados y llevados a comercialización y venta a entidades dedicadas a la fundición.

6.2.4. Vidrio

Hay dos tipos de vidrios según su uso: doméstico e industrial. El vidrio proveniente de los vehículos fuera de uso es de tipo industrial. Proviene de las lunas laminadas, utilizadas generalmente en la parte delantera y de las ventanas laterales, que generalmente son de vidrio templado.

Las lunas laminadas suelen ser rechazadas por la industria que recicla el vidrio con este mismo fin, dado que están construidas por dos láminas de vidrio recocido, unidas por una finísima película de polivinil butiral, que es un polímero de alta elasticidad y flexibilidad y que se utiliza para dotar a la luna de las condiciones elásticas específicas para su homologación. Pero este polímero plantea un problema para el reciclado, ya que, al ser plástico, no se mezcla bien en el proceso de triturado y fusión del vidrio, constituyéndose como un contaminante de la mezcla. Por lo anterior, sus posibilidades de aprovechamiento, reciclaje o reincorporación a una cadena de producción están limitadas. Teniendo en cuenta lo anterior es importante contemplar la alternativa de disminuir la cantidad de este tipo de residuo que es llevada a disposición final (relleno sanitario).

6.2.4.1. Agregados a la Producción de Materiales de Construcción

Los vidrios industriales pueden ser utilizados como agregados para la producción de materiales para construcción, tales como ladrillos y tejas de arcilla, bloques y árido ligero para el concreto.

6.2.4.2. Agregado para la Producción de Glasphalt

Los vidrios residuales de los VFU también pueden ser reutilizados en la producción de Glasphalt, un tipo de asfalto que contiene un porcentaje de vidrio triturado como agregado.

6.2.5. Residuos Peligrosos

Los residuos peligrosos pueden seguir dos caminos. La primera vía es la gestión acorde a los lineamientos proporcionados por la legislación colombiana en cuanto a

residuos peligrosos se refiere. La segunda vía implica ver los residuos peligrosos como un residuo que no está exento de ser aprovechado, reciclado o reintroducido a una cadena productiva, aun cuando requiere un manejo especial.

Finalmente, dentro de la gestión que deben llevar las entidades dedicadas a la chatarrización vehicular, en lo concerniente a residuos peligrosos, es recomendable que este tipo de industrias cuenten con su propio relleno de seguridad.

7. RESULTADOS

7.1. Análisis de Alternativas de Gestión de los Residuos de los Vehículos

Fuera de Uso

A continuación, se analizan las alternativas de gestión de los residuos de los vehículos fuera de uso, teniendo en cuenta aspectos técnicos, institucionales, financieros, ambientales y de cobertura de la gestión. El estudio de ponderación se observa en el Anexo 2.

7.1.1. Plásticos

Los plásticos constituyen un grupo variado de componentes y materiales en los VFU. En total, se identificaron 10 alternativas para la gestión de los plásticos. Sin duda alguna, las alternativas con menor probabilidad son la metanólisis, la hidrogenación, la gasificación y la quimiólisis o polimerización, principalmente porque no ofrecen una cobertura del 100% en la gestión de plásticos en un VFU. Igualmente, son alternativas que requieren suministro de insumos químicos en sus procesos, por ejemplo, la metanólisis requiere metanol, la hidrogenación requiere de hidrógeno en grandes cantidades, lo cual es muy costoso. Finalmente, se presenta una situación similar con la gasificación, la cual necesita de un agente gasificante, que puede ser aire, oxígeno y/o vapor de agua.

Dentro de las alternativas de manejo de residuos plásticos también están los hornos de lecho fluido o fluidizado. Estos hornos son diseñados principalmente para el tratamiento de materiales conflictivos, de poder calorífico bajo o diferencias de tamaño en el combustible y/o en la alimentación, lo que implicaría un desaprovechamiento de los plásticos, debido a que estos compuestos son a base de petróleo, lo que significa que tienen un poder calorífico muy alto y, por ende, son excelentes combustibles. Además, los hornos en cuestión cuentan con un sistema de incineración que exige un manejo de las emisiones contaminantes y de las cenizas como un residuo peligroso.

Una vez expuestas las desventajas de las alternativas de gestión previamente aludidas, es posible decir que una de las alternativas más viable es el co-procesamiento. En tal procedimiento se aprovecha el gran poder calorífico que tienen los plásticos, pues

sirven como combustible en otras actividades de tipo industrial, como la producción de cemento. También pueden ser usados como agente reductor en los altos hornos de producción de hierro, debido a la fuerte relación hidrógeno: carbono que tienen los plásticos.

Otra característica del co-procesamiento del plástico que lo hace más viable es que no requiere grandes inversiones en plantas o manejo de los residuos, debido a que estos últimos se entregan a un tercero (entidad productora de cemento). Esta alternativa puede representar un ingreso, en el caso de que los residuos sean vendidos, no obstante, en casi siempre se llega a un acuerdo beneficioso entre las dos entidades que no requiere la venta de los plásticos.

A pesar de las fortalezas del co-procesamiento ya enunciadas, esta alternativa se ve limitada por el número de plantas en Colombia que podrían recibir estos residuos. En la Tabla 21 se ofrece un listado de las plantas productoras de cemento en Colombia, de acuerdo con la Federación Interamericana de Cemento (FICEM).

Tabla 21. Lista de plantas productoras de cemento en Colombia.

N°	Nombre de la entidad	Nombre de la planta
1	CEMEX	Planta Ibagué - Caracolito
2	CEMEX	Planta La Calera
3	CEMEX	Planta Bucaramanaga
4	CEMEX	Planta Cúcuta
5	HOLCIM	Planta Nobsa
6	Cementos ARGOS	Planta Sogamoso
7	Cementos ARGOS	Planta San Gil
8	Cementos ARGOS	Planta Cartagena
9	Cementos ARGOS	Planta Tolviejo
10	Cementos ARGOS	Planta Barranquilla
11	Cementos ARGOS	Planta Sabanagrande
12	Cementos ARGOS	Planta Nare
13	Cementos ARGOS	Planta Cairo
14	Cementos ARGOS	Planta Rioclaro
15	Cementos ARGOS	Planta Yumbo

Fuente: Federación Interamericana de Cemento (FICEM)

Como se puede observar en la tabla, en Colombia solo existen 15 plantas dedicadas a la producción de cemento, lo cual significa una clara desventaja por las siguientes razones:

- El número reducido de plantas productoras reduce las posibilidades de gestión de los residuos plásticos.
- Las plantas son de tres propietarios, lo que implica que si uno de ellos no acepta el acuerdo de gestionar los plásticos, las posibilidades se reducen aún más.
- El transporte de los residuos implicaría un problema a analizar, pues en muchos casos no es factible transportar los residuos del lugar donde se generan, si se encuentran alejados del lugar donde van a ser gestionados.

Otras alternativas que tienen una alta viabilidad son la producción de madera plástica y el reciclaje mecánico post-consumo, pues aseguran una cobertura total de los residuos plásticos y un aprovechamiento y reciclaje ambientalmente seguro. Además, las inversiones iniciales son recuperadas en cuanto de dichos procedimientos puede obtenerse un beneficio económico. Es pertinente anotar que estas alternativas forman parte de los procesos de las empresas recuperadoras de plástico.

En vista de lo anteriormente expuesto, las alternativas con mayor viabilidad y escogidas para la gestión de los subproductos plásticos provenientes de la chatarrización vehicular son la pirólisis y la entrega a empresas recuperadoras de plástico. A continuación, se presentarán los hallazgos relativos a las dos alternativas escogidas.

7.1.1.1. Entrega a empresas recuperadoras de plástico

Esta alternativa fue escogida principalmente por su alta compatibilidad a la hora de satisfacer las necesidades de las empresas dedicadas a la chatarrización vehicular en cuanto al manejo de sus residuos plásticos. No requiere grandes inversiones y puede propiciar el flujo de ingresos para las chatarrizadoras porque varias de las empresas que sirven como organismo gestor compran los residuos plásticos. Un beneficio adicional para las chatarrizadoras es el mejoramiento de su imagen ante otras compañías, pues están gestionando de forma segura sus residuos y los están transformando en un subproducto de sus actividades.

Otro rasgo positivo de la alternativa seleccionada es que no requiere de montaje de plantas o herramientas y maquinaria específica para el manejo de los plásticos, pues de ello se encargan los gestores. Basta con que la empresa cuente con un sistema de desmontaje, clasificación y almacenamiento de los plásticos para entrega a la entidad recuperadora de plásticos. Podría potenciarse la eficiencia de este sistema si los residuos son triturados inicialmente para reducir su volumen y aumentar la capacidad de almacenaje.

Adicionalmente, la entrega a las empresas recuperadoras no genera ningún impacto ambiental negativo en los componentes geosférico, hidrosférico y atmosférico, pues el plástico está volviendo a la cadena productiva, en cuanto es la materia prima de entrada para la generación y venta de nuevos productos.

Por otro lado, es relevante destacar que en Colombia existen férreas asociaciones como la Asociación Colombiana de Industrias Plásticas (ACOPLÁSTICOS), que se encargan de ser el puente entre las empresas que no saben qué hacer con sus residuos plásticos y las que están interesadas en dichos residuos. ACOPLÁSTICOS cuenta con un directorio de servicios de reciclaje de residuos plásticos, en el cual hay una amplia gama de empresas, tanto en el Distrito Capital como en toda Colombia, las cuales se dedican a alguna de las actividades de la industria del reciclaje de plásticos, a saber:

- Empresas que recolectan, compran, seleccionan, clasifican, empacan, transportan o comercializan residuos plásticos.
- Empresas que adquieren residuos plásticos seleccionados y clasificados, prestan servicios de reciclaje a terceros o comercializan materia prima recuperada o producto terminado.
- Empresas transformadoras de residuos plásticos.

Así mismo, el directorio proporciona información detallada de distintas compañías proveedoras de equipos y maquinaria para el tratamiento del

plástico, clasificada de acuerdo con la resina plástica que procesan, la aplicación y el tipo de maquinaria que provee; y una completa descripción de las principales resinas plásticas con énfasis en sus propiedades, aplicaciones y sistema de clasificación y codificación internacional de reciclaje.

La entrega a empresas recuperadoras implica una conexión entre tres tipos de personas o responsables de la gestión de los subproductos plásticos: el organismo generador; el organismo receptor o gestor; y el transportista. En muchas situaciones, el organismo receptor o gestor cumple labores únicamente de transportador.

En el Anexo 3 se encuentra el directorio nacional de reciclaje, que será la base de conexión entre las entidades chatarrizadoras y las entidades receptoras y recuperadoras de residuos plásticos.

Los ingresos de esta alternativa están directamente relacionados con las cantidades generadas en el año y de la selección realizada de cada uno de los componentes.

7.1.1.2. Pirólisis

La pirólisis se diferencia de la incineración porque el proceso de descomposición térmica de la materia orgánica se desarrolla en un ambiente con deficiencia o ausencia de aire, mientras que la incineración requiere del oxígeno del aire para provocar la combustión de los componentes²⁹.

Esta alternativa fue escogida principalmente porque no presenta desventajas técnicas, ya que se trata de un sistema cerrado que no genera emisiones a la atmósfera. Igualmente, los subproductos obtenidos pueden ser reutilizados, ya sea como combustibles o materias primas para diferentes procesos industriales. Aunque la inversión inicial requerida sea alta y los costos de mantenimiento y operación también, este gasto puede recuperarse

²⁹ SEDESOL / Capítulo 6. Pirólisis / BVSDE.PAHO.

y volverse un beneficio por la utilización de los subproductos, particularmente como combustibles en la generación de vapor y/o electricidad.

Existen diversos tipos de pirólisis, que se pueden clasificar en dos grupos según el medio de transmisión de calor: autotérmicos y alotérmicos. En la pirólisis autotérmica, el calentamiento se genera por contacto directo con una sustancia caloportadora (gas, aceite, esferas cerámicas, etc.). Este tipo de calentamiento se utiliza cuando se pretende alcanzar la temperatura final de descomposición en tiempos muy cortos. En la pirólisis alotérmica, los residuos y el elemento calefactor se encuentran separados por las paredes del reactor.

Según la velocidad de transmisión de calor y la presión de operación también se clasifican en:

- Pirólisis lenta o a presión atmosférica
- Pirólisis a presión reducida
- Pirólisis flash

A continuación, se desglosa una planta de pirólisis a partir de los requerimientos técnicos del informe de resultados del proyecto de valorización energética de los residuos de fragmentación y neumáticos provenientes de vehículos fuera de uso en la parte de plantas y capacidades. Aunque la alternativa inicialmente fue seleccionada para atender el manejo de los residuos plásticos, en este punto se generaliza el proceso y se toma como opción la pirólisis como alternativa para el manejo del residuo de fragmentación que incluye dentro de este grupo los plásticos.

Una planta de pirólisis requiere de personal experto en la materia, normalmente todos los diseños, unidades y mano de obra para la construcción se hacen en un mismo lugar y atienden principalmente a dos factores: la capacidad de producción de residuos a tratar en la planta y la calidad de los subproductos obtenidos.

Para una producción de 1400 ton/mes = 16800 ton/año, que es la producción actual de SIDENAL en representación de las entidades dedicadas a la chatarrización vehicular, se escoge el diseño de una planta con una capacidad de 20 000 ton/año, es decir, la planta de pirólisis a diseñar tendría un sobredimensionamiento de aproximadamente el 16%. Los datos iniciales están consignados en la Tabla 22.

Tabla 22. Datos de partida para la construcción de una planta de pirólisis de residuos de fragmentación.

Dato	Valor
Reactor pirolítico	400 – 650 °C
Capacidad de producción	2,6 ton/h ≈ 2000 ton/año
Combustible auxiliar. Reactor pirolítico	0,280 ton/h
Coque	0,6 ton/h
Cantidad de gas de combustión	68 000 Nm ³ /h
Temperatura del gas de combustión salida de la cámara SDA	150 °C

Fuente: Autor.

La planta de pirólisis está conformada por cuatro grandes elementos:

- Una instalación de recepción y almacenamiento
- Una instalación de secado
- Una instalación de tratamiento térmico en ausencia de oxígeno
- Una instalación de valorización de los combustibles

En los siguientes apartados se amplía la información relativa a los requerimientos técnicos y a los procesos ejecutados en cada una de las instalaciones de la planta de pirólisis.

- **Instalaciones de recepción y almacenamiento de los productos**

El residuo de fragmentación que va al proceso de pirólisis presenta generalmente más de un 10% de humedad relativa, por tanto, es necesario instalar secadores mediante tambores rotantes e incluso se puede pasar por un tamiz con el fin de retirar parte de las tierras e inertes.

Por otra parte, el reparto en el transcurso del año de los días laborales y de los festivos exige disponer de capacidades de almacenaje del residuo de fragmentación de al menos tres días completos, en vista

de la posibilidad de un puente festivo. Por lo anterior, las instalaciones de aprovisionamiento deberán contener una fosa de almacenamiento con capacidad para albergar ese volumen de residuos. Se trata de una instalación de almacenaje clásica que debe tener un dispositivo contra incendios, al tratarse de un residuo autoinflamable cuando asciende la temperatura atmosférica.

La gestión de almacenaje se realizará por medio de un cargador automático instalado al comienzo de una cinta, que garantizará la transferencia de las cargas interpuestas y el aprovisionamiento de los secadores.

- **Línea de secado de los residuos de fragmentación**

Para que el proceso sea eficaz, se debe trabajar con productos secados previamente, hasta alcanzar un grado de humedad máximo del 10%. Las instalaciones de secado deben contemplar lo siguiente:

- Un conjunto de transportadores que trasladan los productos desde la instalación de almacenaje hasta la tolva de estocaje, con capacidad para el suministro diario.
- Un transportador de banda que vierte los productos a la tolva dosificadora de secado.
- Ambas tolvas deberán almacenar 12 horas de producción y dispondrán de un volumen suficiente para almacenar entre 80 y 90 toneladas de residuos.
- Las tolvas son de forma cilíndrica y se montan sobre un chasis en una estructura metálica, en cuyo cono de salida se adapta un extractor que conducirá los residuos al secador.

Dentro del secador, el conjunto de los productos es removido y mantenido en contacto hasta el secado deseado, con una humedad no superior al 10%. La velocidad de rotación del secador se garantiza mediante un motor hidráulico de 4 kw de potencia. Los productos secos son extraídos y llevados hacia la tolva de almacenamiento mediante un transportador estanco.

- **Conjunto de tratamiento térmico**

Luego de la cámara de secado, se encuentra el conjunto de tratamiento térmico, que incluye el reactor de pirólisis, los equipos de lavado de gases y de reciclaje de los productos no saturados. Esta instalación térmica es la más importante porque en ella se hace la separación de los componentes poliméricos del residuo de fragmentación, incluyendo el plástico y la producción de subproductos energéticos en forma de gas, fuel y carbón.

