

Methods to characterize liquid and gas combustibles obtain from the useless tires throw the ASTM norms

Métodos para caracterizar combustibles líquidos y gaseosos obtenidos de llantas en desuso a través de las normas ASTM

Jaime Alejandro Ospina; Stiven Villada Gil

Fundación Universitaria Luis Amigó

jaime.ospinabe@amigo.edu.co; stiven.villadaqi@amigo.edu.co

(Artículo de INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA. Recibido el 14/10/2011. Aprobado el 06/12/2011)

Abstract

This article shows the importance energy characterization of liquid and gaseous fuels obtained from the known pyrolysis heat treatment by microwave. The characterization of these fuels will take into account technical standards such as ASTM D3452 - 93 for gas chromatography (GC), ASTM D2549 for gas chromatography / mass spectrometry (GC / MS) and ASTM D6370 -99 to thermogravimetry in the analysis of the composition of the tires.

It also shows that these pyrolytic oils and gases have a high calorific value of 42 MJ / kg and a sulfur content between 0.8 and 1.65 wt%, depending on the type of tire and process conditions.

Keywords: Combustion, pyrolysis, thermogravimetry, tire components, waste tires.

Resumen

Este artículo muestra la importancia de la caracterización de la energía de combustibles líquidos y gaseosos obtenidos del conocido tratamiento térmico de pirolisis a través de un microondas. La caracterización de estos combustibles tomará en cuenta los estándares técnicos tales como ASTM D3452 – 93 para la cromatografía de gases (GC), ASTM D2549 para cromatografía de gas/espectrometría de masa (GC/MS) y ASTM D6370 -99 para termogravimetría en el análisis de la composición de llantas.

También muestra que estos combustibles y gases de pirolisis tiene una alta valor calorífico de 42 MJ / Kg y un contenido de azufre entre 0.8 y 1.65 Wt%, dependiendo en el tipo de llanta y las condiciones del proceso.

Palabras clave: Combustión, componentes de llantas, llantas en desuso, pirolisis, termogravimetría.

I. INTRODUCCIÓN

Cada año 24 millones de neumáticos se desechan en Canadá y 250 millones en Estados Unidos [1], la disposición final de estas llantas usadas es el confinamiento en rellenos sanitarios en forma de montañas al aire libre, generando problemas de salud y riesgos de incendios [2]. La existencia de estos elementos no renovables facilitan la presencia de ambientes no saludables como criadero de mosquitos, los cuales transmiten enfermedades. La eliminación de estos desechos sólidos no biodegradables es una preocupación medioambiental que va acompañada con la disminución

de las reservas de combustibles fósiles, por lo tanto, ha surgido la necesidad de investigar sobre el potencial de las energías útiles que se pueden recuperar de dichos desechos utilizando tecnologías apropiadas [3]. Las llantas son una buena alternativa para obtener energía debido a que están compuestas de caucho con un valor calorífico de 33 MJ/Kg [4]. En la actualidad se presentan diferentes opciones para el tratamiento de las llantas. La práctica actual de soluciones incluye el rencauchado, el reciclaje y la combustión de energía térmica [5]. Dentro de las alternativas de los tratamientos térmicos, tanto la incineración, como la gasificación y la pirólisis son importantes para la eliminación de desechos como son las

llantas en desuso recicladas en los vertederos; y poder optimizar de este material no biodegradable productos como son el negro de carbón, el acero y posibles combustibles líquidos y gaseosos a nivel industrial.

Sin embargo, la pirólisis puede ser considerada como una de las mejores tecnologías para el tratamiento de las llantas en desuso, ya que los aceites derivados pueden ser utilizados como combustibles o empleados como materia prima para la refinería del petróleo o de productos químicos. Además, el gas se puede utilizar como combustible para el proceso de pirólisis [6].

II. DESARROLLO DEL ARTÍCULO

A. Problema Mundial

En la actualidad, más de cien millones de toneladas de materiales de polímeros se desechan como residuos cada año en el mundo. Estos materiales no pueden volver al entorno natural a través de la descomposición biológica. Por lo tanto, el reciclado de llantas y su tratamiento es de suma importancia mundial por:

- La protección del medio ambiente, debido a que la contaminación ambiental causada por las llantas en desuso es cada vez más grave. Las pilas de neumáticos en desuso se convierten en lugares aptos para la cría de mosquitos y plagas.
- La conservación de las energías tradicionales. Es importante tener presente que la materia prima para las llantas dependen de la industria del petróleo, además las llantas tienen un alto poder calorífico que es de 33 MJ/Kg que se debe explotar para la generación de nuevos combustibles [7].

