



ING. AUTOMOTRIZ

Trabajo integración Curricular previa a la obtención del título de Ingeniero Automotriz.

AUTORES:

José Andrés Montalvo Padrón
Jostin José Vivanco Agreda

TUTOR:

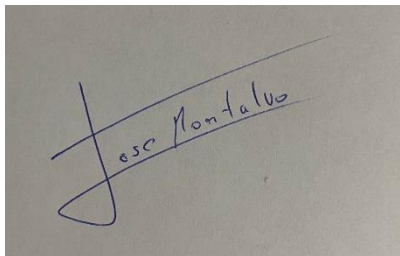
Ing. Fabricio Corrales

IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE NEUMÁTICOS MEDIANTE PIRÓLISIS

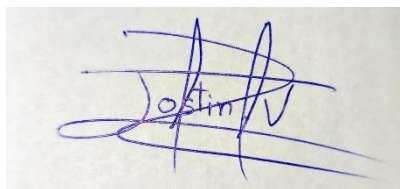
Certificación

Nosotros, José Andrés Montalvo Padrón y Jostin José Vivanco Agreda, declaramos bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de propiedad Intelectual, reglamento y leyes.

A photograph of a handwritten signature in blue ink on a light-colored surface. The signature is written in a cursive style and reads "José Montalvo".

José Andrés Montalvo Padrón 1727135244

A photograph of a handwritten signature in blue ink on a light-colored surface. The signature is written in a cursive style and reads "Jostin".

Jostin José Vivanco Agreda 1723473730

Yo, Luis Fabricio Corrales Zurita, certifico que conozco a los autores del presente trabajo siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping, stylized strokes that form a complex, abstract shape. The signature is positioned above a horizontal line.

Luis Fabricio Corrales Zurita

Dedicatoria

El Presente Artículo se lo dedico especialmente a mi tía Patricia, la persona que me enseñó lo que es el cariño y el aprecio hacia la familia, una persona supremamente incondicional, no tienes idea la falta que me haces, pero sé que desde el cielo me sigues apoyando, gracias por volverme la persona que soy ahora, se lo muy orgullosa que te sentirías de mí.

Te amo Tía Pato.

José Andrés Montalvo Padrón

Este proyecto va dedicado a mis padres que con mucho amor y esfuerzo me dieron un lugar para estudiar y desarrollar algunas de mis capacidades, agradezco que siempre me hayan apoyado y que me hayan enseñado el valor del conocimiento porque gracias a ellos tuve la motivación para ser lo que ahora soy, un ingeniero que sabe que para conseguirlo todo hay que trabajar duro.

Jostin José Vivanco Agreda

Agradecimiento

Agradezco a mi madre por siempre estar pendiente de mí, por cuidarme y siempre apoyarme, a mi padre por enseñarme a ser una buena persona y nunca rendirme, agradezco a mi Tía Zoila quien ha sido una persona incondicional, ha sido un pilar toda mi vida y no tengo palabras para expresar lo agradecido que soy de tenerte en mi vida, de igual forma agradezco a Andrea por apoyarme en todas las decisiones que he tomado, agradezco a la Universidad Internacional Del Ecuador, a mis profesores que me han apoyado en toda esta linda etapa y a Dios que me ha abierto las puertas y guiarme en mi camino.

José Andrés Montalvo Padrón

Agradezco infinitamente a mis padres, ya que ellos son el pilar fundamental en mi vida y todo lo que he conseguido hasta ahora fue gracias a ellos, pues mis padres han estado apoyándome en cada etapa de mi crecimiento como persona y como profesional, ellos son los únicos merecedores de mis logros y francamente también han sido mi motivación porque ellos son las personas a las que yo puedo llamar “ídolos”, y cómo no hacerlo si de ellos aprendí que todo es posible si se trabaja duro; los admiro y es un orgullo llamarlos papás. Además, también quiero hacer mención a mi hermana Emily, a mis familiares y amigos que han estado junto a mí en esta bonita etapa de mi vida, a ellos agradezco que mi vida estudiantil haya sido más divertida y llevadera porque sin ellos la universidad no hubiera sido la misma. Por último, agradezco a todos esos maestros que supieron regalarme de su conocimiento y que supieron guiarme en esta linda profesión. Muchas gracias a todos por esta etapa en mi vida.