Se propone la construcción de un reactor con capacidad para atender a 3 ton/h de residuos de fragmentación, y para cuyo calentamiento se emplea gas o electricidad. El reactor dispone de un sistema de alimentación conectado a la tolva de almacenamiento y tiene una pieza de extracción del horno, que permite asegurar la selección de los productos termolizados, con el fin de no extraer más que estos y no los sólidos no suficientemente degradados, y extraer estos últimos productos, asegurando su separación de los efluentes gaseosos. Los gases procedentes de este dispositivo desembocan en el colector, denominado “quench” o dispositivo de condensación.

- **Dispositivo de lavado y tratamiento de gases**

Este dispositivo cumple las funciones de extracción de los gases calientes, separa los gases condensables de los no condensables, asegura la inyección de los condensables en el reactor y lava los incondensables antes de dirigirlos a la instalación de combustión mediante un compresor.

- **Generación de energía**

Los productos gaseosos y/o líquidos se pueden utilizar como combustible en una planta clásica de generación de energía eléctrica.

A continuación, se muestra el proceso básico:

- La turbina de gas comprime y quema el combustible en la cámara de combustión, previamente almacenado en el depósito, con lo cual energía eléctrica.

- Los gases calientes de escape de la turbina son introducidos en la admisión de la caldera de recuperación. Su contenido energético aumenta mediante un quemador de poscombustión.
- La caldera de recuperación produce vapor en nivel de alta presión, se conduce directamente a la turbina de vapor y a la sección de baja de la turbina de gas para dotarla de una inyección de vapor.
- El nivel de baja presión (BP) satisface las necesidades de calor del resto del proceso, tales como el secado de los residuos y otros.
- El vapor saliente de la turbina, a este nivel de presión, se conecta a la red general de distribución de vapor a BP, que alimenta las fases del proceso que se suplen de vapor.
- El vapor de alta presión (AP) alimenta el proceso de combustión en la turbina de gas. El resto del vapor producido alimenta una turbina de vapor a condensación, que incrementa la producción de energía eléctrica.

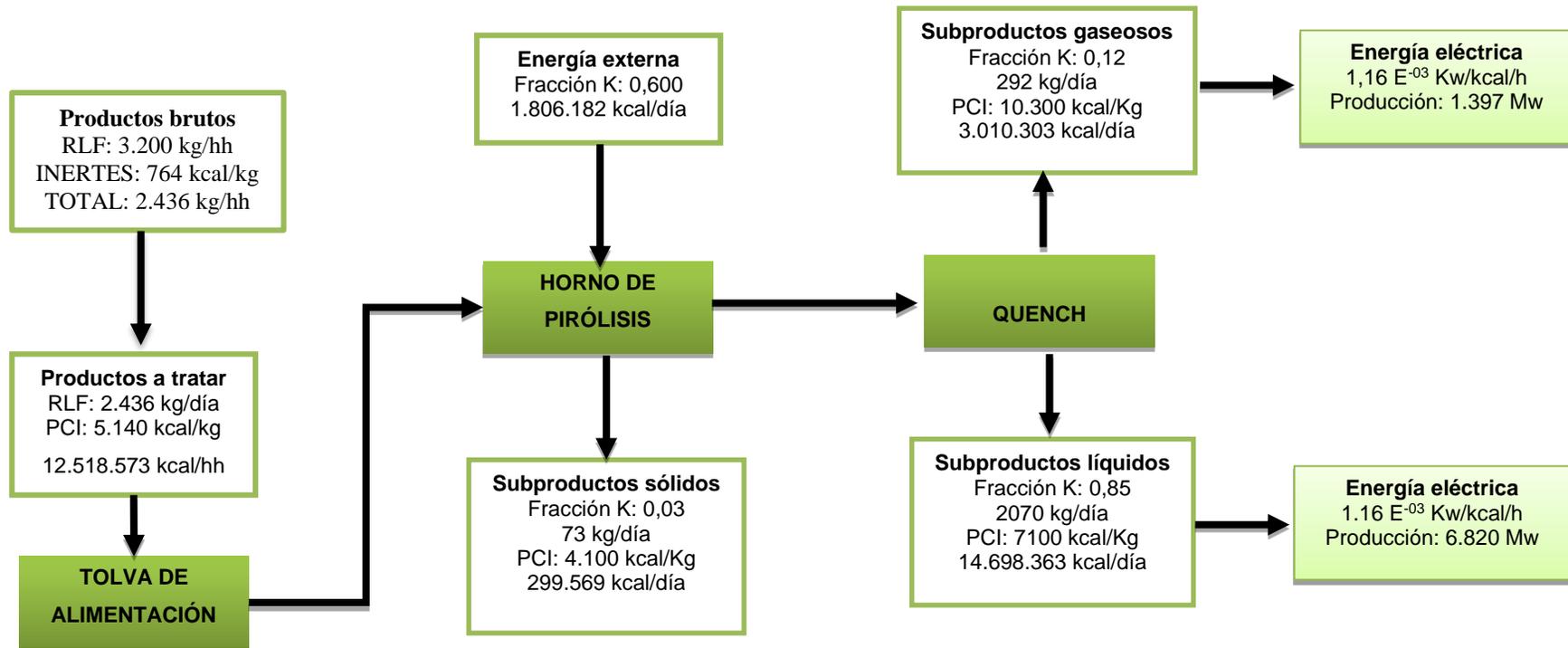
En la siguiente tabla se listan las características generales de los combustibles obtenidos del proceso de pirólisis.

Tabla 23. Subproductos obtenidos de un proceso de pirólisis.

Fuel		Gas		Negro de carbón	
Parámetro	Composición	Parámetro	Composición	Parámetro	Composición
Carbono	88,2%	Carbono	73,1%	Contenido en carbón	88%
Hidrógeno	9,4%	Hidrogeno	14,19%	Volátiles	2,5%
Oxígeno	0,6%	Oxigeno	7,5 %	Humedad máxima	1%
Nitrógeno	0,4%	Nitrógeno	3,5%	Azufre	2,0%
Azúfre	0,7%	Azúfre	1,0%	Otros	6,5%
Otros	0,7%	Poder calorífico	10 300 Kcal/kg	Poder calorífico	4100 Kcal/kg.
Poder calorífico	7100 Kcal/Kg				

Fuente: Valorización energética de residuos de fragmentación y neumáticos provenientes de VFU.

A continuación, se muestra un balance de masa y energía del proceso de pirólisis del residuo de fragmentación (Esquema 4).



Esquema 4. Balance de masa y energía de una planta de pirólisis con capacidad de 20000 ton/año.

Fuente: Valorización energética de residuos de fragmentación y neumáticos provenientes de VFU.

Los efluentes gaseosos procedentes de los hornos de pirólisis salen a 400 °C y contienen productos condensables recogidos en la línea de condensación, en forma de hidrocarburos líquidos. Estos sirven en procesos de calderas de lecho fluidizado, en cementeras o en centrales equipadas con instalaciones de tratamiento de humos, gracias al gran poder calorífico aproximado de 7500 Kcal/kg. Es posible transformarlos mediante craqueo parcial y reciclarlos en mayor cantidad de gas y, por tanto, no producirlos si se comprueba que no tienen salida comercial.

El carbón recuperado, después de la pirólisis, es polvo. Junto a este carbón se encuentran todos los estériles que entraron en la planta y no se separaron anteriormente (metales férricos, no férricos, vidrios, tierra, etc.). Esos elementos se separan del carbón por medios físicos convencionales: separadores magnéticos, densimetrías, etc. Este carbón tiene un poder calorífico inferior (PCI - valor térmico más bajo es la cantidad de calor disponible realmente en el proceso de combustión para captarlo y utilizarlo.), estimado de 4100 Kcal/kg y su utilización como combustible en cementeras es de gran valor.

En el carbón también se encuentran los metales pesados y demás contaminantes que han entrado en la planta y que no fueron destruidos por la división molecular. Se separan por métodos físico-químicos y, en lugar de llevarlos al vertedero, se pueden vitrificar mediante tecnología de plasma, proceso que requiere de aparatos específicos y gas ionizado, y en el cual se alcanzan temperaturas de hasta 3000 °C. Con el procedimiento enunciado se evita la lixiviación. Los productos resultantes se pueden utilizar en diversos procesos de construcción, rellenos, hormigones, vitrocerámicas etc. Por último, es válido decir que esta operación no es necesaria si la valoración energética se produce en hornos de cementeras.

En lo relativo a los aspectos ambientales, la pirólisis permite la recuperación de todos los componentes de los residuos orgánicos del sector de la automoción, pues pueden convertirse en subproductos reutilizables en forma de gases, líquidos y sólidos. Debido a ello, el proceso se considera amigable con el medio ambiente, en comparación con los sistemas convencionales de incineración.

- **Suministro eléctrico**

Para conocer el Kw-h por kg de producto tratado para suministro de motores, consumos eléctricos de las planta, se plantea la siguiente ecuación:

$$FEE = CT * MP * NR * KU * TE$$

En donde

- CP = Consumo de energía eléctrica en las plantas y motores de proceso
- CT = Consumo de energía eléctrica en Kw-h por kg de producto tratado
- MP= Cantidad de producto tratado
- NR = Capacidad de tratamiento de la planta en horas

En función de lo anterior, para una planta con capacidad de producción de 20000 ton/año el suministro eléctrico es:

Tabla 24. Valores de consumo de energía eléctrica

Aspecto	MP	CT	CT*MP
Sólidos	73 kg/h	0,20	14,60
Aceites	2.070 kg/h	0,340	703,80
Gases	292 kg/h	0,200	58,40
Totales			776,80

Fuente: Valorización energética de residuos de fragmentación y neumáticos provenientes de VFU.

La capacidad de tratamiento de la planta en horas es de 8,23 h, por lo que el consumo de la planta será:

$$CP = 8,23 \cdot 776,80 = 6390 \text{ Kw} - \text{Hr}$$

- **Suministro de agua**

Este punto contempla los consumos de agua en la planta de lavado de carbón y la reposición por pérdidas en los circuitos de vapor. Se ha estimado un consumo aproximado de 5 m³/día para la planta con capacidad de 20000 ton/año de residuos de fragmentación.

De acuerdo con lo anterior a continuación se presenta el análisis financiero del proceso.

7.1.2. Caucho – Neumático Fuera de Uso

El caucho corresponde a los tapetes y empaques presentes en todo el vehículo, así como en los neumáticos. En total se identificaron ocho alternativas para la gestión del subproducto caucho – neumáticos fuera de uso.

De las ocho alternativas, las que menos viabilidad presentan son los hornos de lecho fluido o fluidizado, principalmente por el impacto ambiental que producen. Aunque implican una adecuada gestión del subproducto, tales hornos generan nuevos focos de contaminación (emisiones, escoria y ceniza contaminante), a lo cual se suma el hecho de que se desaprovecha el potencial energético del subproducto y no se recibe ningún beneficio por la gestión a través de esta alternativa.

Las alternativas de desvulcanización y recuperación guardan cierta relación, debido a que son alternativas con las que se consigue una descomposición de los constituyentes del neumático. Sin embargo, estas alternativas presentan ciertos inconvenientes porque demandan gran cantidad de insumos químicos para depolimerizar los componentes de los neumáticos, lo que significa a su vez, un gasto económico y un requerimiento técnico por unidades de almacenamiento de insumos.

Además, las tecnologías desvulcanización y recuperación requieren bastante atención y supervisión, pues se trata de reacciones en cadena en las cuales es indispensable controlar el medio de reacción, por tratarse de un proceso químico en su mayoría. Finalmente, un proceso de esta categoría demanda una inversión inicial alta y una tecnología avanzada (que aún no tiene Colombia), para romper los entrecruzamientos, para reutilizar los componentes de caucho y obtener una resina virgen.

Seguidamente, se encuentra el recauchutado, una alternativa que sería altamente viable si no existieran limitaciones en la selectividad de los productos que admite para su proceso. No solamente está la cuestión de que no es una tecnología muy utilizada para los neumáticos de los coches convencionales, sino también se trata de un proceso que solo podría llevarse a cabo los neumáticos que pueden reconstruir su estructura original. No obstante, un aspecto positivo del recauchutado es el hecho de que para la fabricación de un neumático nuevo de coche se necesita unos 32 litros de crudo, mientras que el recauchutado solo se necesitarían unos 11 litros.

De acuerdo con lo presentado hasta ahora, las alternativas con mayor viabilidad son: molienda, entrega a empresas recuperadoras de neumáticos fuera de uso, co-procesamiento y pirólisis – termólisis.

Las alternativas de entrega a empresas recuperadoras de NFU y pirólisis – termólisis atienden a la misma teoría dada para los plásticos en los numerales 7.1.1.1 y 7.1.1.2, debido a que los cauchos y los NFU contienen elastómeros.

Finalmente, las alternativas con mayor viabilidad escogidas para la gestión de los subproductos caucho – NFU provenientes de la chatarrización vehicular son la molienda y el co- procesamiento.

7.1.2.1. Molienda o tecnología de reducción de tamaño

Esta alternativa presenta una alta viabilidad principalmente por la gran versatilidad y margen de cobertura que implica. Para el caso del presente estudio solo se profundizará en la molienda a temperatura ambiente, pues los otros tipos de molienda (criogénica y húmeda) presentan grandes inconvenientes.

La molienda criogénica, por ejemplo, implica un gran gasto de nitrógeno para lograr fragilizar el caucho; también necesita un secado del producto, condición que la molienda a temperatura ambiente no exige.

La molienda húmeda presenta varios problemas, que no ocurren con la molienda a temperatura ambiente. Algunos de ellos son:

- Es un tipo de molienda sobre la cual no se sabe mucho.
- Requiere de inyección de agua pulverizada continuamente para asegurar el enfriamiento del polvo.
- Requiere procesos de separación del agua, del polvo y secado.

Para entrar en materia, es pertinente lo descrito en el documento “Valorización material y energética de neumáticos fuera de uso”, según el cual la molienda a temperatura ambiente se suele llevar a cabo en un molino de dos rollos tipo “cracker”. Los rollos contienen ranuras con bordes afilados que rompen el caucho. Son molinos clásicos constituidos por un rotor y el estator que lo rodea.

Previamente al molido, es necesario separar el componente metálico para evitar daños, se hace normalmente con separadores magnéticos dispuestos sobre las cintas. Para eliminar la parte textil, se suelen emplear cintas o bandejas vibratorias que originan el apelmazamiento de las fibras, que después se separan por tamizado o mediante el uso de otros dispositivos.

El proceso a temperatura ambiente normalmente comprende las siguientes actividades:

- Separación del metal,
- Separación de la fibra,
- Reducción a polvo grueso,
- Reducción a polvo ultra fino,
- Empaquetado y pesado.

El equipamiento empleado se puede dividir en ocho grupos:

- Cuchillas gruesas/afiladas,
- Granuladores primarios y secundarios,
- Raspadores,
- Molinos,
- Cracker primarios y secundarios,
- Rodillos de acabado y microrrodillos.

La distribución y tamaño de la partícula del polvo depende del número de veces que se pasa el polvo por el rodillo y del tipo de rodillo empleado. En general, el rodillo primario reducirá a tamaños entre 10-40 mesh, y los secundarios y de acabado podrán reducir a 80 mesh.

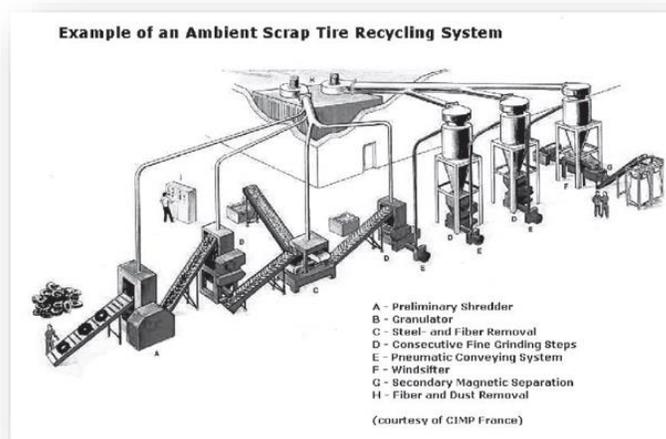


Ilustración 16. Sistema de molienda a temperatura ambiente.

Fuente: Valorización material y energética de neumáticos fuera de uso.

Como desventajas de la molienda a temperatura ambiente, hay que mencionar que sus instalaciones necesitan mucha potencia y tienen un fuerte desgaste de cuchillas de corte, y demás sistemas de trituración y separación de componentes, así que requieren mantenimiento continuo y de coste elevado. Adicionalmente, existe el riesgo de lixiviado del óxido de zinc, el cual se clasifica como peligroso para el medio ambiente y muy tóxico para los organismos acuáticos; sin embargo, se han hecho varios estudios para la evaluación del mismo en diversos ambientes aplicativos y no se han encontrado impactos negativos relevantes.