Además, la eliminación de llantas en desuso es un problema económico y ambiental para la mayoría de los países en desarrollo. Se estima que 2.5 millones de toneladas por año se generan en la Unión Europea, 2.5 millones de toneladas en América del norte y alrededor de 1 millón en Japón. Las características de las llantas en desuso hacen que esta materia no biodegradable sea una buena materia prima para procesos industriales, y el mal uso de estos hace que se pierda una fuente valiosa de energía renovable [8]. En los Estados Unidos 266 millones de llantas en desuso son un problema de carácter social, tres cuartas partes de estas llantas son utilizadas como combustibles, pero el resto se desaprovecha acumulándose en basureros y vertederos generando un inconveniente de carácter mundial [9].

B. Diagnostico en Colombia

Recientemente, en Santafé de Bogotá, Unión temporal OCODE LTDA, Control Ambiental y Desarrollo Empresarial

de Colombia, SANIPLAN de Brasil, y Ambiental S.A de Argentina, realizaron un diagnóstico ambiental sobre el manejo de las llantas usadas generadas por el parque automotor. Este diagnóstico involucró la evaluación de la problemática del residuo, los usos actuales del residuo en la ciudad y la investigación sobre posibles aplicaciones de acuerdo con experiencias internacionales, con base en este panorama se establecieron cuatro alternativas de solución para las llantas usadas.

Estas alternativas son las siguientes:

- El aprovechamiento energético y de materia prima para hornos en la industria cementera.
- El aprovechamiento energético en termoeléctricas, utilizando el poder calorífico de las llantas usadas para generar energía eléctrica.
- La utilización de las llantas usadas como materia prima para producir pavimento asfáltico.
- Suministro de materia prima para usuarios del caucho, entre los cuales están los fabricantes de pisos, alfombras y la mencionada en el numeral anterior.

Con base en análisis que involucra aspectos económicos, tecnológicos, sociales y ambientales se estableció que la alternativa de suministro de materias primas es la mejor opción para el tratamiento de las llantas usadas en Santafé de Bogotá [10].

C. Registro de Llantas en Desuso

El conocimiento de las llantas en desuso que se producen en cualquier lugar es importante para determinar el método de eliminación y aprovechamiento energético de estos elementos no biodegradables.

En Italia se tiene un algoritmo para calcular la cantidad de llantas en desuso generadas en forma anual = $(\text{No de vehículos registrados} \cdot 14 + \text{No de vehículos viejos (fuera de servicio)} \cdot 28) / 1000$, donde 14 y 28 representan los valores promedios de las llantas en desuso producidos por los vehículos registrados y fuera de servicio respectivamente en forma anual [3].

En Santafé de Bogotá este proceso se realizó bajo las siguientes condiciones [10].

TABLA1: Generación actual de llantas usadas por el parque automotor de Santafé de Bogotá por tipo de vehículo [10].

| Tipo de vehículo | A | B | C | D | E |
|---------------------|----------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------|-----------------------|
| Particular (91%) | Números de vehículos | Llantas/vehículos | AxB Total llantas en uso | loLL ² | AxD Llantas al año |
| Automóvil R-13 | 637,637 | 4 | 2,550,548 | 1.72 | 1,096,735 |
| Automóvil R-14 | 63,063 | 4 | 252,252 | 1.72 | 108,468 |
| camión | 18,200 | 6 | 109,200 | 4.50 | 81,900 |
| camioneta | 81,900 | 4 | 327,600 | 2.60 | 212,940 |
| Campero | 72,800 | 4 | 291,200 | 1.68 | 122,304 |
| motos | 36,400 | 2 | 72,800 | 1.32 | 48,048 |
| Sub-total | 910,000 | | 3,603,600 | | 1,670,395 |
| Público (9%) | Números de vehículos | Llantas/vehículo | Total llantas en uso | loLL ² | Llantas al año |
| Taxi R-13 | 49,959 | 4 | 199,836 | 4.00 | 199,836 |
| taxi R14 | 4,941 | 4 | 19,764 | 4.00 | 19,764 |
| bus | 11,700 | 6 | 70,200 | 7.20 | 84,240 |
| buseta | 9,900 | 4 | 39,600 | 4.00 | 39,600 |
| camioneta | 5,400 | 4 | 21,600 | 2.80 | 15,120 |
| campero | 3,600 | 4 | 14,400 | 2.00 | 7,200 |
| microbús/ colectivo | 4,500 | 4 | 18,000 | 5.20 | 23,400 |
| sub-total | 90,000 | 4 | 383,400 | | 389,160 |
| TOTAL | 1,000,000 | | 3,987,000 | | 2,059,555 |