- *Jostin José Vivanco Agreda*

ÍNDICE

Certificación.....	iii
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Artículo.....	7
Introducción.....	8
Marco Teórico.....	9
Materiales y Métodos	10
Resultados y Discusión.....	12
Conclusiones.....	18
Referencias	19
Anexos.....	21

IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE NEUMÁTICOS MEDIANTE PIRÓLISIS

Ing. Fabricio Corrales¹, J. Montalvo-Padrón², J. Vivanco-Agreda³

1 Docente Escuela de ingeniería automotriz – UIDE, lucorraleszu@uide.edu.ec, Quito – Ecuador

2 Estudiante Escuela de ingeniería automotriz – UIDE, jomontalvopa@uide.edu.ec, Quito – Ecuador

3 Estudiante Escuela de ingeniería automotriz – UIDE, jovivancoag@uide.edu.ec, Quito – Ecuador

Resumen

Anualmente se desechan millones de neumáticos, parte de ellos son reutilizados para el reencauchado y otro porcentaje es incinerado o depositado en basureros al aire libre, lo que representa una amenaza contra el medioambiente. Debido a esta preocupación, se planteó a través de un estudio un plan de reciclaje eficaz para aprovechar los residuos de neumáticos mediante un proceso de pirólisis, con el cual mediante la degradación térmica se obtiene la materia prima que será reutilizada en la creación y producción de manufactura útil, como: aceites, carbón y productos adhesivos. Para poder obtener estos materiales, se utilizó un equipo de pirólisis, el cual nos permitió descomponer la materia prima de los neumáticos y con ello obtener porcentajes de uso para cada producto, todo esto tomando en cuenta tres factores: el tamaño de partícula, el tiempo de reacción y la temperatura de pirólisis. Con este método, se determinó que, en el proceso de pirólisis, la descomposición de la materia orgánica del neumático es completa. Además, con la pirólisis se aprovecha una mayor cantidad de neumáticos en diversas áreas de producción sin representar un riesgo ambiental.

Palabras Clave: Pirólisis, neumáticos, temperatura, materia prima, residuos.

Abstract

Millions of tyres are discarded each year, some of them are reused for re-routing and a further percentage are incinerated or disposed of in open-air dumps, posing a threat to the environment. Because of this concern, an effective recycling plan was proposed through a study to exploit tyre waste through a pyrolysis process, with which thermal degradation is obtained the raw material that will be reused in the creation and production of useful manufacturing, such as: oils, coal and adhesive products. In order to obtain these materials, a pyrolysis equipment was used, which allowed us to break down the raw material of the tyres and thereby obtain percentages of use for each product, all this taking into account three factors: particle size, reaction time and pyrolysis temperature. With this method, it was determined that in the process of pyrolysis, the decomposition of the organic matter of the tyre is complete. In addition, pyrolysis uses more tyres in various production areas without representing an environmental risk.

Keywords: Pyrolysis, tyres, temperature, raw material, residues

Introducción

Una problemática común actualmente es el procesamiento y el manejo de desechos a partir de llantas usadas. Según cifras de Enviro tire recycling, en el mundo se producen más de 1 billón de llantas usadas anualmente. (Ochoa,2012) En el caso de Ecuador, desecha anualmente 2,4 millones de neumáticos según la empresa de reciclaje de llantas Seginus (Arévalo,2019), un gran porcentaje de ellos son reutilizados para el reencauchado, pero la gran mayoría es incinerada o depositada en basureros al aire libre, lo que representa una amenaza contra el ambiente. (Ministerio del ambiente, 2020)

Las llantas de desecho son un problema ambiental global, en especial, cuando son abandonadas relativamente a la intemperie, pues se convierten en el refugio de plagas, roedores e insectos que propician enfermedades, además que constituyen un riesgo para el entorno y la salud humana. (Arcos, s/f)

Debido a esta preocupación sobre las consecuencias ambientales a partir del manejo inadecuado de llantas usadas, este estudio busca desarrollar un plan de reciclaje sostenible, logrando aprovechar la mayor parte de residuos neumáticos mediante un proceso de pirólisis, con el cual se obtiene la materia prima que será reutilizada en la creación y producción de manufactura útil, como: aceites, carbón y productos adhesivos. En base a la investigación en artículos científicos, fuentes de investigación (Acosta,2013) (Suarez,2019), en los que se plantean ciertos productos obtenidos de pirólisis de neumáticos.