Debido a su gran versatilidad y a que puede ofrecer diversos tamaños de caucho, la molienda tiene múltiples aplicaciones, de tal manera que la comercialización y venta de este subproducto genera una eficiente fuente de ingresos. En la Tabla 25 se expone una serie de productos y aplicaciones de la tecnología tratada hasta ahora.

Tabla 25. Aplicaciones de los productos generados a través de los procesos de molienda a temperatura ambiente.

Producto/aplicación	Material	Fuente – neumático	Tecnología empleada
Ingeniería civil (no carreteras)			
Contrafuerte de puentes	<ul style="list-style-type: none"> • Neumático entero. • Neumático en tiras. • Granulado de neumático. 	Entero de coche-camión.	<ul style="list-style-type: none"> • Molienda a temperatura ambiente.
Sistemas de drenaje en alcantarillas	<ul style="list-style-type: none"> • Neumático en astillas. • Granulado de neumático. 	Entero de coche-camión.	<ul style="list-style-type: none"> • Molienda a temperatura ambiente.
Diques	<ul style="list-style-type: none"> • Neumático entero • Neumático en astillas • Granulado de neumático 	Entero de coche-camión, y mezcla de neumáticos.	<ul style="list-style-type: none"> • Molienda a temperatura ambiente.
Aislamientos de ruido	<ul style="list-style-type: none"> • Neumático entero • Neumático en astillas • Granulado de neumático 	Entero de coche-camión.	<ul style="list-style-type: none"> • Molienda a temperatura ambiente.
Capa drenante en vertedero	<ul style="list-style-type: none"> • Neumático en tiras. • Neumático en astillas 	Entero de coche-camión.	<ul style="list-style-type: none"> • Molienda a temperatura ambiente.
Ingeniería para el confinamiento y estabilización de superficies	<ul style="list-style-type: none"> • Neumático en tiras. • Neumático en astillas. • Neumático entero. 	Entero de coche-camión.	<ul style="list-style-type: none"> • Molienda a temperatura ambiente.
Estabilización de pendientes	<ul style="list-style-type: none"> • Neumático en tiras. • Neumático en astillas. • Neumático entero. 	Entero de coche-camión.	<ul style="list-style-type: none"> • Molienda a temperatura ambiente.
Aislamiento térmico	<ul style="list-style-type: none"> • Neumático en tiras. • Neumático en astillas. • Neumático entero. 	Entero de coche-camión y mezcla de neumáticos.	<ul style="list-style-type: none"> • Molienda a temperatura ambiente.
Base para railes de tranvías y trenes.	<ul style="list-style-type: none"> • Granulado de neumático 	Entero de coche-camión.	<ul style="list-style-type: none"> • Molienda a temperatura ambiente.
Ingeniería civil (carreteras)			
Caucho del asfalto	<ul style="list-style-type: none"> • Granulado de neumático. • Polvo de neumático. 	Entero de coche y mezcla de neumático.	<ul style="list-style-type: none"> • Molienda a temperatura ambiente. • Molienda criogénica.
Recubrimientos	<ul style="list-style-type: none"> • Polvo de neumático. • Recuperado. • Desvulcanizado • Pirolítico 	Neumático pisado de camión.	<ul style="list-style-type: none"> • Molienda a temperatura ambiente. • Molienda criogénica. • Recuperación. • Desvulcanización. • Pirólisis.
Barreras de choque	<ul style="list-style-type: none"> • Neumático entero. • Neumático en trozos. • Neumático en tiras. • Neumático en astillas. • Granulado de neumático. 	Todas.	<ul style="list-style-type: none"> • Molienda a temperatura ambiente.
Rellenos ligeros	<ul style="list-style-type: none"> • Neumático entero. • Neumático en tiras. • Neumático en astillas. 	Entero de coche-camión, mezcla de neumáticos.	<ul style="list-style-type: none"> • Molienda a temperatura ambiente.
Barreras de ruido	<ul style="list-style-type: none"> • Neumático entero. • Neumático en trozos. • Neumático en tiras. • Neumático en astillas. 	Entero de coche-camión, mezcla de neumáticos.	<ul style="list-style-type: none"> • Molienda a temperatura ambiente.
Equipamientos viales y ferroviarios	<ul style="list-style-type: none"> • Granulado de neumático. 	Todas.	<ul style="list-style-type: none"> • Molienda a temperatura ambiente.

Producto/aplicación	Material	Fuente – neumático	Tecnología empleada
	<ul style="list-style-type: none"> Polvo de neumático. Recuperado. Desvulcanizado. 		<ul style="list-style-type: none"> Molienda criogénica. Recuperación. Desvulcanización.
Sellantes	<ul style="list-style-type: none"> Polvo de neumático. Recuperado. Desvulcanizado. Pirólítico. 	Enteros de coche.	<ul style="list-style-type: none"> Molienda a temperatura ambiente. Reducción criogénica. Recuperación. Desvulcanización. Pirólisis.
Capas superficiales (firme)	<ul style="list-style-type: none"> Granulado de neumático. Polvo de neumático. Recuperado. Desvulcanizado. Pirólítico. 	Entero de coche y camión y mezcla de neumáticos.	<ul style="list-style-type: none"> Molienda a temperatura ambiente. Reducción criogénica. Recuperación. Desvulcanización. Pirólisis.
Carreteras provisionales	<ul style="list-style-type: none"> Neumático entero. Neumático en tiras. Neumático en astillas 	Entero de coche y camión.	<ul style="list-style-type: none"> Molienda a temperatura ambiente.
Capa superior del pavimento	<ul style="list-style-type: none"> Granulado de neumático. Polvo de neumático. Recuperado. Desvulcanizado. 	Entero de coche y camión, neumático de coche pisado.	<ul style="list-style-type: none"> Molienda a temperatura ambiente. Reducción criogénica. Recuperación. Desvulcanización.
Ingeniería civil (deportes y superficies de seguridad)			
Vías ecuestres	<ul style="list-style-type: none"> Granulado de neumático. 	Picado coche, entero camión, mezcla de neumáticos.	<ul style="list-style-type: none"> Molienda a temperatura ambiente.
Campos de fútbol/Hockey	<ul style="list-style-type: none"> Granulado de neumático. 	Entero coche-camión.	<ul style="list-style-type: none"> Molienda a temperatura ambiente.
Pavimentos de seguridad	<ul style="list-style-type: none"> Granulado de neumático. Polvo de neumático. 	Entero coche-camión.	<ul style="list-style-type: none"> Molienda a temperatura ambiente. Molienda criogénica.
Superficies de recreo	<ul style="list-style-type: none"> Neumático en astillas. Granulado de neumático. Polvo de neumático. 	Entero coche-camión.	<ul style="list-style-type: none"> Molienda a temperatura ambiente. Molienda criogénica.
Productos industriales / consumidor.			
Usos agrícolas	<ul style="list-style-type: none"> Granulado de neumático. 	Entero de coche	<ul style="list-style-type: none"> Molienda a temperatura ambiente.
Pilas domésticas	<ul style="list-style-type: none"> Polvo de neumático. Recuperado. Desvulcanizado. Pirólítico. 	Todas	<ul style="list-style-type: none"> Reducción a temperatura ambiente. Reducción criogénica. Desvulcanización. Pirólisis. Recuperación. Otras tecnologías.
Componentes para cableado	<ul style="list-style-type: none"> Recuperado. Desvulcanizado. Productos de carbón. 	Cámara de aire.	<ul style="list-style-type: none"> Molienda a temperatura ambiente. Recuperación. Desvulcanización. Otras tecnologías.
Calzado	<ul style="list-style-type: none"> Granulado de neumático. Polvo de neumático. Buffing. Recuperado. Desvulcanizado. 	Todas	<ul style="list-style-type: none"> A, C, B, R, D, P, O Molienda a temperatura ambiente. Molienda criogénica. Buffing. Recuperación.

Producto/aplicación	Material	Fuente – neumático	Tecnología empleada
	<ul style="list-style-type: none"> • Pirolítico. • Productos de carbón. 		<ul style="list-style-type: none"> • Desvulcanización. • Pirólisis. • Otras tecnologías.
Baldosas	<ul style="list-style-type: none"> • Granulado de neumático. • Polvo de neumático. • Recuperado. • Desvulcanizado. 	Todas	<ul style="list-style-type: none"> • Molienda a temperatura ambiente. • Molienda criogénica. • Recuperación. • Desvulcanización.
Alfombras para animales	<ul style="list-style-type: none"> • Granulado de neumático. • Neumático en astillas. 	Mezcla coche – camión.	<ul style="list-style-type: none"> • Molienda a temperatura ambiente.
Materiales para techos/tejados	<ul style="list-style-type: none"> • Granulado de neumático. • Polvo de neumático. 	Entero de coche-camión.	<ul style="list-style-type: none"> • Molienda a temperatura ambiente. • Molienda criogénica. • Recuperación. • Desvulcanización.
Alfombrillas para los vehículos	<ul style="list-style-type: none"> • Granulado de neumático. • Polvo de neumático. • Buffing. • Recuperado. • Desvulcanizado. 	Todas	<ul style="list-style-type: none"> • Molienda a temperatura ambiente. • Molienda criogénica. • Recuperación. • Desvulcanización.

Fuente: Valorización material y energética de neumáticos fuera de uso. Modificado por el Autor.

El proceso de molienda a temperatura ambiente consta de varias fases, explicadas a continuación:

Fase I. La primera fase consiste en trocear los neumáticos a un tamaño de 10x10 cm, aproximadamente. De esta primera fase tan solo se reciclará la cantidad necesaria, según la demanda del mercado, y el resto se empleará como combustible alternativo, por ejemplo, en hornos de cementeras.

Fase II. En la siguiente fase se reduce el tamaño de los trozos a 2,5 cm, mediante máquinas en cascada que separan el acero (mediante imanes), las piedras y la tierra (mediante mesas densimétricas), y la fibra.

Fase III. Para la fabricación del polvo de goma (tamaños inferiores 1,5 mm), se hace pasar por un grupo de máquinas que realizan la molienda por fricción, la criba y la separación del resto de impurezas metálicas.

7.1.2.2. Co-procesamiento

Esta alternativa presenta una elevada posibilidad por encima de otras, debido a que ofrece la posibilidad de tratar al 100% todos los neumáticos fuera de uso, aprovechando energéticamente el gran poder calorífico que estos tienen. No

solamente trata los NFU, también pueden incluirse otros componentes como los plásticos (por compatibilidad) y el residuo de fragmentación (por poseer entre la mezcla de residuos, plástico y caucho – NFU). Así mismo, esta alternativa garantiza una gestión ambientalmente segura de los residuos de caucho y neumáticos fuera de uso, puesto que son compuestos derivados de hidrocarburos, lo que permite sustituir otros combustibles en procesos a escala industrial.

Para la fabricación de las materias que componen el cemento, las plantas cementeras necesitan aportar una gran cantidad de combustible que permita a los hornos alcanzar los 2000 grados de temperatura necesarios para este proceso. Para la industria cementera, el empleo de residuos como materiales y combustibles alternativos en la fabricación de cemento supone, entre otras fortalezas, un modo de preservar los recursos naturales, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, lo cual ayuda a cumplir con los objetivos del protocolo de Kyoto, además de tratarse de una solución para la gestión de residuos³⁰.

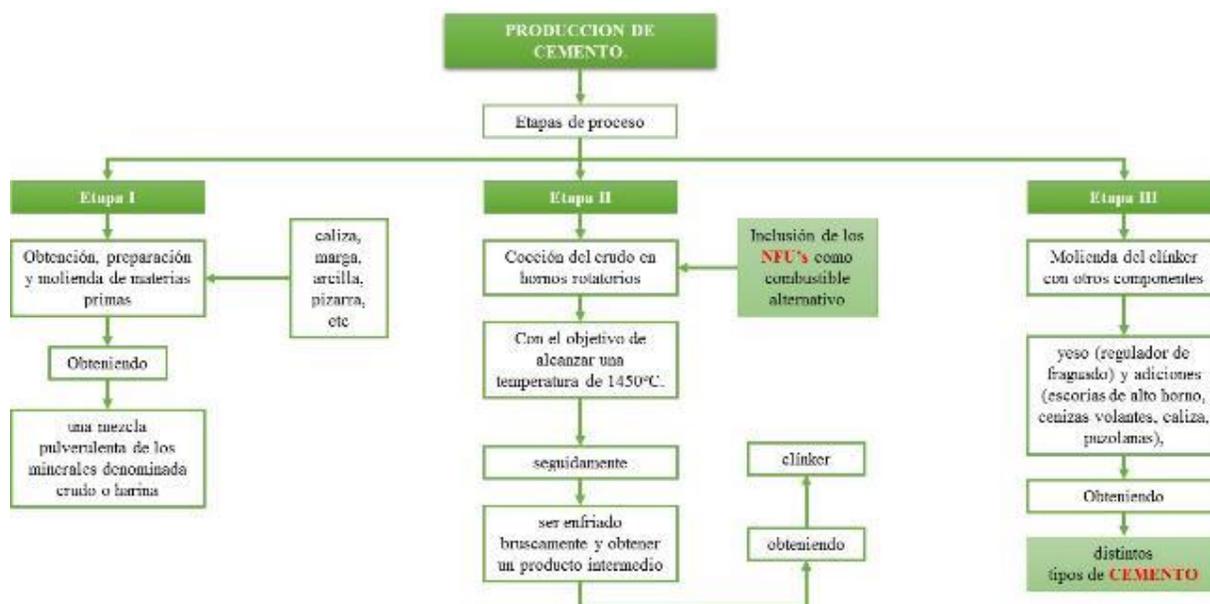
Si se extendiese una alternativa como está a nivel de Colombia, las ventajas incrementan tanto para la industria de la chatarrización vehicular, como para las industrias de la recuperación y del cemento, con lo cual se lograría:

- Un tratamiento ambientalmente seguro de los residuos, aprovechando al máximo su energía y minerales, sin generar impactos añadidos en el entorno.
- Un ahorro de combustibles fósiles no renovables (carbón y derivados del petróleo).
- Una disminución global de las emisiones, en particular las de CO₂ (uno de los gases responsables del efecto invernadero) y otras emisiones como NO_x y SO₂.
- Una sustitución de combustibles fósiles por materiales que hubieran sido enterrados en vertederos.

³⁰ SIGRAUTO, OFICEMEN, La Recuperación Total De Los Vehículos Fuera De Uso, www.autocemento.com, pág. 3.

- Una alternativa económica y flexible de gestión de residuos, pues permitiría volver a utilizar combustibles fósiles cuando se mejoren las prácticas de reducción de residuos generados.

La fabricación de cemento es una actividad industrial de procesamiento de minerales. Se divide en tres etapas básicas, las cuales se observan en el siguiente esquema:



Esquema 5. Neumáticos fuera de uso en la producción de cemento.

Fuente: Autor.

Algunos estudios (más específicamente, los elaborados por laboratorios LBEIN del Clinker) han comprobado que el empleo del neumático troceado en un porcentaje de sustitución del 20% son similares a los obtenidos utilizando como combustible solamente coque de petróleo. También se ha observado que con la utilización de neumáticos se reducen las emisiones de NO_x y SO₂, por lo que es absolutamente factible la valorización en hornos de cemento hasta un 20% del combustible utilizado.

En cuanto al aspecto financiero se refiere, las empresas dedicadas a la chatarrización vehicular de servicio público no requieren de una inversión alta, pues solo se necesita una unidad de almacenamiento del caucho y neumáticos

fuera de uso. Lo que sí se requiere es establecer un acuerdo entre la entidad chatarrizadora y la entidad coprocesadora para acciones como el transporte del subproducto, pues es imperativo definir si este se va a vender a la entidad coprocesadora o simplemente su acuerdo se basa en una acción mutua de ayuda sin intereses económicos para ambos, más que el cumplimiento del manejo ambiental del residuo.

Claramente, el manejo y la correcta gestión de los residuos son benéficos para las entidades chatarrizadoras. Por ejemplo, para el caso específico de una alternativa de esta categoría se pueden obtener dos beneficios fiscales y/o tributarios: el primero, contemplado por la Ley 223 de 1995, en su artículo 158, que dice: “Deducción de hasta el 20% en la renta líquida por inversiones en mejoramiento y control ambiental”; y el segundo, dado por el Estatuto Tributario, artículo 428, literal f, que dice: “Exclusión del IVA a equipos y maquinaria importados que no se produzcan en el país para actividades relacionadas al aprovechamiento de residuos sólidos”.

7.1.3. Metales no Ferrosos

Para el manejo de los metales no ferrosos se identificaron tres alternativas. Todas comparten una cualidad: después de ejecutadas y tener el subproducto metales no ferrosos separado de otro tipo de materiales, su destino es la comercialización y venta del metal. De igual modo, en todas las alternativas se hace énfasis en la correcta separación del metal no ferroso de otras fracciones que componen un vehículo fuera de uso.