La estimación de las llantas de desecho se puede realizar sobre la base de la producción de llantas nuevas. La Tabla 2 muestra la cantidad de neumáticos que fueron fabricados en Estados Unidos, Japón y Corea, la cantidad de llantas producidas en estos tres países están relacionadas con el transporte individual, buses, camiones, y motociclistas [11].

TABLA 2: Producción de llantas en U.S.A, Japón y Corea [11].

| País | Llanta | Unidad | Producción llantas | | | | Total |
|-----------------|------------|--------|--------------------|------------|----------------|-----------|---------|
| | | | Pasajeros | Bus/camión | Camión pequeño | Vehículos | |
| USA (1990) | Original | mil | 47199 | 6993 | 995 | | 55187 |
| | Remplazado | | 152251 | 36588 | 2549 | | 191388 |
| | Exportado | | 14110 | 3283 | 294 | | 17687 |
| | Total | | 213560 | 46864 | 3838 | | 264262 |
| | Original | Ton | 320953 | 316084 | 18408 | | 655445 |
| | Remplazado | | 1035307 | 1653778 | 47157 | | 2736242 |
| JAPON (1992) | Exportado | | 98948 | 148392 | 5439 | | 249779 |
| | Total | | 1452208 | 2118257 | 71004 | | 3641466 |
| | Original | mil | 38589 | 876 | 13576 | 6060 | 58901 |
| | Remplazado | | 40487 | 4077 | 19698 | 3414 | 67676 |
| | Exportado | | 23780 | 4815 | 6758 | 2095 | 37448 |
| | Total | | 102856 | 9768 | 39832 | 11569 | 164025 |
| KOREA (1992) | Original | Ton | 262405 | 39595 | 247456 | 9090 | 558546 |
| | Remplazado | | 275312 | 184280 | 346413 | 5121 | 829126 |
| | Exportado | | 161704 | 217638 | 125023 | 3143 | 507508 |
| | Total | | 699421 | 441513 | 736892 | 17354 | 1895180 |
| | Original | mil | 4782 | 314 | 567 | | 5663 |
| | Remplazado | | 3212 | 1398 | 1600 | | 6210 |
| KOREA (1992) | Exportado | | 15571 | 2529 | 8373 | | 26473 |
| | Total | | 23565 | 4241 | 10540 | | 38346 |
| | Original | Ton | 32518 | 14193 | 10490 | | 57201 |
| | Remplazado | | 21842 | 63190 | 29600 | | 114632 |
| | Exportado | | 105883 | 114311 | 154901 | | 375095 |
| | Total | | 160243 | 191694 | 194991 | | 546928 |

D. Composición y Características de las Llantas en Desuso.

Según [12], el principal componente del neumático es el caucho, representa casi la mitad de su peso. El caucho utilizado en los neumáticos es de diferentes tipos:

- Caucho natural.
- Estireno butadieno.
- Polibutadieno.
- Polisoprenos sintéticos.

Aunque cada uno de estos tipos de cauchos tienen diferentes propiedades, tienen una característica en común, todos una vez vulcanizados componen largas cadenas moleculares formadas por átomos de nitrógeno y carbono unidos bajo una determinada estructura y entrelazadas con puentes de azufre. Esta estructura hace que se necesite una gran cantidad de tiempo para su degradación.

Otro componente propio de los neumáticos son las cargas de refuerzos, y la más utilizada es el negro de carbono. Este elemento se conforma por finas partículas de carbono obtenidas por la combustión parcial de gas natural o aceites de petróleo gasificados. El negro de carbono representa aproximadamente la cuarta parte en peso de un neumático.

Aceite minerales, procedentes del petróleo, componen las cargas plastificantes disueltas en la masa de la goma. El azufre es el agente vulcanizador por excelencia, su misión es entrelazar los polímeros.