Los neumáticos, de hecho, están diseñados y fabricados para resistir tanto degradación química, física, y biológica y, en consecuencia, permanecer en el medio ambiente durante mucho tiempo, por esta razón la necesidad de estudiar un proceso dedicado a la eliminación correcta de este material una vez terminada su vida útil. A partir de la comparación de las posibles opciones, la pirólisis, un proceso endotérmico de descomposición química en ambientes de alta temperatura y en atmósferas libres de oxígeno, se consideró una opción prometedora. (Oliveira,2015)

La pirólisis de neumáticos es una alternativa efectiva para el tratamiento de residuos, debido a su potencial en cuanto al aprovechamiento de materiales y su uso para la producción de diversos compuestos con un alto valor agregado. La pirólisis se genera en ausencia mediante un proceso de degradación térmica, produciendo moléculas más simples. Muchos de los procesos de pirólisis operan entre 250-500°C, pero hay procesos que alcanzan los 900°C. (Zappala,2010) Este proceso de neumáticos permite la recuperación de las tres fases (sólida, líquida y gaseosa): Sólida, para la fabricación de carbón activado utilizado para la descontaminación de fuentes de agua y aire; Líquida, usada como fuente energética en reemplazo de la gasolina (biodiesel) y Gaseosa, para la obtención de metano al ser mezclado con biomasa. (Suarez,2019)

La pirólisis se define como la ruptura de enlaces químicos en los compuestos, que generalmente son polímeros orgánicos, usando solo energía térmica. Esta escisión ocurre en orden de estabilidad de cada enlace, con el enlace más débil primero y luego el enlace más estable. Esto ocurre ya sea por mecanismos homolíticos que conducen a

la formación de radicales libres o por procesos heterolíticos, comúnmente se producen moléculas neutras. Esta se puede usar con el fin de descomponer moléculas grandes para así reutilizar sus elementos constitutivos, aunque también se puede usar para estudiar la composición y estructura de éstas, ya que, al fraccionar una macromolécula en moléculas más pequeñas, a través de su análisis se puede obtener mucha información de la molécula original. (Angarita, s/f)

Materiales y Métodos

La pirólisis es un proceso de degradación mediante energía térmica que se da sin la necesidad de oxígeno. La pirólisis siempre es el primer paso en los procesos de combustión y gasificación, seguido de una oxidación total o parcial de los productos primarios. (Klug,2012)

Este proceso consta de 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, bio-aceite y gas). (Klug,2012)

Materiales para la obtención de productos adhesivos a partir de pirólisis de llantas recicladas

Los materiales a utilizar son extraídos de llantas (caucho) el cual es utilizado para producir insumos para la industria de calzado y marroquinería. (Suarez S,2019)

Metodología para la obtención de materiales adhesivos a partir de pirólisis de llantas recicladas

1. Preparación de la Muestra: En esta parte se realizó la recolección de las muestras, trituración y separación de la fase de interés. (Suarez S,2019)
2. Pirólisis: Se determinaron las condiciones para obtener la mayor cantidad de fase líquida. (Suarez S,2019)
3. Caracterización: Se caracterizó la fase líquida para determinar el tipo de producto. (Suarez S,2019)
4. Síntesis del producto adherente: Se formuló un producto adherente con las características requeridas en la industria del calzado y la marroquinería. (Suarez S,2019)
5. Caracterización y comparación: Se caracterizó el producto obtenido y se comparó con productos comerciales. (Suarez S,2019)