La alternativa con menor viabilidad es la separación manual de metales no ferrosos porque si bien podrían verse beneficios en cuanto a la generación de empleo, por el aumento del personal requerido, esta alternativa presenta fallas en su nivel de eficiencia. La extracción de fracciones metálicas no ferrosas de un vehículo debe hacerse después del proceso de fragmentación, ya que es probable que muchos de los metales no ferrosos no sean separados correctamente del residuo de fragmentación. Por último, la demanda de residuo de fragmentación debe ser subsanada en la oferta de trabajadores que separen el subproducto.

En virtud de lo anterior, se establece que las alternativas con mayor viabilidad la gestión de los subproductos metales no ferrosos provenientes de la chatarrización vehicular son la separación por medios densos y la separación por corrientes de Foucault, ambas vinculadas con una posterior venta y comercialización.

7.1.3.1. Separación por medios densos – venta de metales no ferrosos³¹

Esta alternativa se escogió como viable porque es aplicable a todos los metales no ferrosos. Además, es altamente efectiva al considerar la densidad de los elementos para lograr la separación de los subproductos y, teóricamente, cualquier tamaño de partícula puede ser tratado por medio denso.

El proceso de separación por medio denso consiste en separar sólidos en función de sus densidades mediante el uso de un fluido de densidad intermedia. En la separación se obtiene un sólido de densidad baja, el cual flota en el fluido mientras la parte sólida de densidad más alta se sumerge en el fluido. Los medios densos usados son líquidos orgánicos, solución de sales en agua y, más comúnmente suspensiones de sólidos de granulometría fina en agua.

La separación en medio denso se divide en dos métodos básicos: estático y dinámico. De estos dos tipos, el más apto para los metales no ferrosos es el de sistema estático, al cual se asocia un subtipo particular conocido como tecnología de medios densos. Esta tecnología se basa en la aplicación de la diferencia de densidad de los materiales que componen la corriente de alimentación del proceso y el líquido presente en cada fase, en el interior de un tambor cilíndrico.

La aplicación de la tecnología de medios densos es antecedida por un proceso de fragmentación de los materiales, para que sea más eficiente y no se genere ningún problema con la maquinaria involucrada.

³¹ Jennifer Rincón Castro, Jorge Alberto Santos Díaz, Formulación de alternativas para el manejo del subproducto metales no ferrosos provenientes del proceso de chatarrización de vehículos de servicio público en la ciudad de Bogotá. Pág. 111-113

La Ilustración 17 representa una configuración de un aplicable a medios densos. Mas adelantes, se desglosa cada una de sus fases.

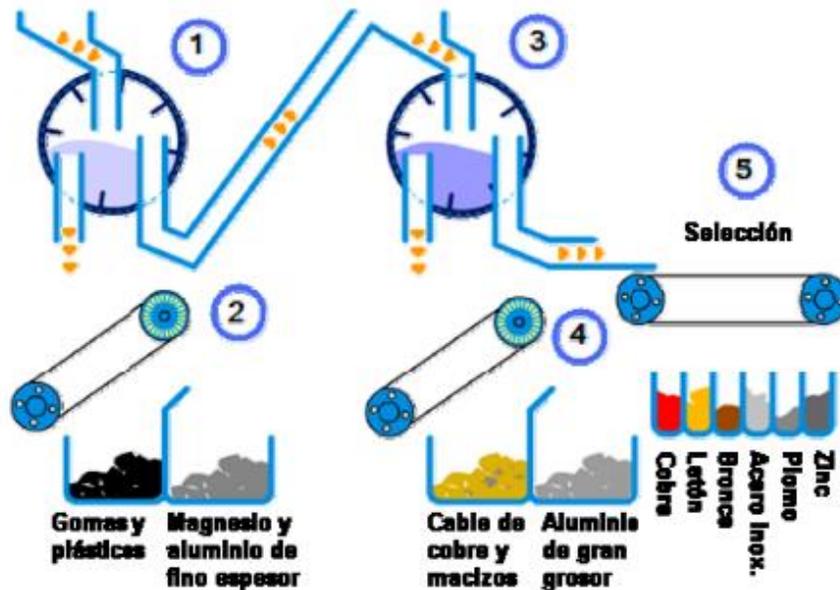


Ilustración 17. Proceso de medios densos.

Fuente: LYRSA, 2009.

- Separación de materiales flotados de bajo peso específico. Primera separación de materiales flotados de bajo peso específico y materiales de alto peso específico en una gravedad controlada en un fluido de densidad equivalente a $2,0 \text{ g/cm}^3$. El ajuste de densidad depende de las características y necesidades de cada instalación.
- Separación por corrientes inducidas. Las corrientes inducidas separan los materiales flotados de la primera separación. Tras la eliminación del ferrosilicio sólido, lavado con agua, las corrientes inducidas proyectan los distintos materiales a un contenedor. Se obtienen dos productos: gomas y plásticos destinados a valorización energética o depósito en vertedero, o magnesio y aluminio de pequeño espesor.
- Nueva separación mediante medios densos. Segunda separación mediante medios densos de la corriente de materiales hundidos de la primera separación. El fluido utilizado debe tener una densidad mayor

que en la primera separación, de similar composición, por ejemplo, de 3,0 g/cm³.

- Nueva separación por corrientes inducidas. La corriente de materiales flotados de la segunda separación por medios densos, después del lavado del ferrosilicio sólido, es disociada nuevamente mediante corrientes inducidas. Se obtienen, por un lado, cableado y macizo de cobre y, por otro, aluminio de gran espesor.
- Selección. Separación manual o automática de cobre, latón, bronce, acero inoxidable, plomo y zinc.

Teniendo el subproducto metales no ferroso finaliza con la etapa de venta y comercialización a empresas dedicadas a la fundición de estos metales para nuevos productos u otros destinos. De esta manera se obtiene un gran beneficio económico y ambiental, aprovechando este tipo de materiales.

7.1.3.2. Separación por corrientes de Foucault – venta de metales no ferrosos³²

Esta alternativa posee una alta viabilidad porque aparte de las ventajas mencionadas en la alternativa de medio densos, en cuanto a la cobertura y nivel de eficiencia del proceso, evita el uso de insumos para la separación de los componentes metálicos no ferrosos.

La Ilustración 18 representa una configuración de un aplicable a la separación por corrientes de Foucault. Posteriormente, se ofrece información más detallada de cada una de las fases del proceso.

³² Jennifer Rincón Castro, Jorge Alberto Santos Díaz, Formulación de alternativas para el manejo del subproducto metales no ferrosos provenientes del proceso de chatarrización de vehículos de servicio público en la ciudad de Bogotá. Pág. 115

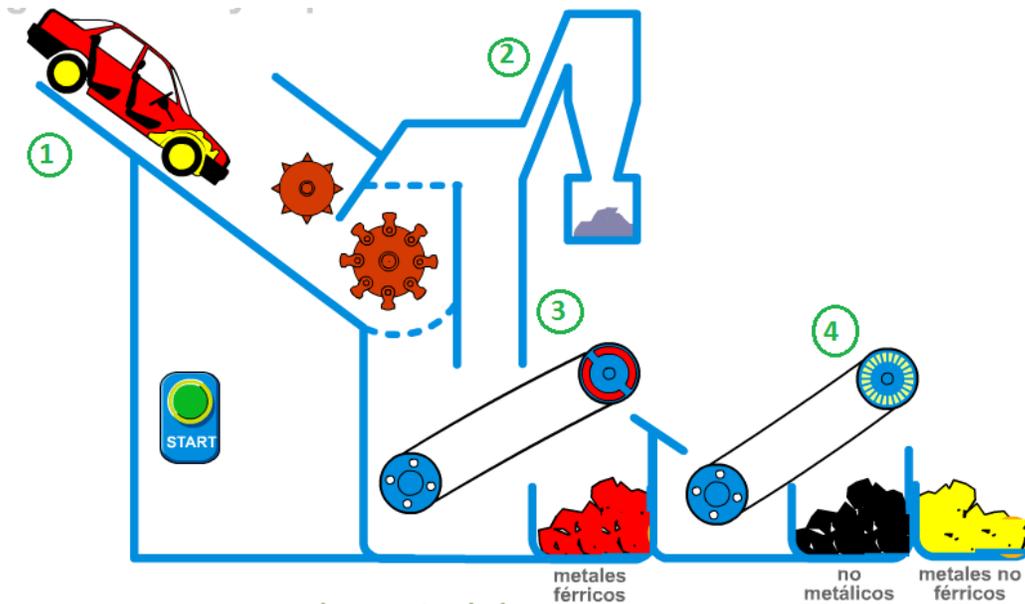


Ilustración 18. Proceso de separación por corrientes de Foucault.

Fuente: LYRSA, 2009.

- Drenaje de todos los fluidos, separación de la batería, neumáticos, bolsas de aire y catalizadores, antes de fragmentar.
- Sistema de recogida de fracción ligera: los materiales ligeros van al vertedero o a un posterior procesamiento, una vez se ha adelantado su valorización energética.
- Separación magnética: los electroimanes separan los metales férricos del acero inoxidable, los metales no férricos y los materiales no metálicos.
- Separación por inducción: las corrientes inducidas separan los materiales, proyectando cada uno a contenedores separados

Una vez obtenido el subproducto metales no ferrosos, el proceso finaliza con la etapa de venta y comercialización a empresas dedicadas a la fundición de estos metales para nuevos productos u otros destinos. De ese modo, se obtiene un gran beneficio económico y ambiental.

7.1.4. Vidrio

Para el vidrio industrial que se halla en los vehículos fuera de uso no existen muchas alternativas, debido a su composición y la cantidad de aditivos que contienen. A pesar de

ello y de que actualmente no existe mucha información específica, se identificaron dos alternativas aplicables a los vidrios de los VFU, las cuales obtuvieron puntuaciones iguales en la matriz de alternativas. La misma puntuación se debe a que la forma de aplicabilidad y la implicación técnica, financiera y ambiental son similares, por cuanto en ambas alternativas el vidrio se utiliza como un agregado.

Según las guías del Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, los vidrios industriales desechados, así como el casco de colores mezclados, pueden ser utilizados como agregados para la producción de materiales para construcción, tales como ladrillos y tejas de arcilla, bloques, etc., y árido ligero para el concreto. Estos tipos de vidrio también pueden ser reutilizados en la producción de Glasphalt, un tipo de asfalto que contiene un porcentaje de vidrio triturado como agregado. Este material fue desarrollado en 1970 y ha sido utilizado exitosamente en países como Estados Unidos y Gran Bretaña para la pavimentación de zonas de tránsito vehicular como estacionamientos y vías menores.

Para que el vidrio pueda utilizarse como agregado, debe ser pulverizado y tamizado para conseguir un tamaño de partícula uniforme. Luego, debe ser adicionado a la mezcla asfáltica caliente en una proporción de 10% del peso. La adición de vidrio como agregado no altera las condiciones de resistencia del asfalto y genera un acabado brillante.

Otros materiales que se pueden producir a partir de los vidrios industriales son:

- Compuestos de polímeros de vidrio.
- Fibra de vidrio.
- Pinturas reflectantes para señales viales (elaboradas con pequeñas esferas de vidrio).
- Postes para cables de teléfonos y vallas, a partir de la mezcla de vidrios rotos y polímeros plásticos.
- Arena artificial para restauración de playas.
- Abrasivos.

El Glasphalt es básicamente igual que el asfalto de mezcla en caliente convencional, salvo que entre el 5% y el 40% de la roca y/o arena de agregado se sustituye por vidrio triturado. Cuando se instala correctamente, Glasphalt no presenta ningún peligro para los seres

humanos, ni daña los neumáticos del vehículo. Además, las superficies de Glasphalt parecen secarse más rápido que la pavimentación tradicional después de la lluvia, porque las partículas de vidrio no absorben el agua. Las superficies de Glasphalt también reflejan más que el asfalto convencional, por lo que pueden mejorar la visibilidad de la carretera durante la noche.

El interés en el vidrio como material de pavimentación ha fluctuado a consecuencia de los altos costos de procesamiento y de transporte hasta las plantas de asfalto, así como por la necesidad de cal hidratada para aumentar la adhesión. Es más, el producto final no es superior al material de pavimentación hecho con materiales convencionales. Probablemente habrá más interés en el Glasphalt como consecuencia de la legislación que obliga a la desviación de residuos fuera de los vertederos y más cuando la cantidad de residuos es representativa.

7.1.5. Residuos Peligrosos

En una entidad chatarrizadora los residuos peligrosos son un grupo amplio y variable. El gran problema que afronta una empresa dedicada a la chatarrización vehicular es este tipo de residuos porque por sus características y representatividad convierte a la entidad en un gran generador de RESPEL. Debido a cada residuo peligroso tiene una composición físico-química diferente, no existe como tal una alternativa que los gestione a todos, como es el caso de la pirólisis para todos los plásticos, o del co-procesamiento para todos los cauchos - NFU.

Teniendo en cuenta las actuales condiciones en el ámbito distrital, una entidad dedicada a la chatarrización vehicular se considera un gran generador de residuos peligrosos o RESPEL. Lo anterior puede evidenciarse en SIDENAL, mediante el cálculo de la media móvil, que se presenta en la Tabla 26.

Tabla 26. Cálculo de la media móvil.

Mes	Aceite usado	ACPM usado	Gasolina usada	Baterías	RAEE ^(a)	Líquido de frenos	Total	Media móvil (kg/mes)
Enero	2.442,00	2.849,00	203,50	3.306,00	925,28	8,50	9.734,28	-
Febrero	2.442,00	610,50	1.424,50	6.609,51	925,28	8,50	12.020,29	-
Marzo	1.424,50	407,00	203,50	4.126,12	925,28	8,50	7.094,90	-
Abril	2.645,50	814,00	610,50	6.999,90	925,28	8,50	12.003,68	-
Mayo	1.424,50	664,43	366,24	7.323,67	925,28	8,50	10.712,62	-
Junio	1.424,50	774,65	203,50	1.761,50	925,28	8,50	5.097,93	9.443,95

Mes	Aceite usado	ACPM usado	Gasolina usada	Baterías	RAEE ^(a)	Líquido de frenos	Total	Media móvil (kg/mes)
Julio	1.628,00	774,65	366,24	10.635,39	925,28	8,50	14.338,06	10.211,24
Agosto	1.627,50	203,5	203,50	13.033,10	925,28	8,50	15.797,88	10.840,84
Septiembre	2.238,50	610,00	407,00	11.422,69	339,90	8,00	15.026,09	12.162,71
Octubre	2.238,50	407,00	203,50	12.281,09	1.279,70	9,00	16.418,79	12.898,56
Noviembre	1.526,25	101,17	101,17	7.317,91	951,01	10,5	9.997,51	12.779,37
Diciembre	3.265,25	508,75	101,75	5.864,65	1.130,50	2,5	10.870,90	13.741,54
Producción de RESPEL								12.105,71

Fuente: Identificación de impactos ambientales y gestión de los residuos peligrosos generados en el proceso de desintegración física de los vehículos de transporte público a nivel distrital.

(a) RAEE: Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos

Posteriormente, se profundiza en la investigación con base en los diferentes tipos de residuos peligrosos y las diferentes alternativas de gestión y manejo disponibles.

7.1.5.1. Manejo general de residuos peligrosos con base en la Política de Gestión Integral de Residuos Peligrosos de Colombia - Decreto 4741.

Esta alternativa es aplicable a todos los residuos peligrosos en general y es la más utilizada en Colombia. Los residuos peligrosos de un vehículo fuera de uso comprenden un grupo de diferentes componentes que a su vez confieren determinadas características de peligrosidad. A continuación, se observan los tipos de residuos peligrosos que se encuentran en un vehículo fuera de uso, con su respectiva caracterización según la legislación colombiana.

Tabla 27. Clasificación CRETIP de los residuos peligrosos generados en el proceso de chatarrización de VFU de servicio público.