Como la reacción del azufre y el caucho en la vulcanización es muy lenta, para acelerar la fabricación se utilizan pequeñas cantidades de sustancias para acelerar o activar el proceso. Una de ellas es el óxido de zinc, metal difícilmente sustituible en la actualidad por otros materiales activadores.

Existen otros productos que entran en la composición de los neumáticos, como antioxidantes, adhesivos para la unión de metal o textil con la goma.

Todos estos agentes, azufre, óxido de zinc, resinas de petróleo, sílice, etc., pueden participar aproximadamente en un 1% del peso.

El resto, más o menos la quinta parte, lo forman los aros de acero, que aseguran la transmisión de los esfuerzos a través de la llanta.

Un neumático puede alcanzar más de 200 componentes, que forman parte de las diferentes mezclas presentes en su producción. Podemos reducir la composición de un neumático a sus elementos principales, que varían en función del vehículo al que estén destinados y que, a modo de resumen, aparecen en la Tabla 3 [12].

TABLA 3: Composición de los neumáticos (% wt) [12]

| Composición | Porcentaje |
|--------------------|------------|
| Goma | 62.1 |
| Negro de carbón | 31.0 |
| Aceites | 1.9 |
| Oxido de zinc | 1.9 |
| Oxido de esteárico | 1.2 |
| Sulfuro | 1.1 |
| Acelerador | 0.1 |
| Total | 99.9 |

E. Uso de las Llantas en Desuso.

TABLA 4: Uso y proceso de las llantas en desuso [11]

| USO DE LAS LLANTAS EN DESUSO SIN NINGÚN PROCESO | | | |
|--|---|---|---|
| Construcción de arrecifes y rompe olas | Construcción de campos de juego | Control de erosión | Barreras de seguridad en la carretera |
| En la actualidad se estima que se utilizan entre 120.000 y 150.000 de neumáticos en la construcción de arrecifes en florida | Se utiliza una cantidad mínima como patio de recreo o jardines infantiles | Más de cinco millones de neumáticos en forma anual se utilizan para reforzar la estabilidad de terrenos inestables, y de esta manera se puede proteger la movilidad en las autopistas, reduciendo los costos en otros elementos como los hormigones o gaviones. | Los neumáticos ayudan a absorber el impacto de los automóviles. Sin embargo, se prefieren las barreras de protección llenas de arena, porque tienen un mejores características de absorción |
| <p>Proceso de las llantas en desuso</p> <p>Los neumáticos en desuso se pueden cortar, perforar, troquelar, partir en tamaños bien pequeños, que mezclados con otros materiales producen nuevos productos.</p> <p>Las llantas transformadas en polvo de neumático pueden ser usadas como productos de caucho o plástico y asfalto.</p> <p>Varios productos de caucho pueden ser desarrollados usando llantas en desuso</p> | | | |

F. Tratamiento de las Llantas en Desuso.

TABLA 5: Tratamiento de las llantas en desuso [13]

| Optimización de las llantas en desuso | | | |
|---|---|--|--|
| Según (13) Debido a la naturaleza vulcanizada del caucho, las llantas en desuso no pueden ser reutilizadas directamente en los ciclos de los procesos, por lo tanto es necesario tratar al caucho de des-vulcanización de regeneración y reutilización. | | | |
| | Remodelación o recauchado | Fresado mecánico | Fresado criogénico |
| Eliminación de las llantas con recuperación de materiales | <p>Es la forma más directa de reciclar las llantas.</p> <p>Su principal ventaja: Es que es un proceso económicamente viable.</p> <p>Sus desventajas: a pesar de que estos deben cumplir con todas las normas de calidad impuestas a los neumáticos nuevos las personas desconfían de estos procesos. Además que deben competir económicamente con las llantas nuevas que se importan.</p> | <p>Su objetivo es separar la parte de goma de la metálica y poder obtener materiales de gran importancia derivados de la goma.</p> <p>Su principal ventaja: Son plantas de bajo costo de inversión con bajas emisiones de gases.</p> <p>Su principal desventaja el alto consumo de energía limita el mercado de los productos obtenidos.</p> | <p>Con este proceso, el caucho es enfriado con nitrógeno líquido a una temperatura que oscila entre -60 y -100 ° C.</p> <p>Como resultado de esta operación, la goma se vuelve más frágil y, por lo tanto se muele muy fácilmente convirtiéndose en un polvo muy fino. La principal ventaja de este proceso consiste en la posibilidad de obtener polvo muy fino (hasta cien micras).</p> <p>Las desventajas son: El alto consumo de energía y nitrógeno líquido (aproximadamente 0,9 kg para el tratamiento de tan sólo 1 kg de caucho) hace el proceso muy caro.</p> |