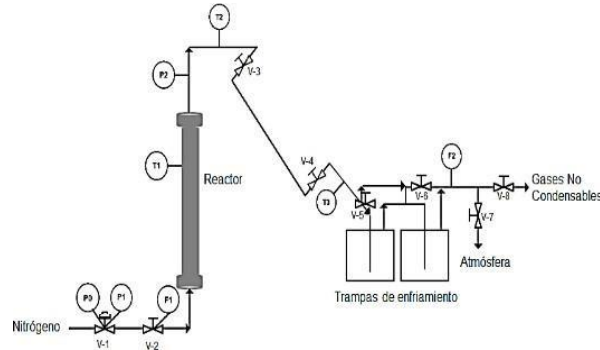
Producción de aceite y carbón mediante la pirólisis del caucho de neumáticos usados

Maquinaria de Pirólisis

- Reactor: Se trata de un reactor tubular vertical elaborado en acero inoxidable 316L.
- Horno tubular el cual equipa una resistencia eléctrica la cual tiene una potencia máxima 2400 W, construido con carcasa de acero inoxidable y ladrillo refractario.

- Sistema de enfriamiento de gases de escape con control de temperatura de 3 puntos en el reactor y 2 trampas de gas condensable y medidores de flujo de gas.

Figura 1.
Equipo de pirólisis



Fuente: Suarez(2019)

Los residuos de llantas utilizados se obtienen a partir de otras llantas que ya cumplieron su función y perdieron sus propiedades para la carretera, por lo que son desechadas y usadas en este proceso. EL neumático fue caracterizado mediante un estudio termogravimétrico y una cuantificación próxima en una balanza de termogravimetría ATG 2050, marca TA Instruments, bajo la norma ASTM D7582.

Proceso de pirólisis:

1. La implementación de experimentos tiene en cuenta tres factores variables: tamaño de partícula (TP), tiempo de reacción (t^R) y, temperatura de pirólisis (T), por duplicado.
2. Para cada variable se utilizaron los siguientes rangos de cada variable : TP entre 0,85 - 2,1 mm, (t^R) entre 20 – 180 min y (T) entre 500 - 637°C, respectivamente.
3. EL lecho se fijó en 15 cm de altura.
4. Durante el Proceso se utilizó N₂ de alta pureza con un flujo de 200 mL/min para mantenerla atmósfera inerte.
5. Los rendimientos para las corrientes sólidas y líquidas se cuantificaron gravimétricamente, mientras que los gases se calcularon por balance de masas mediante tapones, teniendo en cuenta las pérdidas del 5 % durante el proceso.
6. Siguiendo la norma ASTM D5865, Con la ayuda de una bomba calorimétrica de marca Parr 6200 fue posible cuantificar el poder calórico del aceite para realizar el producto.

Por otro lado, al carbón pirolítico se le realizó determinación de área BET usando N₂ gaseoso a 1 atm de presión en un baño de N₂ líquido a temperatura de -196°C en un equipo NOVA 1200. (Acosta,2013)

Resultados y Discusión

Las siguientes imágenes demuestran algunos de los datos importantes que se tomaron en cuenta para los resultados de nuestro análisis de los desechos neumáticos. Con el fin de, obtener resultados numéricos sobre la cantidad de desechos neumáticos en nuestro país Ecuador.

Figura 2.
Composición del Neumático



Fuente: Zappala(2010)

Figura 3.
Porcentaje de componentes en los neumáticos

Componentes	Automóvil liviana [% del peso]	Camión [% del peso]	Función
Cauchos	48	45	Estructural – deformación
Negro de humo	22	22	Resistencia oxidación
Óxido de zinc	1,2	2,1	Catalizador
Material textil	5	0	Esqueleto estructural
Acero	15	25	Esqueleto estructural
Azufre	1	1	Vulcanización
Otros	12	-	-

Fuente: Zappala(2010)

Figura 4.
Número de vehículos en el Ecuador



Fuente: Ochoa(2012)

Total=2'267.344

2'267.344-----100%

301.806-----x

- Vehículos pesados=13.31%
- Vehículos livianos=86.69%

Total de llantas desechadas anualmente=2'400.000

- Desechos Neumáticos de Vehículos Pesados=319.440
- Desechos Neumáticos de Vehículos Livianos=2'080.560