Residuo peligroso	Imagen	Código decreto 4741 de 2005	Clasificación	Pictograma
Aceites lubricantes filtros de aceite		Y8: desechos de aceites minerales no aptos para el uso a que estaban destinados.	MISCELÁNEO	
ACPM		Y9: mezclas y emulsiones de desechos de aceite y agua o de hidrocarburos y agua.	INFLAMABLE	
Gasolina		Y9: mezclas y emulsiones de desechos de aceite y agua o de hidrocarburos y agua.	INFLAMABLE	

Residuo peligroso	Imagen	Código decreto 4741 de 2005	Clasificación	Pictograma
Batería plomo-ácido (contiene plomo y ácido sulfúrico)		Y31: plomo, compuestos de plomo.	CORROSIVO	
Bombillas (contienen plomo, óxido de plomo, mercurio)		A1030: desechos que contengan como constituyentes o contaminantes arsénico, mercurio y talio.	TÓXICO	
Líquidos refrigerantes (Contienen cromo hexavalente, glicol etileno o propileno. Pueden estar contaminados con plomo y benceno)		A3040: desechos de líquidos térmicos (transferencia de calor).	TÓXICO	

Residuo peligroso	Imagen	Código decreto 4741 de 2005	Clasificación	Pictograma
Líquido de frenos (contiene poliglicoles o poliglicóéteres, por mezcla con solventes clorados del limpiador de frenos)		A3080: desechos de éteres.	TÓXICO	
Polvo de acería (contenido de metales pesados como zinc y cadmio)		A4100: desechos resultantes de la utilización de dispositivos de control de la contaminación industrial para la depuración de los gases industriales, pero con exclusión de los desechos especificados en la lista B.	TÓXICO	
Arena (Usada como material absorbente en la etapa de extracción de líquidos)		Y18: residuos resultantes de las operaciones de eliminación de desechos industriales.	MISCELÁNEO	

Residuo peligroso	Imagen	Código decreto 4741 de 2005	Clasificación	Pictograma
Bobina		Y18 Residuos resultantes de las operaciones de eliminación de desechos industriales.	MISCELÁNEO	
Bujías (Impregnado de gasolina)		Y18 Residuos resultantes de las operaciones de eliminación de desechos industriales.	MISCELÁNEO	
Caja de cambios (Impregnada de Valvulina)		A3020: aceites minerales de desecho no aptos para el uso al que estaban destinados.	MISCELÁNEO	

Residuo peligroso	Imagen	Código decreto 4741 de 2005	Clasificación	Pictograma
Contenedor del líquido de frenos		A4130: envases y contenedores de desechos que contienen sustancias incluidas en el Anexo 3, Decreto 4741 de 2.005, Anexo I ³³ , en concentraciones suficientes como para mostrar las características peligrosas del Anexo III.	TÓXICO	
EPP ³⁴ del personal que tiene contacto con el polvillo de acería		Y17: desechos resultantes del tratamiento de superficie de metales y plásticos.	TÓXICO	
Motor (impregnado de aceite)		Y18: residuos resultantes de las operaciones de eliminación de desechos industriales.	MISCELÁNEO	

³³ Ley 253 de 1.996 por la cual se aprueba el Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación.

³⁴ Elementos de protección personal.

Residuo peligroso	Imagen	Código decreto 4741 de 2005	Clasificación	Pictograma
Múltiple de admisión (impregnado de gasolina)		Y18: residuos resultantes de las operaciones de eliminación de desechos industriales.	INFLAMABLE	
Interruptor de mercurio		A1180: montajes eléctricos y electrónicos de desecho o restos de éstos que contengan componentes como acumuladores y otras baterías incluidos en la lista A, interruptores de mercurio, vidrios de tubos de rayos catódicos y otros vidrios activados y capacitadores de PCB.	TÓXICO Y CORROSIVO	
Filtro de Aceite (Impregnado de Aceite)		A3040 Desechos de líquidos térmicos (transferencia de calor)	TÓXICO	

Residuo peligroso	Imagen	Código decreto 4741 de 2005	Clasificación	Pictograma
Radiador (impregnado de líquido refrigerante)		A3040: desechos de líquidos térmicos (transferencia de calor)	TÓXICO	
RAEE		B1110. Anexo 3, Decreto 4741 de 2.005, Anexo I ³⁵ , en concentraciones suficientes para mostrar las características peligrosas del Anexo III.	TÓXICO	
Pastillas de asbesto		Y36: asbesto (polvo y fibras)	TÓXICO	

Fuente: Identificación de impactos ambientales y gestión de los residuos peligrosos generados en el proceso de desintegración física de los vehículos de transporte público a nivel distrital.

³⁵ Ley 253 de 1.996 por la cual se aprueba el Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación.

Debido a la gran variedad de residuos peligrosos y a sus diferentes características de peligrosidad, se requiere de un manejo especial que garantice que no van a causar impactos negativos. A continuación se muestra la secuencia de procesos que se debe llevar a término para el manejo de los residuos peligrosos.

- **Gestión interna**

La gestión interna de los residuos peligrosos es el conjunto de procesos y actividades que se llevan a cabo dentro de las instalaciones de la entidad encargada de la chatarrización vehicular para el manejo ambientalmente seguro de los residuos peligrosos. Comprende los requerimientos que se describirán en los siguientes párrafos.

Etapas de descontaminación

Durante la etapa de descontaminación se extraen los fluidos y elementos que contengan sustancias peligrosas y sean catalogados como residuos peligrosos, siempre que no sean necesarios para la reutilización o el uso del elemento o componente del que forman parte.

Una zona de descontaminación debe contar con los siguientes aspectos locativos:

- Zona cubierta, adecuada para el número de vehículos que se vayan a descontaminar, con pavimento impermeable y con instalaciones para la recolección de derrames, de decantación y de separación de grasas.
- Es conveniente disponer de sistemas de elevación para poder realizar la extracción de ciertos fluidos con mayor facilidad, así como de herramientas adecuadas que permitan retirar todos los residuos peligrosos.
- Es recomendable contar con un sistema de protección contra incendios.
- Suelo pavimentado e impermeabilizado.
- A medida que se extraen estas sustancias del VFU, hay que depositarlas en sus respectivos recipientes de almacenamiento.
- El lugar debe contar con sistema de señalización.

- En lo posible, hay que tener iluminación natural y ventilación natural, no obstante, se recomiendan ventiladores de extracción de humos.

Zona de almacenamiento de residuos peligrosos

En esta zona se realiza el almacenamiento de los residuos peligrosos generados en el proceso de descontaminación, para posterior entrega a empresas gestoras autorizadas para su correcta gestión medioambiental.

Una zona de almacenamiento de residuos peligrosos debe contar con los siguientes aspectos locativos:

- Zona cubierta y dotada de pavimento impermeable, como mínimo, para los depósitos de residuos peligrosos.
- Depósitos adecuados para almacenar separadamente los fluidos que deben extraerse de los vehículos: combustible, aceite de motor, aceite de cajas de cambio, aceite de transmisión, aceite hidráulico, líquidos de refrigeración, líquido anticongelante, líquido de frenos, fluidos del equipo del aire acondicionado y cualquier otro fluido del vehículo (ver Ilustración 19).
- Contenedores adecuados para almacenar las baterías (con material para la neutralización del electrolito allí mismo o en sitio próximo, en caso de derrames), filtros de aceite, filtros de combustible, así como cualquier otro residuo peligroso que se pueda generar en el proceso de descontaminación.
- Es recomendable disponer de un sistema de protección contra incendios.
- Es recomendable instalar un sistema de absorción oleofílico.
- Es recomendable tener un botiquín.
- Unidad de pesaje o báscula para llevar la producción de residuos peligrosos.
- De acuerdo con su compatibilidad (matriz de compatibilidad), debe efectuarse el almacenamiento de los residuos.
- Contar con estibas.

- El lugar debe contar con sistema de señalización (nombre de lugar y avisos de restricción a personal no autorizado, espacios de almacenamiento de cada residuo).
- En lo posible, debe haber iluminación natural y ventilación natural, no obstante, se sugiere instalar ventiladores de extracción de humos.
- Debe comprender un espacio donde puedan transitar libremente los medios de movilización (zorra, vehículo cargador, transportador tipo tolva con ruedas) de los residuos almacenados.



Ilustración 19. Ejemplo de almacenaje de fluidos de diferente composición.

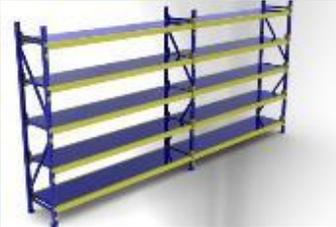
Fuente: Induplast.com

Contenedores para el almacenamiento de residuos peligrosos

En la Tabla 28 se observan diferentes tipos de contenedores aptos para el almacenamiento de los residuos peligrosos.

Tabla 28. Tipos de contenedores para el almacenamiento de los residuos peligrosos producto de la chatarrización de VFU.

Apto para	Tipo de contenedor	Imagen	Observaciones
Aceites usados	Almacenador a granel		Se recomienda su uso cuando la cantidad de aceites usados recolectados es elevada.
Aceites usados ACPM Gasolina Líquido de frenos Líquido refrigerante	Bidón metálico de seguridad		Debe destinarse un almacenamiento individual a cada tipo de fluido.
Impregnados de aceite como lonas trapos lienzos, partículas finas ferrosas, estopas, guantes, entre otros	Bidón de metal de tapa desmontable		Es conveniente implementar un mismo contenedor para todos los residuos impregnados
Polvo de acería	Big - Bags		No debe excederse la cantidad de polvillo de acería almacenado en el big-bag, para asegurar el cierre.

Apto para	Tipo de contenedor	Imagen	Observaciones
Luminarias	Estantería metálica		<p>Debe asegurarse que las luminarias no se resbalen de la estantería para evitar accidentes.</p>
Baterías plomo – ácido	<p>Estibas Estantería propuesta por Mac para almacenamiento.</p>	 <p>Estanterías de almacenamiento de baterías</p>	<p>Deben ser estibas de tamaño considerable, con un ancho mínimo de 1 m y de 1,2 – 1,5 m de largo, con una capacidad de carga entre 1000-4000 kg.</p> <p>En general, se recomienda que la mayoría de los contenedores estén sobre una estiba.</p>
Pastillas de asbesto	Evitar fracturación		

Fuente: Autor.

Rotulado, etiquetado y marcado de los contenedores de almacenamiento

Todo contenedor en el que se transporten residuos peligrosos debe contar con un rótulo o etiqueta con la siguiente información:

- Nombre de la empresa
- Pictograma de peligrosidad
- Nombre del residuo peligroso
- Código según decreto 4741
- Fecha de envasado de los residuos.

A continuación, se proporciona un ejemplo de un contenedor con su respectivo etiquetado y rotulado.



Ilustración 20. Ejemplo de rotulado y etiquetado de un contenedor de residuos peligrosos.

Fuente: Autor

En la Ilustración 20 se observa que la etiqueta cuenta con el pictograma de peligrosidad, sin embargo, se aconseja un rótulo con este mismo pictograma, que sea de considerable tamaño para visibilidad del personal que transita, transporta y maneja el residuo.

Movilización interna del residuo peligroso

La movilización interna comprende tanto desde el momento en que el residuo se transporta de la zona de descontaminación a la zona de almacenamiento, como el momento en que se entrega a un gestor externo.

Para la movilización interna de los residuos peligrosos se proponen dos formas de transportar los residuos. La primera se basa en un sistema convencional, llamado zorra de carga, que no requiere gastos de energía o combustible, ideal para el transporte de residuos peligrosos, requiere determinados esfuerzos en el momento de depositar los contenedores en el área de almacenamiento. A continuación, se ve una ilustración de esta herramienta.



Ilustración 21. Zorra para el transporte de residuos peligrosos.

Fuente: www.metalmacaguayana.com

Se recomienda una zorra fabricada en lámina de hierro negro liso o estirado, con medidas mínimas de: 0,70 * 1,20 m y 0,80 * 1,20 m, y capacidad de carga de 150 a 1000 kg.

La segunda forma de movilización se vale de los transportadores de estibas, es automática y requiere de menos esfuerzo y personal para llevar a cabo la labor. Este último rasgo depende del tipo de transportador: los hay con operador a bordo o a pie, eléctricos y manuales. En la Ilustración 22 se aprecian distintos tipos de transportadores de estibas.



Ilustración 22. Transportadores de estibas.

Fuente: www.centrasas.com

Se recomienda un transportador de estibas con capacidad de carga de 2000 kg. Sus medidas y diseño deben adaptarse a la unidad de almacenamiento de los residuos peligrosos, para garantizar su libre tránsito y uso.

Un sistema ideal para el transporte de residuos peligrosos sería una combinación de las dos formas de movilización.

- **Gestión externa**

Una vez almacenados los residuos peligrosos, deben ser entregados a un gestor externo, quien se encarga del manejo, la disposición, tratamiento y/o desactivación ambientalmente segura de los residuos. A continuación, se proporciona un listado de las entidades gestoras en el Distrito Capital.

Tabla 29. Empresas con licencia ambiental otorgadas por la secretaria de ambiente para el manejo de residuos peligrosos en el perímetro urbano.

Empresa	Dirección	Teléfono	Expediente y autorización	Actividad	Tipos de residuos autorizados
ECOENTORNO LTDA.	Carrera 106A No 154 A-85	692 6604 692 6605	403/00 LA Resolución 1125 de 2002 Resolución 438 de 2003	Almacenamiento e incineración	Residuos industriales, hospitalarios o domésticos (sólidos, líquidos y pastosos). Autorizados: Tipo 0,1,2,3,4,5 y 6 de la clasificación NFPA
LITO LTDA.	Calle 12B No. 36-81	4057373	655/03 LA Resolución 056 de 2004 Ampliación Resolución 4147 de 2007	Despiece y almacenamiento	Manejo de PCB y de bombillas de Mercurio y Sodio. Residuos de baterías, pilas y elementos de cadmio – níquel, litio, plomo, pilas alcalinas, residuos electrónicos y las SAO (Sustancias Agotadoras de la capa de ozono).
GAIA VITARE LTDA.	Carrera 123 No. 15- 35/45 Bodega 5 - Caminos de Salazar	421 6592 421 6593	DM-07-03-741 Resolución 1634 de 2004	Despiece y almacenamiento	Manejo de residuos electrónicos, eléctricos y de telecomunicaciones
LASEA SOLUCIONES EU.	Carrera 80 No. 16D-11	2929329	DM-18-2004-1335 Resolución 3010 de 2005 Ampliación Resolución 933 de 2008	Almacenamiento	Residuos plásticos y filtros para aceite provenientes principalmente de las actividades de lubricación automotriz, Desechos resultantes de la producción y preparación de productos farmacéuticos, Mezclas y emulsiones de desechos de aceite y agua, o de hidrocarburos y agua, con excepción de lodos con componentes orgánicos, Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de tintas, colorantes, pigmentos, pinturas, lacas o barnices. Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de resinas, látex, plastificantes o colas y adhesivos. Residuos eléctricos, electrónicos y de telecomunicaciones. Tubos fluorescentes, y lámparas de mercurio.
AGUA, TIERRA AIRE LIMITADA-ATAELEMENTOS LTDA.	Calle 64 No.113 D-15	7123176	DM-07-08-1497 Resolución 8356 de 2009	Almacenamiento y Aprovechamiento (desmantelamiento y despiece)	Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos - A1180 del Listado A del Anexo II del Decreto 4741 de 2005, de los cuales se exceptúan las lámparas halógenas o fluorescentes y gases refrigerantes.

Empresa	Dirección	Teléfono	Expediente y autorización	Actividad	Tipos de residuos autorizados
DESCONT S. A. E.S.P	Calle 17B No. 39 – 75	2444000	SDA-07-2009-327 Resolución No 4484 de 2010	Almacenamiento	Aceites lubricantes usados (A4060), Baterías Plomo-ácido usadas (Y31), Lodos contaminados con emulsiones de agua e hidrocarburos (Y9), filtros de aceite usados (A4060), material absorbente y papel contaminado con solventes (Y6 – Y41), recipientes contaminados (Y13 – Y14), pots con pintura (Y12 – Y13), residuos líquidos químicos (Y34 – Y35), liquido revelador
RECIPROIL LTDA.	Transversal. 124 No. 26 - 76/78	3403083 3403071	2423/00 – LA Resolución 1825 del 2006. Modificación: Resolución: 190 del 18/01/2011	Almacenamiento y tratamiento.	Transformación y procesamiento de aceites lubricantes usados. Almacenamiento y envió a disposición final de residuos sólidos impregnados con hidrocarburos y tratamiento físico y envió a disposición final y/o para aprovechamiento en fundición de filtros
PLANETA VERDE LTDA.	CARRERA 64 A No. 4G - 59	2606062	SDA-07-2008-3121	Almacenamiento temporal	Residuos líquidos impregnados con disolventes (varsol, thinner, cetonas, querosenes, gasolina, alcoholes). Residuos de pintura, resinas y tintas (inflamables) Residuos líquidos y sólidos impregnados con lubricantes a base de hidrocarburos (inflamables). Residuos eléctricos y electrónicos de equipos de comunicación y computadores: circuitos impresos, monitores, baterías. Lámparas fluorescentes. Pilas. Baterías plomo ácido

Fuente: Secretaría de Ambiente. <http://www.ambientebogota.gov.co/web/sda/residuos-solidos-sda>.

Lo ideal sería entregárselos a una entidad gestora que maneje todos los residuos peligrosos producidos por la chatarrización de vehículos fuera de uso.

7.1.5.2. Manejo específico de los residuos peligrosos

Los residuos por el hecho de ser peligrosos necesitan un manejo especial, pero no han perdido su potencial de aprovechamiento, de reuso o reincorporación a una cadena productiva. La peligrosidad es una característica, no una propiedad, en la medida en que sea una característica esta puede cambiar. Debido a que los RESPEL son un complejo de diferentes materiales, con diferentes características de peligrosidad, en los siguientes apartados se profundiza en el aprovechamiento y reciclaje de algunos de ellos.