G. Procesos Térmicos.

TABLA 6: Tratamientos térmicos [13]

| Procesos térmicos | | | |
|---|---|--------------|-----------|
| Según (14). Los neumáticos son una mezcla compuesta de materiales con procesos de vulcanización y acoplamientos de soportes con acero. Esta mezcla consta de: | | | |
| Elastómeros (naturales o caucho sintético) | | | |
| Agentes de refuerzo (negro de carbono) | | | |
| Plastificantes (aceites de hidrocarburos) | | | |
| Agentes de vulcanización (compuestos de azufre) | | | |
| Agentes de la aceleración (para facilitar la acción de azufre) | | | |
| Agentes protectores (anti oxidantes, estabilizador). | | | |
| | Combustión (Incineración) | Gasificación | Pirolisis |
| Eliminación de las llantas en desuso con recuperación de materiales y energía | Los procesos de tratamiento térmico tienen las siguientes ventajas: | | |
| | <ol style="list-style-type: none"> 1. El volumen de neumáticos de desecho se puede reducir en más del 90%. 2. Los procesos son productores netos de energía con recuperación de material. 3. No contaminante y capaz de destruir la mayor parte de las sustancias orgánicas altamente nocivas para la salud humana. | | |
| | Los procesos de tratamientos térmicos tiene asociados los siguientes problemas: | | |
| | <ol style="list-style-type: none"> 1. Eliminación de ceniza: El plomo y las sales de cadmio utilizados como estabilizantes en la producción de neumáticos quedan como cenizas, causando así problemas de eliminación. 2. Los gases tóxicos: Cuando las llantas se queman, algunos gases tóxicos, como el SO₂, H₂S, HCl, HCN, etc, son generados, por lo que requiere sistemas adicionales para su tratamiento adecuado. 3. Hollín: El quemado imperfecto de los residuos producen hollín. En general, estos materiales requieren mayor tiempo de combustión y una alta temperatura de llama. 4. instalaciones adecuadas: Para abordar ciertos problemas, como el aumento de la temperatura, el oxígeno insuficiente y la acción corrosiva de los gases. | | |
| | Es necesario diseñar incineradores adecuados con materiales adecuados. | | |

H. Desarrollo de la Pirolisis.

Los productos obtenidos del proceso de pirolisis se pueden categorizar en tres frases, producción de gases, líquidos/ aceites, residuos sólidos chars [14]. Las primeras tecnologías se utilizaron en el carbón o lignito para producir combustibles útiles. Sin embargo, la aplicación de la esta tecnología para la recuperación de las llantas en desuso es de interés reciente. Algunas investigaciones sobre la pirolisis de desecho han sido publicadas desde

hace mucho tiempo, por ejemplo, en [15] se estudió un modelo cinético de la pirolisis de biomasa o residuos de celulosa.

La mayor parte de las publicaciones sobre pirolisis se han desarrollado desde laboratorios o de plantas tipo piloto, utilizando desechos de madera, residuos de papel y plásticos [16]. Pirolisis para la recuperación de aguas residuales se investigó en forma automatizada [17]. La pirolisis de residuos sólidos se realizó en algunas plantas las cuales operaron en las décadas finales de 1970 y principios de 1980 (E. G. Landgard, Occidental and Purox). En [18] investigaron la cinética de la pirolisis de seis residuos plásticos principales y sus compuestos.

Durante muchos años, las diferentes alternativas para el manejo de las llantas en desuso, tales como, el rencauchado, la incineración, el molido mecánico, entre otros han sido usadas. Sin embargo, todas estas técnicas son limitadas e ineficientes en el manejo de esto recursos no biodegradables [11].

El proceso de pirolisis consiste en una descomposición térmica de moléculas en ausencia de oxígeno para la obtención de productos de menor peso molecular (líquidos, gases, carbón residual). Estos productos pueden ser útiles como combustibles o materias primas para la industria [4].