Figura 5.
Peso de los neumáticos

Tipo de neumático sin llanta	Peso (aprox.)
Neumáticos para cortacésped	2.5 kg
Neumáticos para carros de golf	4.5 kg
Neumáticos de remolque	7 kg
Neumáticos de motocicleta	10.4 kg
Neumáticos de automóviles de pasajeros	12 kg
Neumáticos para vehículos 4x4 y SUV	14 kg
Neumáticos para granjas y tractores	15 kg
Neumáticos para camiones ligeros	22 kg
Neumáticos para vehículos recreativos/caravanas	32 kg
Neumáticos para furgonetas/camiones comerciales	52 kg

Fuente: Acosta(2013)

- Promedio de Peso de Neumáticos de Vehículos Pesados=30,25Kg
 - Promedio de Peso de Neumáticos de Vehículos Livianos=10,85Kg
 - Peso Total de Neumáticos Producidos por Vehículos Pesados=9'663.060Kg
 - Peso Total de Neumáticos Producidos por Vehículos Livianos=22'574.076Kg
 - Peso Total de Neumáticos Producidos por Vehículos Pesados en Toneladas=9.663
 - Peso Total de Neumáticos Producidos por Vehículos Livianos en Toneladas=22.574
- Peso Total de Desechos Neumáticos = 32.237 Toneladas
 - Total de Desechos Neumáticos a tratar por Mes=2.686,417
 - Toneladas de Desechos Neumáticos a tratar por Día=89,54 (100%)
 - Toneladas de Desechos Neumáticos a tratar por Día=44,77 (50%)
 - Toneladas de Desechos Neumáticos a tratar por Día=26,86 (30%)

Figura 6.
Especificaciones de la máquina de pirólisis

Model	LKP-4	LKP-6	LKP-12	LKP-15	LKP-30	LKP-40
Size of Reactor(M)	D2.2*L6.0	D2.8*L6.2	D2.8*L7.1	D2.8*L8.0	D2.8*L7.1	L12.5*W2.2*H2.5
Daily Capacity	5-6T/D	8T/D	10-12T/D	15T/D	16-20T/D	30-40T/D
Power	24kw/h	30kw/h	39kw/h	48kw/h	58kw/h	108kw/h
Working Method	Intermittent/Batch				Semi-continuous	Full-continuous
Heating Material	Natural gas/Oil/Wood/Coal/LPG and so on					
Reactor Thickness	12mm/16mm/18mm					
Rotate Speed of Reactor	0.4r/min/minute					
Cooling Method	Water cycling cooling					
Labor Required	4-6 person in two or three shifts					

Fuente: Zarini(2010)

Una vez observado los modelos de plantas de Pirólisis se debería optar por 3 plantas LKP-40 de \$558.000 con capacidad de 30-40 Toneladas que trabaja de forma continua, esto con el fin de cubrir las 89,547 toneladas de desechos neumáticos al día.

De este proceso se obtienen los siguientes datos:

- ✓ Aceite de pirólisis (45%) = 420USD/T

- ✓ Alambres de acero (15%) = 180USD/T
- ✓ Negro carbón (30%) = 50USD/T
- ✓ Gas combustible (10%) = Reciclado en el sistema

De las cuales tendríamos:

- ✓ Aceite de pirólisis = 40,296
Toneladas diarias = 16.924,32\$
- ✓ Alambres de acero = 13,432
Toneladas diarias = 2.417,76\$
- ✓ Negro de carbón = 26,864
Toneladas diarias = 1.343,20\$
- ✓ Gas combustible = 8,955 Toneladas diarias

Con lo cual se obtendría un ingreso diario de = 20.685,28\$- usando el 100% de los desechos, 10.341,87\$- usando el 50% y 6.204,66\$- usando el 30%.