- **Polvo de acería**

Para el polvo de acería, se proponen como alternativas: el aprovechamiento de zinc mediante la tecnología de Waelz; el reciclaje y recuperación del zinc del polvo de acería; y la estabilización química y recuperación de metales pesados, presentes en el polvo de acería. En seguida, se presentará información específica de cada alternativa.

Reciclaje y recuperación del zinc del polvo de acería³⁶

Un proceso en el cual el polvo de horno de arco eléctrico, se somete primero a la lixiviación atmosférica con solución de cloruro férrico y, posteriormente, sometido a tratamiento en autoclave a una temperatura y presión elevada, el zinc se recupera de la solución por extracción. El plomo es separado de la solución por enfriamiento para precipitar el cloruro de plomo.

Estabilización química y captación de metales pesados, presentes en el polvo de acería²⁰

Es un proceso en el que los componentes peligrosos son prácticamente inactivados. Se basa en la reacción de los materiales que contienen aluminosilicatos anhidros que, en presencia de agua, cal y productos

³⁶ MARULANDA ANDRES. Aplicación de la vigilancia tecnológica para la identificación de nuevas opciones tecnológicas de aprovechamiento y valorización de residuos peligrosos de las industrias básicas de hierro y acero en el Valle del Cauca. Junio del 2011.

químicos, absorben físicamente y atrapan los metales pesados presentes en el polvo de acería, a partir de lo cual se forma un calcio aluminio-silicato.

Proceso de Waelz – aprovechamiento de zinc – polvo de acería

Befesa, empresa Colombiana ubicada en Bogotá, dedicada al reciclaje de residuos de acero y galvanización, propone un proceso de recuperación de zinc para su posterior aprovechamiento mediante un procedimiento denominado horno rotatorio Waelz. En el siguiente párrafo se describirán las etapas de este proceso.

En un primer momento, los materiales primarios se transforman en bolitas mediante la adición de agua y de un agente reductor, con el fin de aumentar la capacidad de reacción de las sustancias a procesar y garantizar una alimentación homogénea del horno. Las bolitas se llevan al horno rotatorio directamente o a través de un almacenamiento intermedio. En el horno, se alcanzan temperaturas cercanas a los 1200 °C, con lo cual se evapora sobre todo el zinc. Éste reacciona en la fase gaseosa del horno, transformándose en óxido de zinc (llamado óxido Waelz), que se recupera en forma de concentrado de zinc con los demás componentes volátiles en la instalación filtrante del horno. El óxido de zinc se comercializa en la industria como concentrado de zinc. Las escorias que se producen durante el proceso se constituyen un subproducto denominado Ferrosita®, que tiene diversas aplicaciones como árido natural y material de relleno en la industria de la construcción³⁷.

³⁷ BEFESA. Reciclaje de residuos de acero y galvanizado. Tecnología. Horno Rotatorio Waelz.2012.Sitio Web: http://www.befesa-teel.com/web/es/servicios/tecnologia/horno_rotatorio/index.html

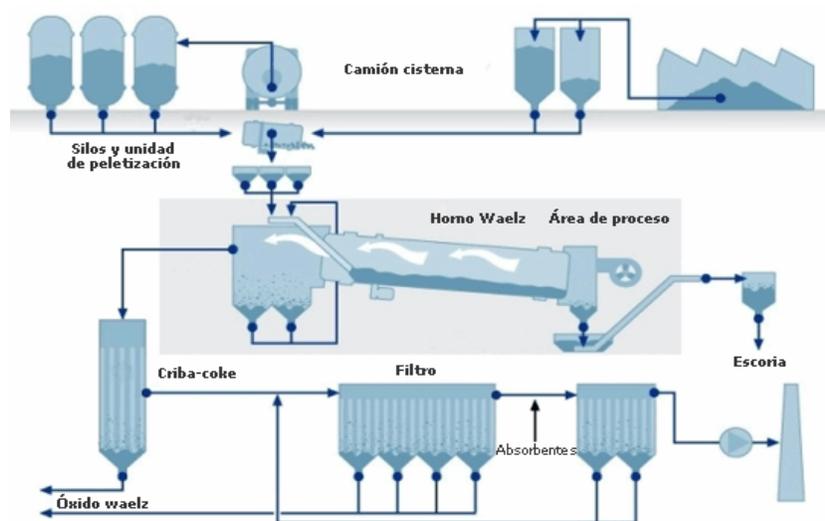


Ilustración 23. Proceso de aprovechamiento del zinc mediante el horno de Waelz.

Fuente: <http://www.befesa-teel.com>.

• Baterías plomo – ácido

Es importante aclarar que la gestión de baterías usadas en planta y el sistema de recolección pos-consumo difieren. En el caso de las entidades dedicadas a la chatarrización vehicular, las baterías se juntan, almacenan, estiban y amarran; de allí, se transportan hacia los acumuladores sin necesidad de secarlas o extraerles el ácido, pues este es un proceso que se realiza en la planta de reciclaje. Entidades como HOMECENTER y CENCOSUD (en calidad de acumuladores) reciben las baterías usadas. Para las baterías plomo – ácido existen dos rutas de reciclaje: la primera es el reciclaje automatizado; la segunda es el reciclaje manual a continuación se explicara cada una de ellas.

Reciclaje automatizado de baterías plomo – ácido

Las baterías tienen una particularidad: su peligrosidad está asociada a la presencia de ácido y de plomo. Cuando se drena la batería y es secada, es decir, cuando se le extrae el ácido se evita que el plomo salga al ambiente. Actualmente, para la gestión de las baterías plomo – ácido en Colombia, la entidad autorizada para el reciclaje de baterías en el país es MAC con una novedosa planta de reciclaje ubicada en Yumbo (Valle del Cauca).

A continuación se explica el proceso automatizado que emplea MAC para el reciclaje de baterías plomo – ácido:

- **Trituración:** las baterías son reducidas en pedazos de 2 cm², gracias a un moderno molino de trituración.
- **Separación:** los metales y los plásticos son separados, debido a la densidad de los elementos que conforman la batería. En este proceso, el plomo se sumerge, debido a que es más pesado. El plomo es lavado y depositado en un horno de colado rápido, licuado y convertido en lingotes de plomo bruto de 1500 kg. Los elementos flotantes son llevados por la malla transportadora y son filtrados, donde se separan otros componentes como el óxido de plomo por decantación de las aguas, y resultan materiales como caucho, ebonita y PVC, los cuales son secados y utilizados como combustible. Otros materiales plásticos son soplados, reducidos y almacenados, para ser enviados a la planta de reciclaje de plástico.
- **Reducción:** componentes como fundentes, polvo y óxido de plomo se depositan en un horno rotativo, que gracias a elevadísimas temperaturas, separa los gases y retorna el metal a su estado líquido, para convertirlo en lingotes de 1500 kg.
- **Refinación:** los lingotes de plomo bruto son depositados en crisoles y sometidos a procesos químicos y a altas temperaturas, con lo cual se le da un grado óptimo de pureza, para luego ser transformados en lingotes de 30 kg, los cuales tendrán múltiples aplicaciones médicas (placas de rayos X), militares (blindajes, armas) e industriales (rejillas, cerámicas, recubrimiento de cable telefónico).
- **Manejo y tratamiento del agua:** se logra con aspesores (sinfín), los cuales utilizan unos 30m³ de agua por día y están conectados a una serie de cámaras y rejillas que ayudan a retirar plásticos pequeños, aceites y grasas. El agua con alto contenido de ácido es bombeada a una torre de floculación, en donde es mezclada con cal. Esta reacción química neutraliza la acidez del agua en un

proceso de decantación. El agua tratada es usada nuevamente en el proceso, liderando así una “cultura de cero vertimientos”. El residuo es transportado por gravedad a los lechos de secado, en donde quedan materiales como sulfatos de plomo, cal y óxidos de plomo, que son introducidos nuevamente al proceso de reducción.

Reciclaje manual de baterías plomo – ácido³⁸

En el proceso de reciclaje manual, ningún componente de la batería usada se desecha, excepto los separadores dañados. Al desarmar la batería, se obtiene, entre otros componentes, el “scrap”, compuesto por placas usadas. Este material es el insumo básico para obtener plomo a partir de la fundición y se vende, en su mayor parte, directamente a los fundidores.

El plástico proveniente de las carcasas es comercializado para fabricar otros productos plásticos o si se encuentra en buen estado, es reutilizado para ensamblar una nueva batería.

Por otro lado, el electrolito puede ser reutilizado en la elaboración de nuevas baterías, una vez hecho el reacondicionamiento, que implica limpieza y ajuste del pH, mediante la adición de ácido sulfúrico concentrado.

- **Aceites usados**

Para una adecuada gestión de los aceites usados, se proponen como alternativas: procesos de minimización en origen/reprocesado de aceites minerales usados; re-refino/regeneración de aceites minerales usados y aprovechamiento energético.

Procesos de minimización en origen/reprocesado de aceites minerales usados

Esta alternativa se basa en los principios de prevención y reducción de la contaminación en origen, así como la reutilización de los aceites usados. El

³⁸ Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Manual de producción más limpia y buenas prácticas ambientales: fabricación y reciclaje de baterías, pág. 5.

reprocesado consiste en la recuperación del aceite usado y la reconversión en aceite de primera calidad, para ser usado en el proceso de producción.

De esta manera se consigue que:

- El aceite usado no sea considerado como residuo.
- Ahorro en la compra de aceites nuevos.
- Se alarga el ciclo de vida del aceite, al reintroducir el aceite reprocesado en el mismo ciclo productivo.

Los procesos que tienen como objetivo la minimización en origen se basan en los siguientes pasos:

- **Destilación al vacío:** fase de deshidratación y de desgasificación, durante la cual también se eliminan otros contaminantes volátiles.
- **Ultrafiltración:** fase en la que se somete el aceite usado a procesos de sedimentación y filtración para eliminar partículas metálicas y otros sólidos contenidos en el aceite.
- **Readitivación:** durante todo este proceso, se van incorporando aditivos para obtener aceite limpio con las características deseadas.

Para asegurar la calidad del aceite, es preciso ejecutar análisis químicos para conocer el estado y, así, poder definir la intensidad de tratamiento y aditivación necesarias para obtener las características finales deseadas.

Procesos de re-refino/regeneración de aceites usados

Debido al creciente aumento de los aceites usados provenientes del sector automotriz, se han creado alternativas basadas en tecnologías que incorporan procesos de destilación al vacío e hidrogenación (ver Anexo 4). Con base este esquema de tratamiento, se han creado diferentes alternativas que dan como resultado la regeneración de los aceites usados. En la Tabla 30 se presenta un listado de los tratamientos basados en procesos de re-refino/regeneración de aceites usados, las tecnologías que los utilizan y su orden de uso, para obtener un subproducto potencialmente aprovechable.

Tabla 30. Tecnologías de re-refino/regeneración de aceites usados.

Tratamiento	Descripción	KTI	Mohawk	Berc-Niper	Prop	Safety Kleen	IFP	Snamprogetti	UOP DCH
Destilación atmosférica	Elimina agua e hidrocarburos	1	2	1		1	1	1	
Pretratamiento químico	Conlleva la precipitación de elementos contaminantes y elimina problemas de suciedad durante la fase de destilación. Al mismo tiempo, se alarga la vida de los catalizadores.		1						
Desmetalización	Da lugar a la disminución de los metales pesados contenidos en los aceites, mezclando el aceite usado con una solución acuosa de fosfato diamónico, después de lo cual se forman compuestos de fosfatos metálicos.				1				
Extracción disolvente	Consiste en la extracción de los productos oleosos mediante el uso de propano.			3			4	2,5	
Recuperación	Mediante procesos de sedimentación y/o centrifugación, se separa la mezcla de aceite usado-disolvente de los metales pesados, aditivos y otros compuestos que ensucian la mezcla. El disolvente se recupera para su reutilización.			4				3	
Destilación al vacío	Consiste en generar un vacío parcial por dentro del sistema de destilación para destilar sustancias por debajo de su punto de ebullición normal. Este tipo de destilación se utiliza para purificar sustancias inestables, se eliminan los hidrocarburos ligeros y el agua. El producto resultante se encuentra dentro del rango de los aceites lubricantes.	2	3	2	2		2	4	3
Tratamiento químico	Tratamiento químico de neutralización de gases ácidos.								2
Hidrogenación	Proceso que se utiliza para eliminar los compuestos sulfurosos, clorados, nitrogenados y oxígeno. Esta fase se aprovecha, también, para mejorar el color y olor del aceite.	3	4	6	3	3	3,5	6	1
Destilación película fina	Es una destilación al vacío con evaporadores de película fina, en el cual se separan los aceites lubricantes de los disolventes pesados.					2			
Fraccionamiento	Se separa en distintas fracciones de aceites de base, según las especificaciones y requerimientos del producto deseado.	4	5	5	4				4

Fuente: Posibilidades de reciclaje y aprovechamiento de aceites usados. Modificado por Autor.

Existen tecnologías que tienen inclusión dentro de los procesos de re-refino/regeneración de aceites minerales usados, sin embargo son tecnologías basadas en procesos con ácido y tierras, las cuales actualmente están en desuso (obsoletas) por cuestiones medioambientales y económicas. Económicamente, se trata de instalaciones con un alto coste de inversión y ambientalmente tienen el problema del tratamiento de las tierras ácidas generadas en el proceso, por tanto para el presente proyecto de grado no fueron analizadas.

Aprovechamiento energético

Sin duda, la valoración energética de aceites usados es una alternativa que ha arrojado mejores resultados, con un menor impacto ambiental. Muchas veces el aprovechamiento energético significa el paso final a procesos de regeneración o reprocesado de aceites. El único inconveniente que tiene esta alternativa es que solo se limita a un grupo reducido de actividades industriales, que demandan una gestión ambiental segura.

Los aceites usados se pueden aprovechar energéticamente en las siguientes tareas:

- Aplicación directa como combustible: principalmente, en los hornos de las plantas de fabricación de cemento se requieren altas temperaturas para transformar las materias primas en cemento. También, en talleres mecánicos de automoción, de manipulación de hierro, etc.
- Aplicación como combustible después de un pre-tratamiento: entendiéndose pre-tratamiento como una limpieza simple antes de su uso. Funcionan como combustible en plantas de producción de conglomerados bituminosos.
- Utilización en refinerías: se basa en el reciclaje de aceite usado, incorporándolo a los procesos de refinado para obtener aceites de base vírgenes.

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez que han sido seleccionadas las tecnologías aplicables a la gestión de subproductos de la chatarrización vehicular del sector transporte público, una serie de modelos de lo se denomina para el presente trabajo “Cadena de manejo de los subproductos de la chatarrización vehicular”.

8.1. Cadena de Manejo de los Subproductos de la Chatarrización Vehicular

Una cadena de manejo de los subproductos de la chatarrización vehicular es una forma de gestión ambientalmente segura, en la cual se garantiza un proceso organizado, se minimiza en gran medida la generación de residuos y, a costa de esta, se eleva la posibilidad de obtener un beneficio de carácter ambiental y económico. Así mismo, se evita la pérdida de recursos o su gasto innecesario, a la vez que se adquiere una mejor imagen para la entidad chatarrizadora, un cumplimiento de los estándares legales y un paso hacia la innovación y tecnología para transformar lo que se considera como residuo en un subproducto.

Más adelante, se plantean varios modelos en los que se utilizan las alternativas cuya aplicación en las entidades dedicadas a la chatarrización vehicular es altamente viable. En tales modelos las alternativas en mención también se incorporan a la cadena de manejo de los subproductos, de tal manera que cualquiera de esos modelos puede ser aplicado por las entidades existentes y por aquellas se creen en el futuro. Para terminar, es relevante destacar que todos los modelos propuestos tienen en cuenta las etapas principales de la chatarrización: recepción, pesaje, descontaminación, desmontaje, compactación, fragmentación, acería y/o fundición, salvo el modelo V, el que no se incluye la etapa de desmontaje, pues en él se procesan los subproductos de la etapa de fragmentación.