La pirolisis se utiliza en el caso de las llantas en desuso para obtener productos de gran valor como olefinas, carbones activados, materiales químicos y acero. La técnica permite reducir volúmenes de materiales no biodegradables y recuperar de estos nuevos productos. Una de las principales características de este proceso es la ausencia de oxígeno que disminuye las emisiones de gases contaminantes como son NO_x y SO_x en comparación con la técnica de incineración. Por el contrario, el plomo y sales de cadmio utilizados como estabilizadores en las llantas permanecen en formas de cenizas generando problemas de eliminación, y los gases que se producen incluyen SO₂, H₂S.

TABLA 7: Resumen de los productos obtenidos por pirolisis [14]

| Productos primarios | wt% | Contenido | Productos secundarios |
|---------------------|-------|---|--|
| Gases | 10-30 | Hidrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono, metano, etano, eteno, propano, propeno, butano, buteno, pentano, penteno, ácido sulfúrico | |
| Petróleo | 38-55 | Aromáticos, alquenos, alcanos, aldehídos, cetonas | Negro de carbón |
| Residuos | 33-38 | 15% cenizas 3-5% de sulfuro | Carbón activado (800-1260m ² /g) |

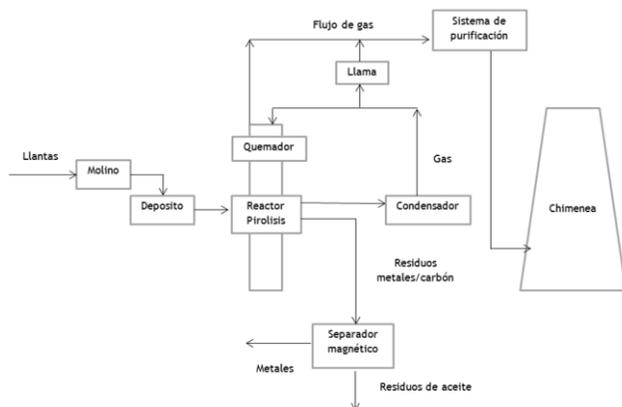


Fig. 1. Diagrama simplificado de una planta de pirolisis [19].

I. Pirolisis por Microondas.

Origen microondas: desde la segunda guerra mundial, ha habido una evolución importante en el uso de las microondas para aplicaciones de calefacción. Desde entonces las microondas se caracterizan por el potencial para proporcionar un calentamiento rápido para obtener energía eficaz de los materiales en proceso de calentamiento [20]. Las principales aplicaciones del calentamiento por microondas incluyen, preparación de alimentos, secada de madera, plástica y caucho, precalentamiento de cerámicas. El rango de frecuencias de la radiación electromagnética por microondas es de 300 MHz-300 GHZ 820), los hornos microondas de uso industrial y domésticos operan con una frecuencia de 2-45 GHZ.

No todos los materiales pueden ser calentados rápidamente por microondas, depende de su composición, estos se clasifican como: conductores, aisladores, absorbentes, los materiales que absorben la radiación por microondas se llaman dieléctricos. En general las propiedades dieléctricas de un material se relacionan con la temperatura, contenido de humedad, densidad y la geometría del material [21].

Ventajas: este desarrollo térmico que continúa en investigación tiene grandes beneficios desde el ahorro en el consumo de energía el tiempo en los procesos, y el cuidado ambiental.

En comparación con las técnicas tradicionales de calefacción, el calentamiento por microondas tiene las siguientes ventajas:

1. Tasa alta de calefacción
2. Contacto directo entre la fuente de calor y el material caliente
3. Se puede lograr un calentamiento selectivo
4. Un mayor control de calentamiento en el proceso de secado
5. Reducción en el tamaño de los equipos y los residuos.

Aplicaciones: eliminación de tableros electrónicos y recuperación de materiales preciosos. La separación de materiales contenidos dentro de estos circuitos de plástico es una estrategia medioambiental y de retorno de inversión.

En tratamiento de residuos en envases. La pirolisis por microondas es un método de eliminar plástico y obtener de estos materiales de uso industrial.

Recuperación de materiales a partir de desechos. Del papel de aluminio, recuperar el aluminio de muy alta calidad para producir hidrocarburos líquidos y gaseosos.

Esterilización de residuos hospitalarios: estos producen un enorme problema ambiental debido a los grandes volúmenes que se producen cada año [22].