Ingresos anuales = 7'550.127,20\$

- Especificaciones logísticas:
Hemos llegado a la conclusión que la mejor ubicación para poner nuestra planta de pirolisis sería en la provincia de Santo Domingo de los Tsachilas, especialmente en el km 26 vía chone en un terreno de 2ha con un precio estimado de 65000 dólares, adicionalmente tendríamos que tomar en cuenta el valor de la infraestructura que estimaríamos sería +- 60000 dólares.
- **Aplicación de productos finales**
 - Aceite de pirólisis:
 - ✓ Se puede utilizar directamente en el generador de petróleo pesado para obtener electricidad.
 - ✓ Parte de él se puede utilizar de nuevo en la máquina de pirólisis para calentar el reactor.
 - ✓ Se puede vender directamente, ampliamente utilizado en fábricas de cerámica, fábricas de cemento, fábricas de acero, hoteles etc.
 - ✓ Se puede refinar para que sea diésel no estándar, se puede utilizar en generadores diésel, embarcaciones y otros motores diésel de baja velocidad para trabajos pesados.
 - ✓ Será reciclado al horno para calentar el reactor.
 - Negro carbón:
 - ✓ Puede prensarse para formar briquetas y utilizarse como combustible.
 - ✓ Se puede utilizar para producir almohadillas de goma, cinturones de goma, suelas, etc.
 - ✓ Se puede volver a procesar para obtener una mayor calidad y utilizarse como reforzador y relleno de la industria del plástico y el caucho o como lote maestro de color.
 - Alambres de acero (de llantas de desecho):
 - ✓ Se puede vender directamente a la fábrica de acero.
 - Gases combustibles:

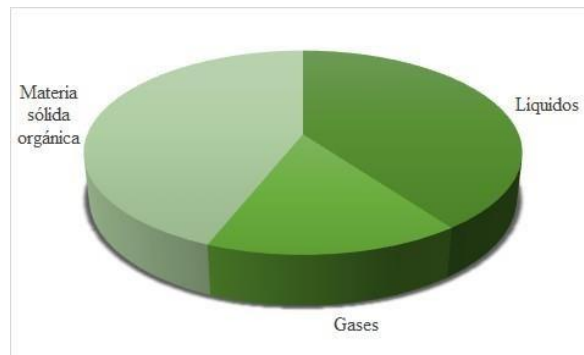
- ✓ Será reciclado al horno para calentar el reactor.

La pirólisis es el calentamiento en ausencia de oxígeno, lo cual sirve para descomponer los neumáticos y reutilizar dichos componentes. (Zarini,2010) La investigadora de la escuela técnica superior de Ingeniería de Bilbao, María Felisa Laresgoiti, hizo uso de partículas que provocan aceleración del proceso de reacción en un reactor con tubos empacados en vertical, volumen de 3,5 litros y lavado con nitrógeno asegura que no se requiere oxígeno para la pirólisis. Después de diversas pruebas, concluyó que a partir de 500 grados y con 30 minutos de tiempo de reacción, la descomposición de la materia orgánica del neumático es completa. (Marco,2002)

Esta descomposición produce un 40% de líquido y un 16% de gas, que puede utilizarse como combustible o fuente de materia prima. (Ver Figura 7) El 44% restante después del proceso son sólidos inorgánicos. Se trata de cargas, metales y hollín, que quedan prácticamente inalterados y se pueden reutilizar en diversas aplicaciones. (Marco,2002)

Figura 7.

Productos de la descomposición por pirólisis



Fuente: Adrados(2012)

En el caso de los orgánicos y líquidos resultantes de la pirólisis, son mezclas complejas de productos orgánicos que pueden realizar las mismas funciones que algunas fracciones derivadas del petróleo, y pueden utilizarse como sustitutos de los combustibles fósiles. Por ejemplo, pueden sustituir al fuelóleo en algunos casos, aunque el elevado poder calorífico del líquido obtenido y su alto contenido en nitrógeno y azufre prohíben su uso comercial generalizado. (Marco,2002)

Por otra parte, además de como combustible estos líquidos son válidos como fuente de diversos compuestos químicos valiosos, como el estireno (se utiliza, por ejemplo, en la síntesis de materiales plásticos) o el limoneno (se usa como disolvente biodegradable, entre otras cosas). (Marco,2002)