8.1.1. Modelo I

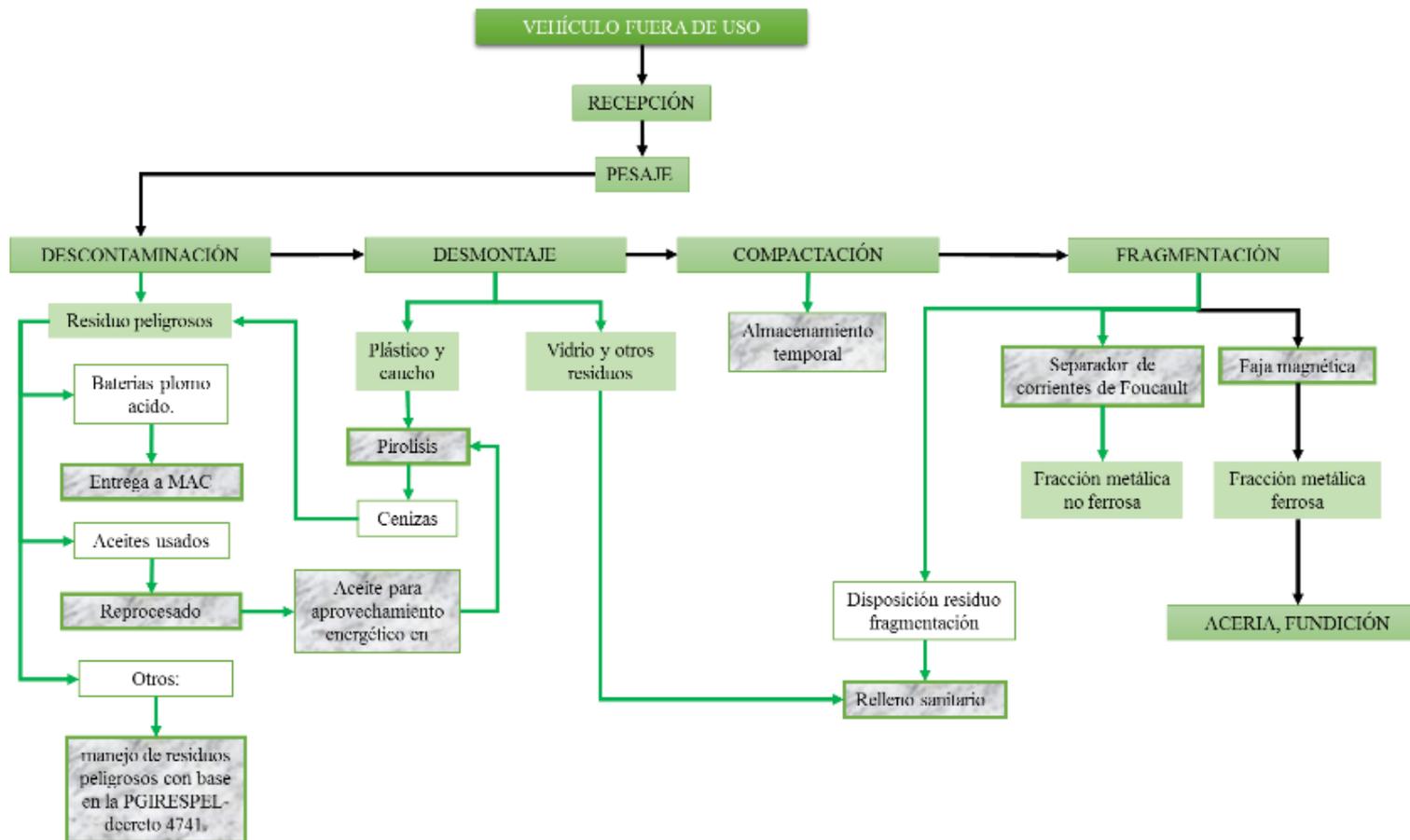
El modelo I ofrece cambios en las etapas de descontaminación, en las cuales los residuos peligrosos como las baterías plomo – ácido son entregados a un acumulador de baterías usadas o a MAC, que es la entidad autorizada para su reciclaje. Los aceites usados seguirán la tecnología de reprocesado, de lo cual se obtiene un aceite base que puede ser empleado en la fase de calentamiento de un horno pirolítico. Los otros residuos peligrosos

restantes se manejarán según los criterios legales referentes al almacenamiento y disposición final de residuos peligrosos en Colombia (decreto 4741).

Seguidamente, en la etapa de desmontaje se obtendrá el plástico y caucho – NFU, el cual irá al proceso de pirólisis, para aprovechar su gran poder calorífico. De este último proceso, se obtiene energía eléctrica destinada a la autogestión y abastecimiento propio de la entidad chatarrizadora; así mismo, se extrae la fracción o subproducto sólido, que básicamente es negro de carbón, el cual es muy utilizado por la industria cementera y puede comercializarse obteniéndose un beneficio económico, y una pequeña fracción de cenizas contaminantes, que deben ser tratadas como residuos peligrosos.

Para el vidrio no hay muchas opciones de reciclaje, pese a que se trata de vidrio industrial, por tanto, se prefiere su disposición en un relleno sanitario, junto con otros materiales como espuma, plástico, aluminio, textil y cartón, cuya su separación es complicada, debido al tiempo y al personal que demanda.

Finalmente, en la etapa de fragmentación, se realiza la separación de tres componentes; mediante una faja magnética (imán). Se separa la fracción ferrosa, que va al proceso de acería y/o fundición; mediante un separador de corrientes de Foucault, se obtiene la fracción metálica no ferrosa que será destinada a la venta y una pequeña fracción (entre el 1% y el 3%, aproximadamente) de residuo de fragmentación, que se llevará a un relleno sanitario.



Esquema 6. Modelo I: cadena de manejo de los subproductos de la chatarrización vehicular.

Fuente: Autor.

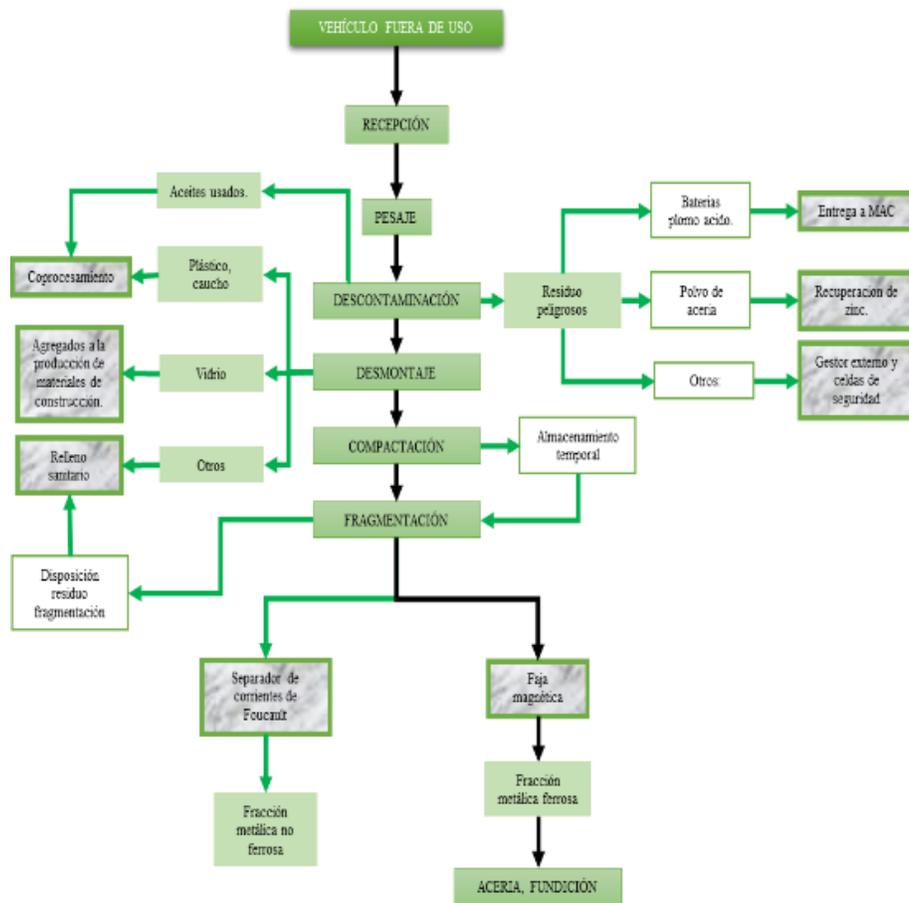
8.1.2. MODELO II

El modelo II garantiza la gestión de los residuos peligrosos mediante la entrega al gestor externo -MAC-, que es el encargado del reciclaje automatizado, El polvo de acería será destinado al proceso de recuperación del zinc (ver Numeral 7.1.5.2.), mientras que los residuos peligrosos restantes serán objeto de almacenamiento y disposición final, según la política de gestión de residuos peligrosos en Colombia.

Los aceites usados, junto con el desmontaje de plásticos y caucho-NFU, serán destinados a un proceso de co-procesamiento, en el cual se aprovechará el gran poder energético de esos productos, que pueden ser utilizados como combustibles por las entidades dedicadas a la producción de cemento.

El vidrio será almacenado y una vez que se alcance una gran acumulación de dicho material, servirá como agregado para la producción de material de construcción; de lo contrario, se enviará a un relleno sanitario, junto con la fracción generada en la etapa de fragmentación.

Finalmente, mediante un separador de corrientes de Foucault, se obtiene la fracción metálica no ferrosa la cual será comercializada. Al mismo tiempo, a través de una faja magnética se obtiene la fracción ferrosa destinada al proceso de acería. A continuación, se observa el esquema de esta cadena de manejo.



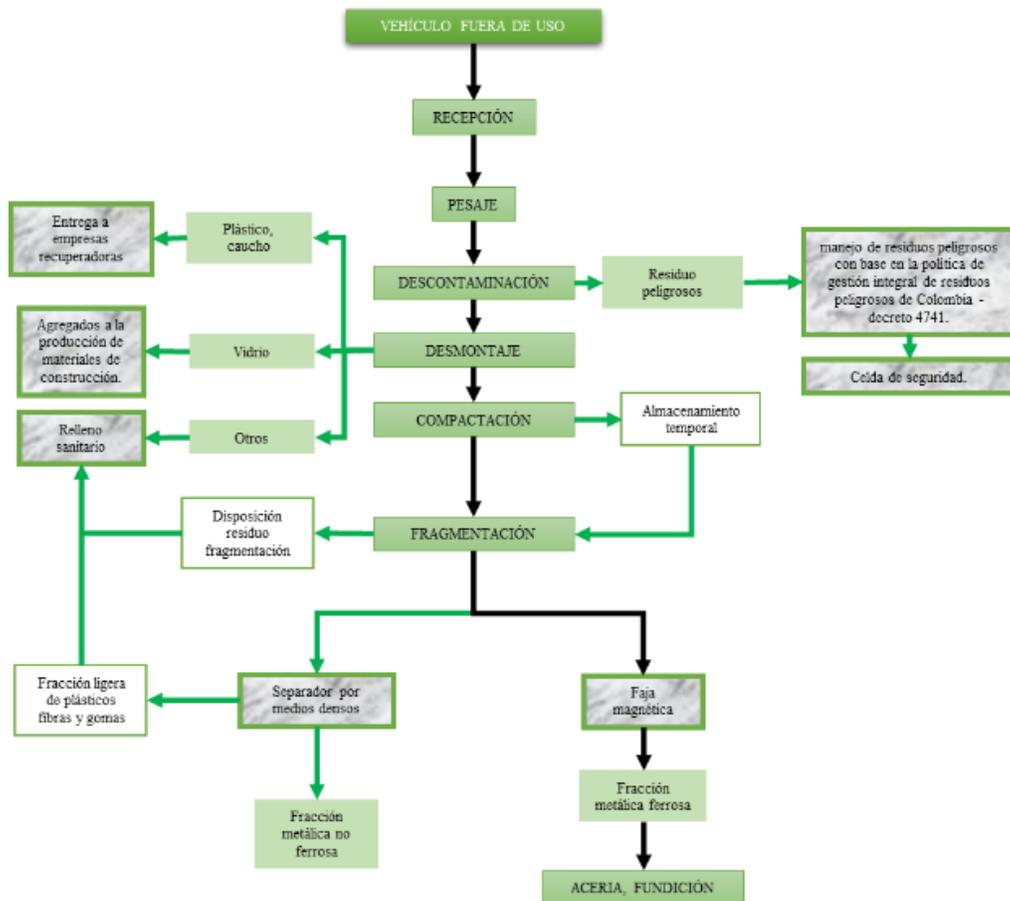
Esquema 7. Modelo II: cadena de manejo de los subproductos de la chatarrización vehicular.

Fuente: Autor.

8.1.3. MODELO III

El tercer modelo ofrece una perspectiva práctica y de fácil acceso, pues se propone que todos los residuos peligrosos extraídos en la etapa de descontaminación se manejen con base en la política de gestión integral de residuos peligrosos de Colombia, teniendo en cuenta que para ciertos residuos se recomienda que la entidad chatarrizadora cuente con su propia celda de seguridad o relleno de seguridad.

Los plásticos y caucho – NFU serán entregados a empresas recuperadoras, aprovechando que se puedan vender y representar un ingreso para la entidad chatarrizadora. Una situación similar se plantea con los metales no ferrosos, los cuales se comercializan eficientemente, después de ser separados mediante un proceso de medios densos. De esta manera, el gasto generado por la gestión de los residuos peligrosos se ve subsanado por el gran ingreso que se tiene a través de tres subproductos: el plástico, el caucho – NFU y los metales no ferrosos. Finalmente, la fracción restante de otros residuos sólidos de difícil separación, junto con el vidrio (siendo opcional el destino del mismo), será utilizada en un relleno sanitario.



Esquema 8 Modelo III: cadena de manejo de los subproductos de la chatarrización vehicular.

Fuente: Autor.

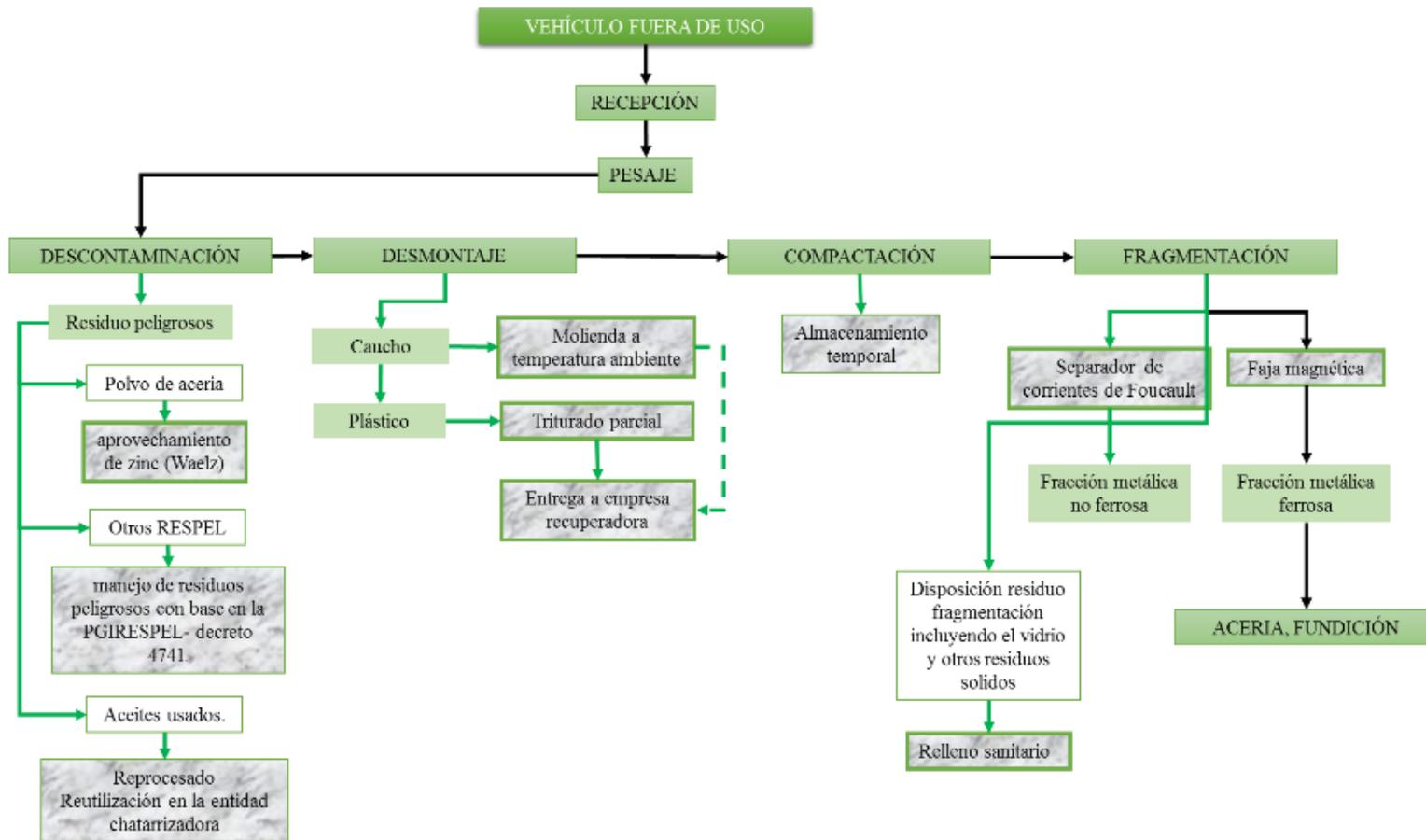
8.1.4. MODELO IV

El modelo IV es similar al modelo III en el sentido de que los subproductos plásticos, caucho - NFU y metales no ferrosos serán destinados para su venta y comercialización a terceros. La diferencia entre los dos modelos radica principalmente en las tecnologías empleadas antes de la venta o comercialización de los subproductos. Por ejemplo, para los plásticos se propone un triturado simple, de tal manera que se logre almacenar mayor cantidad de este material, mientras que para el caucho -NFU se llevará a cabo un proceso de molienda a temperatura ambiente, con el fin de obtener polvo de caucho y caucho de diferentes tamaños, los que tienen múltiples aplicaciones (Tabla 24); por tanto, se tiene un producto de mayor calidad, lo que podría representar ingresos de mayor categoría.