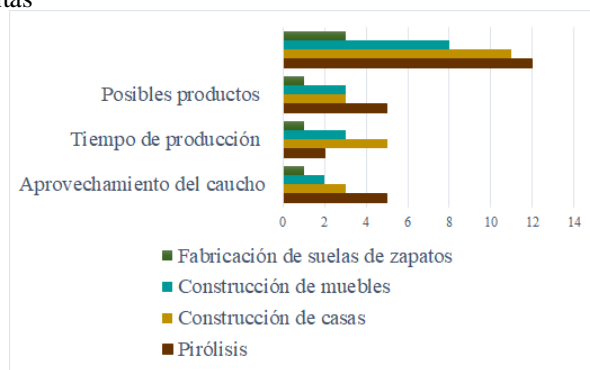
Adicionalmente de los líquidos, las sustancias orgánicas obtenidas durante la pirólisis de neumáticos también incluyen gases. Están compuestos principalmente por hidrocarburos y son importantes fuentes de energía debido a su alto poder calorífico. Dicha fuente no sólo es suficiente para autoabastecer el proceso, sino que queda un excedente que puede ser valorizado energéticamente. (Marco,2002)

Por otro lado, como se muestra en la Figura 2, el 44% de los productos resultantes de la pirólisis de neumáticos son inorgánicos. Es sólido y prácticamente inalterable con respecto a las dimensiones y forma de la pieza antes del procesamiento. Dicho material es fácilmente disgregable en negro de humo (hollín), filamentos y cordones de acero del neumático, y éstos pueden ser reutilizados o reciclados independientemente. (Adrados,2012)

El hollín, especialmente de la pirólisis, podría tener una variedad de usos comerciales, como se muestra en el documento. Por ejemplo, Laresgoiti cree que se debe explorar el uso potencial como agente de refuerzo en la fabricación de neumáticos nuevos. Asimismo, cree que podría ser de utilidad comercial como negro de humo semi reforzante o no reforzante, carbono activo opigmento para tintas. (Adrados,2012)

Entre las referencias bibliográficas que hemos utilizado en este artículo pudimos encontrar varias fuentes que plantean alternativas totalmente diferentes a lo que implica la pirólisis, sin embargo, luego de leer y analizar estas opciones (construcción de viviendas y muebles, fabricación de suelas de zapatos, etc.) llegamos a la clara conclusión de que lo que planteamos es mucho más sustentable y que podría aplicarse en nuestro medio ya que este proceso aprovecha de una manera muy eficiente la materia prima inicial y también los residuos de este proceso pueden ser utilizados en diferentes industrias. A partir de ese análisis realizamos una comparación para evidenciar la efectividad de la pirólisis, obteniendo resultados.

Figura 8.
Procesos de reciclaje de llantas



Fuente: Arévalo(2019)

Una de las ventajas que podemos mencionar de la pirólisis es que se puede trabajar con volúmenes impresionantes de materia prima en tiempos relativamente cortos, por ejemplo, una iniciativa colombiana de construcción de casas con neumáticos utiliza alrededor de 9000 neumáticos para construir 5 casas en un lapso de 12 meses y obviamente esto implica mano de obra, contacto directo con el hule de las llantas, etc. En el caso de la pirólisis, se estima que diariamente se convierte 10 toneladas de neumáticos en productos que tendrán una nueva vida útil. Evidentemente el proceso de pirólisis aprovecha de una manera monumental todos los recursos, por otro lado, procesos de reciclaje como fabricación de muebles o suelas de zapatos son sin duda procedimientos

artesanales que requieren más mano de obra y un mayor tiempo de fabricación, limitando de cierta forma el proceso de producción.

Conclusiones

- Con este proceso de pirólisis se podrá eliminar los desechos neumáticos del Ecuador de una forma amigable y además se obtendrán productos derivados de estos para poder ser comercializados y generar ingresos muy buenos como los que observamos; por lo que, no sólo estaríamos ayudando al medioambiente, sino que también se podrá contribuir a la economía del país y generar algunas fuentes de empleo dentro de la instalación.
- A diferencia de otras alternativas “respetuosas con el medio ambiente”, la pirólisis ofrece tiempos de producción muy cortos y va acompañada de un uso muy favorable de las materias primas. Este proceso convierte una gran cantidad de caucho (toneladas) en un producto práctico en un tiempo bastante corto.
- Si se toman todos estos datos de forma teórica, se obtendría un peso total de desechos neumáticos diarios de 89,54 toneladas; no obstante, llegando a datos un tanto más reales, se tomaría un 30% del total de desechos previstos para de esta manera obtener un total de 26,89 toneladas diarias. Las cuáles serán la principal alimentación para la producción de la empresa, obteniendo de esta manera 6.204,66\$ de ingresos diarios.
- Es el proceso más favorable para utilizar los residuos de los neumáticos usados, ya que este proceso industrial aprovecha los volúmenes de materia prima para poder sacar 3 tipos de productos nuevos y prácticos; otros procesos de reciclaje o reutilización del hule tienen un alto impacto ambiental y también tiempos de producción muy elevados que pueden perjudicar la salud de las personas implicadas y es por esto que la pirólisis es la opción más conveniente.

Referencias

- [1] Ochoa, B. E. M. (2012). En favor del medio ambiente de llanta vieja a carbón activado. *Universitas Científica*, 15(1).
- [2] La Gestión Integral de Neumáticos Usados optimiza recursos para el manejo seguro de desechos | Ministerio del Ambiente. (2020). Retrieved 8 June 2020, from <https://www.ambiente.gob.ec/la-gestion-integral-de-neumaticos-usados-optimiza-recursos-para-el-manejo-seguro-de-desechos/>
- [3] ARCOS, D., NICOLAS, C., LÓPEZ, A., & SEVILLA, M. F. PROYECTO INTEGRADOR II INGENIERÍA COMERCIAL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN TEMA: LAS POLÍTICAS AMBIENTALES DEL ECUADOR Y SU INCIDENCIA EN EL DESTINO FINAL DE LOS NEUMÁTICOS USADOS.
- [4] Acosta, R. A., Moncada, S. J., Gauthier-Maradei, P., & Nabarlatz, D. A. (2013). Estudio preliminar de la producción de aceite y carbón mediante pirólisis intermedia de caucho de llantas usadas. *Revista de Investigaciones Universidad del Quindío*, 24(1), 139-145. Recuperado a partir de https://ojs.uniquindio.edu.co/ojs/index.php/ri_uq/article/view/215
- [5] Suárez Suárez, E. J. (08 de 03 de 2019). Obtención de productos adhesivos a partir de pirólisis de llantas recicladas. Obtenido de Trabajos de Grado: <http://hdl.handle.net/10818/35572>
- [6] de OLIVEIRA, C. F., Tôrres, R. B., Soares,

- A. G., & Santos, R. G. (2015). Propriedades combustíveis do condensado da pirólise de pneus. *Blucher Chemical Engineering Proceedings*, 1(2), 8149-8155.
- [7] ZAPPALA, R. (2010). Smaltimento degli pneumatici usati mediante pirolisi: bilanci di massa, energia e analisi impiantistica.
- [8] Angarita Bonilla, P. Compendio de técnicas de pirólisis para el eaprovechamiento energético de llantas usadas (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá).
- [9] Klug, M. (2012). Pirólisis, un proceso para derretir la biomasa. *Revista de Química*, 26(1-2), 37-40.
- [10] Suárez, S., & Jhiset, E. (2019). Obtención de productos adhesivos a partir de pirólisis de llantas recicladas (Master's thesis, Universidad de La Sabana)
- [11] Zarini, A. (2010). Alternativas de reutilización y reciclaje de neumáticos en desuso.
- [12] Marco, I. D., Caballero, B., Torres, A., Laresgoiti, M. F., Chomon, M. J., & Cabrero, M. A. (2002). Recycling polymeric wastes by means of pyrolysis. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology*, 77(7), 817-824.
- [13] Adrados, A., De Marco, I., Caballero, B. M., López, A., Laresgoiti, M. F., & Torres, A. (2012). Pyrolysis of plastic packaging waste: A comparison of plastic residuals from material recovery facilities with simulated plastic waste. *Waste Management*, 32(5), 826-83
- [14] ARÉVALO JIMÉNEZ, Jonathan Geovanny. Reciclar los neumáticos usados utilizándolos como impermeabilizantes en la ciudad de Milagro. 2019. Tesis de Licenciatura
- [15] Miranda Guardiola, R. D. C., Segovia Martínez, C. C., & Sosa Blanco, C. A. (2006). Pirólisis de llantas usadas: Estudio cinético. *Ingenierías*, 9(32), 8-1