Hay una estrategia que, en general, puede adaptarse a todos los modelos, en el caso de que no sea posible el aprovechamiento o reincorporación del vidrio como agregado para la producción de materiales de construcción. Se recomienda que el vidrio no forme parte del proceso de desmontaje sino del proceso de fragmentación, el que será objeto de disposición final en un relleno sanitario, al estar contenido en el denominado residuo de fragmentación. Es semejante el procedimiento que se lleva a cabo con los componentes constituidos de diferentes tipos de materiales (espuma, plástico, aluminio, textil, cartón, entre otros), a causa de las dificultades que plantea su separación, en términos de tiempo y personal.

Por otra parte, si el problema radica en el polvo de acería, debido a que la fracción metálica representa más del 60% de los componentes de un vehículo fuera de uso, se propone implementar la tecnología de aprovechamiento del zinc mediante un horno de Waelz. Esta tecnología exige una inversión inicial elevada, sin embargo, ese costo se puede ver subsanado por el ingreso económico que conlleva la venta de zinc concentrado, que es demandado en gran medida por la industria de producción del zinc.

Los demás residuos generados serán gestionados tal como se muestra en el siguiente esquema:

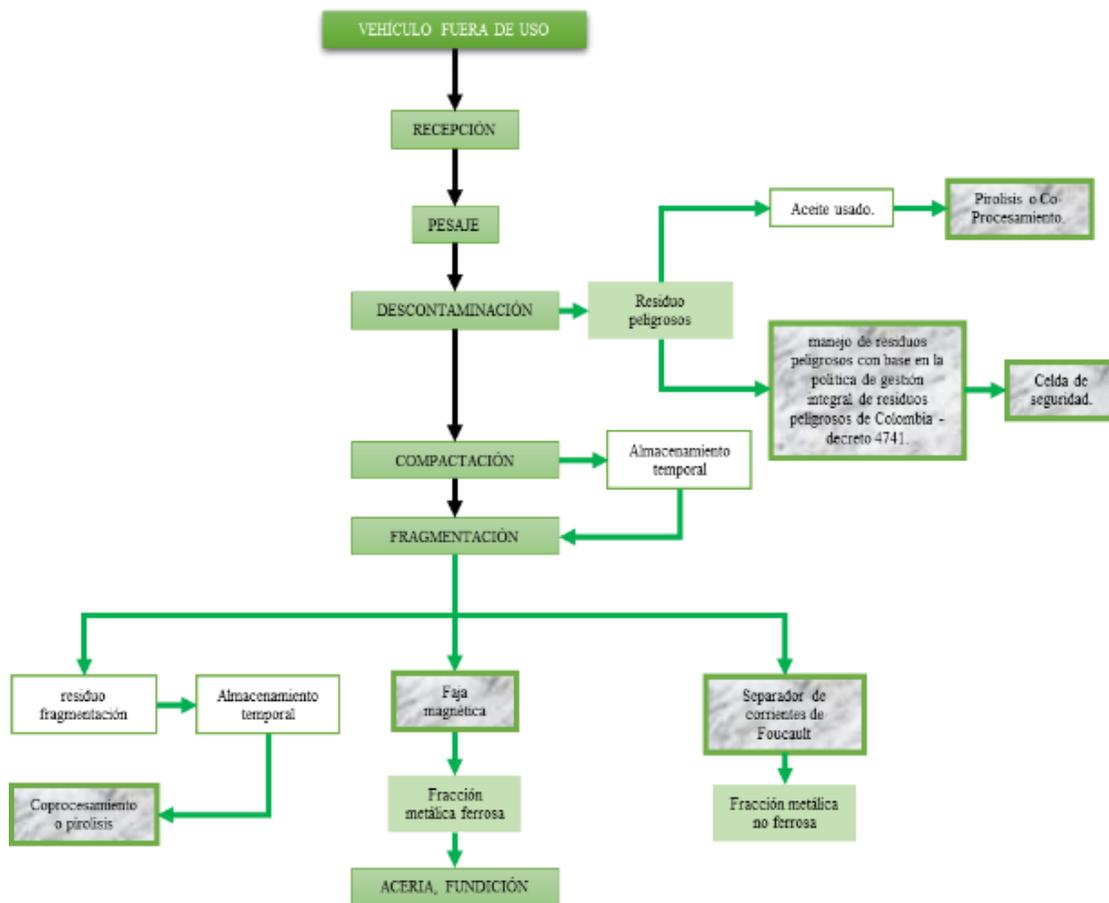


Esquema 9. Modelo IV: cadena de manejo de los subproductos de la chatarrización vehicular.

Fuente: Autor.

8.1.5. MODELO V

Este modelo presenta una diferencia clave, en comparación con los anteriormente descritos, pues se contempla el manejo y gestión de los subproductos resultantes de la etapa de fragmentación del residuo. De ese modo, se elimina la etapa de desmontaje. Se propone el manejo de los componentes orgánicos del residuo de fragmentación a través de procesos como la pirólisis y el co-procesamiento, lo cual también aplica para los aceites usados. En cuanto a los residuos peligrosos, seguirán la normatividad ambiental colombiana, en las etapas de almacenamiento y entrega a un organismo gestor.



Esquema 10. Modelo V: cadena de manejo de los subproductos de la chatarrización vehicular.

Fuente: Autor.

9. CONCLUSIONES

- El proceso de chatarrización vehicular impacta negativa y fuertemente el componente geosférico, principalmente en aspectos ambientales como: la calidad del suelo, erosión y textura. Es posible afirmar que este componente es el más afectado porque las etapas de proceso que maneja la entidad chatarrizadora ocurren a la intemperie, sin ningún tipo de cobertura superior o inferior que garantice que no se está trabajando sobre el entorno natural.
- El componente impactado positivamente por las actividades de chatarrización es el socioeconómico, dado que las entidades encargadas son una fuente generadora de empleo. Por ejemplo, SIDENAL cuenta con un cuerpo laboral de más de 700 personas. Igualmente, la posibilidad de ofrecer empleo exige que las empresas brinden seguridad, afiliación a la salud para los trabajadores y sus familias, y oportunidades para el mejoramiento de vida social y moral de los empleados.
- A través de un proceso de desmontaje de un vehículo tipo taxi (con peso de 870 kg), se identificaron los residuos producidos y su representatividad. Se encontró que los metales ferrosos corresponden al 67,7% del vehículo; los plásticos, al 9,66%; los residuos peligrosos, al 7,15%; los metales no ferrosos, al 6,46%; el caucho y los neumáticos fuera de uso, al 4,45%; el vidrio, al 3,74 %; y, finalmente. los denominados “Otros” (espuma, plástico, aluminio, textil, cartón, entre otros) equivalen al 0,75%.
- Para el manejo del subproducto plástico se identificaron diez alternativas. Según el estudio de ponderación, solo de ellas son las más viables en las entidades chatarrizadoras. La primera se denomina pirólisis, una tecnología de tratamiento termoquímico que ofrece la gestión de los residuos plásticos, así como la del caucho y los NFU, y el residuo de fragmentación en general. La segunda alternativa se denomina entrega a empresas recuperadoras, que ofrece la posibilidad de entregarlo o vender el residuo a un tercero, para que este lo aproveche.
- Para el manejo del subproducto caucho – NFU, se identificaron siete alternativas, de las cuales aparte de las escogidas para los plásticos, se seleccionaron dos alternativas más: la molienda o tecnología de reducción de tamaño, escogida principalmente por su alta aplicabilidad en el mercado; la segunda es el co-procesamiento, el cual se aprovecha el gran poder calorífico que tiene el caucho para ser combustible de entrada, por ejemplo, en la producción de cemento.

- Para el manejo de los metales no ferrosos se seleccionaron alternativas basadas principalmente en la identificación y la separación de los componentes del resto de residuos. Se escogieron dos procedimientos: la separación por medios densos y la separación por corrientes de Foucault. Se concluyó que cualquiera de las alternativas, sin importar su viabilidad, apunta a la comercialización y venta del metal no ferroso para posterior fundición.
- Las alternativas para la gestión del vidrio tienen una fuerte limitación porque el vidrio de los vehículos está compuesto por dos láminas de vidrio recocido, unidas por una finísima película de polímero de alta elasticidad y flexibilidad, lo que hace que la industria rechace la idea de reciclar o aprovechar el vidrio. Sin embargo, se identificaron dos alternativas enfocadas en el uso del vidrio como un agregado para la producción de materiales de construcción y asfalto. Sería preciso analizar la viabilidad de la disposición del vidrio en un vertedero controlado.
- Los residuos peligrosos pueden seguir un manejo con base en la política de gestión de residuos peligrosos, en especial, el decreto 4741 de 2005. No obstante, se proponen alternativas por tipo de residuo peligroso, muchas de ellas de fácil aplicabilidad y gran probabilidad de obtener un beneficio económico y ambiental. Tal es el caso de los aceites usados, los cuales pueden ser reutilizados, reprocesados o aprovechados energéticamente, tanto en las instalaciones de la entidad chatarrizadora, como para su venta y comercialización a terceros.

10. RECOMENDACIONES

- Las empresas dedicadas a la chatarrización vehicular deben, sin duda, implementar entre sus procesos una etapa de desmontaje de los componentes. De esa manera, se asegura una correcta identificación y clasificación de los materiales aprovechables. En el caso de que no se incluyan etapas como la de desmontaje, las entidades chatarrizadoras deben dirigir sus esfuerzos hacia las alternativas de manejo de residuos en el residuo de fragmentación.
- Es importante que todas las etapas de proceso estén debidamente señalizadas y que cumplan los reglamentos de seguridad industrial y salud ocupacional, para evitar accidentes laborales. El seguimiento de esas directrices de parte de la entidad garantiza una mejora sustentable ambientalmente y una mitigación notable de impactos ambientales.
- Se recomienda la creación de una normatividad que rija específica y detalladamente el proceso de chatarrización, tanto en el ámbito distrital como en el nacional. Dentro de esa normatividad se debe incentivar la creación de directrices para el proceso de chatarrización, guías (técnicas, ambientales) que fortalezcan el manejo de este sector. De esa manera, se garantiza un mejor futuro para el sector de la movilidad y el papel que desempeña la chatarrización vehicular en esa área.
- Se recomienda implementar un plan de manejo integral de los residuos provenientes del proceso de chatarrización de vehículos, para identificar los actores involucrados, así como crear normas internas que regulen las etapas de proceso, todo con propósitos de eficiencia y eficacia. Con la implementación de esas medidas, se logra que los materiales que entran sean 100% utilizables y que Colombia esté a la vanguardia de grandes países como Japón y como los de la Unión Europea, en cuanto al manejo de los VFU.
- Se recomienda realizar procesos de desmontaje y caracterización de los residuos peligrosos provenientes de otro tipo de vehículos como buses, busetas y microbuses, para ampliar la información de la producción de residuos en los vehículos de servicio público, debido a que estos vehículos presentan diferentes pesos y la representatividad de sus componentes puede variar.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2005). *Política Ambiental para la Gestión Integral de Residuos o Desechos Peligrosos*. Colombia. Bogotá, D. C.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2008) .*Construcción de Criterios Técnicos para el Aprovechamiento y Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos con Alta Tasa de Biodegradación, Plásticos, Vidrio, Papel y Cartón*. Colombia, Bogotá, D. C.
- Muñoz, C., Moliner, E., Garraín, D., Franco, V. & Vidal, R. (2012). Alternativas para la gestión del residuo de fragmentación del automóvil. *Departamento de Mecánica y Producción Industrial, Escuela Politécnica Superior de Mondragón (EPS)*. Pág. 12.
- Cano Serrano, E., Cerezo García, L. & Urbina Fraile, M. (2007). *Valorización material y energética de neumáticos fuera de uso*, España.
- Aguado, J., Serrano, D. P., Escola, J. M. & Briones, L. (2011). El papel de la química en la valorización de los residuos plásticos. *An. Química, 107(1)*, pág. 76–83.
- Shin-ichi, S., Hideto, Y., Hiratsuka, J., Vandecasteele, C., Kohlmeyer, R. & Yano, J. (2014). An International Comparative Study Of End-Of-Life Vehicle (ELV) recycling systems. *J Mater Cycles Waste Manag 16*, pág. 1–20.
- Jeff, S., & Gregory A. K. (2001). *Management Of End-Of Life Vehicles (Elvs) In The US*. Michigan: University of Michigan.
- Secretaria de Movilidad. (2012). *Movilidad en Cifras 2012*. Colombia, Bogotá, D.C
- Muñoz, Marzá, C., Vidal, R. & Justel, Lozano, D. (2010). *Análisis ambiental del proceso de fin de vida de vehículos en España*. España.
- Ministerio de Ciencia y Tecnología de España. (2001). *Valorización energética de residuos generados durante y al final de la vida de los vehículos*. España.
- Acoplásticos (2011-2012). *Directorio colombiano de reciclaje de residuos plásticos*. Colombia, Bogotá, D. C.
- Cámara de Comercio de Bogotá & Ministerio de Medio Ambiente. (2006). *Guía para el manejo de llantas usadas*. Colombia. Bogotá, D.C: Editorial Kimpres Ltda.

Centro de Actividades Regionales para la Producción Limpia (CAR/PL). (2001). *Posibilidades de reciclaje y aprovechamiento de los aceites usados*. Barcelona, España.

TESIS DE GRADO

Jiménez, D, C., & Ortiz, D, J. (2014). *Identificación de impactos ambientales y gestión de los residuos peligrosos generados en el proceso de desintegración física de los vehículos de transporte público a nivel distrital*. Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad de la Salle. Colombia, Bogotá, D. C.

Rincón, Castro, J., & Santos, D, J. (2014). *Formulación de alternativas para el manejo del subproducto metales no ferrosos provenientes del proceso de chatarrización de vehículos de servicio público en la ciudad de Bogotá*. Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad de la Salle. Colombia, Bogotá, D. C.

Calderón, Hernández, J., & Bustos, Ramírez, O. (2014). *Formulación de alternativas para el manejo de los residuos plásticos provenientes de la desintegración de vehículos de servicio público al final de su vida útil en la ciudad de Bogotá*. Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad de la Salle. Colombia, Bogotá, D. C.

Junquera Diz, I. (2010). *Gasificación de residuos plásticos para la producción de electricidad en régimen especial*. Universidad Pontificia Comillas, Madrid, España.

PÁGINAS WEB

Concejo Municipal De Tocancipá, Cundinamarca. (2010). *Plan de Ordenamiento Territorial Municipio de Tocancipá, Cundinamarca*. Recuperado de http://tocancipa-cundinamarca.gov.co/apc-aa/files/36356663663535633734643765613937/ACUERDO_No._09_DE_2010_POT.pdf.

Concejo Municipal De Sogamoso - Boyaca. *Plan de Ordenamiento Territorial Municipio de Sogamoso - Boyaca*. Recuperado de http://sogamoso-boyaca.gov.co/apc-aa/files/30353931383638653366373563613631/acuerdo_096_del_2000.pdf.

MAC. Reciclaje – Sección educativa. Recuperado de <http://www.mac.com.co/?r=site/page&view=seccion-educativa-reciclaje>.

Ministerio de industria y energía de España & SIGRAUTO. (2006). *Valorización energética de residuos de fragmentación y neumáticos provenientes de vehículos fuera de uso. España*. Recuperado de www.sigrauto.com/pdf/ATYCA99.pdf.

SIGRAUTO, OFICEMEN, & FER. (2010). *Objetivo: La Recuperación Total De Los Vehículos Fuera De Uso*. Recuperado de www.sigrauto.com/pdf/Folletoautocemento.pdf.

Secretaría Distrital de Ambiente. (2014). *Las Empresas Con Licencia Ambiental Otorgadas Por La Secretaría De Ambiente Para El Manejo De Residuos Peligrosos En El Perimetro Urbano*. Recuperado de [http://ambientebogota.gov.co /c/document_library/get _file? U u id=8e184eee-470f-43f8-8794-3969b90a4ee3&groupId=10157](http://ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=8e184eee-470f-43f8-8794-3969b90a4ee3&groupId=10157).

ANEXOS