Recuperación de las llantas en desuso. Recuperación de materiales para producir materiales similares a los iniciales recuperación de energía y materiales de uso industrial.

Tratamiento de residuos: el tratamiento por microondas posee muchas ventajas sobre el tratamiento de residuos. Las características más importantes se resumen a continuación [23]:

1. Reducción significativa del volumen de residuos
2. Calentamiento rápido
3. Altas temperaturas
4. Calentamiento selectivo
5. Mayores reacciones químicas
6. Capacidad para tratar los residuos en el sitio
7. Tratamiento o inmovilización de los componentes peligrosos con el fin de que se cumpla con los requisitos para el almacenamiento, transporte o eliminación.
8. Procesos rápidos y flexibles en el tratamiento de las llantas.
9. Facilidad de control
10. Disponibilidad de lo equipo, capacidad, costo de mantenimiento.
11. Mejora de la seguridad incluyendo reducción en la exposición de los empleados con los químicos peligrosos
12. Ahorro de energía
13. Fuentes de energía más limpias en comparación con otros sistemas más convencionales.
14. Rentabilidad total de ahorro.

Proceso microondas: una planta de pirolisis emplea energía por microondas para romper las llantas en desuso, se espera recuperar el 36% de carbono, con un 33% de la fracción de chars, carbón activado y además de acero y aceites de hidrocarburos, los componentes restan res que son una mezcla de gases de metano e hidrocarburo pueden ser utilizados como un proceso de calentamiento.

Una gran ventaja es que el proceso se realiza en un sistema cerrado por tanto se tiene un control sobre dioxinas, hollín y cenizas.

Características de los residuos por microondas: la reducción volumétrica de los residuos se consigue a través de pirólisis en lugar de la incineración para evitar la formación, para evitar la formación de dioxinas, furano y NOx los gases del proceso se envían para un tratamiento adicional, los residuos son generalmente cenizas inertes.

J. Normas ASTM Para Caracterizar los Combustibles Líquidos y Gaseosos Obtenidos de las Llantas en Desuso Utilizando Pirólisis por Microondas.

Según [24] la sociedad técnica para pruebas y materiales (ASTM) ha proporcionado normas para el análisis de residuos generados por procesos térmicos desde 1990. Los cambios más importantes se han presentado en las dos principales normas para el análisis de residuos líquidos inflamables ASTM E 1387 y ASTM E 1618 para cromatografía de gases (GC) y espectrometría de gases – espectrometría de masas (GC-MS), respectivamente.

Las normas más representativas para el proceso de caracterización de los combustibles obtenidos en forma térmica son:

Técnica para Cromatografía de gases de pirólisis.

TABLA 9: Normas para caracterizar los gases obtenidos de procesos térmicos

| ASTM D3452 93 |
|---|
| Esta práctica es una guía para la identificación de los polímeros en los cauchos. En esta práctica se identifican los siguientes polímeros: |
| 1. Poliisopreno de origen natural o sintético. |
| 2. Copolímeros de butadieno-estireno. |
| 3. Polibutadieno. |
| 4. Policloropreno. |
| 5. Copolímeros de butadieno-acrilonitrilo. |
| 6. Propileno-etileno copolímeros y terpolímeros relacionados. |
| 7. Copolímeros de isobuteno-isopreno. |

Técnica por espectrometría de masas

TABLA 10: Normas para caracterizar los líquidos obtenidos de procesos térmicos

| ASTM D2549 |
|---|
| La determinación de los tipos de compuestos mediante espectrometría de masas requiere, en algunos casos, una separación preliminar de la muestra representativa del petróleo en compuestos aromáticos y fracciones no aromática. Este método de ensayo proporciona una técnica de separación adecuada para esta aplicación. |
| Este método de ensayo cubre la separación y determinación de compuestos aromáticos y fracciones representativas no aromáticas a partir de mezclas de hidrocarburos que hierven entre 232 y 538 ° C. |

Técnica de Termogravimetría

TABLA 11: Norma para determinar los compuestos del caucho

| ASTM D6370 09 |
|--|
| Este método de ensayo proporciona una técnica termogravimétrica (TGA) para determinar las cantidades de materia orgánica (petróleo, polímeros), negro de humo y cenizas (relleno) en un compuesto de caucho. |

K. Caracterización de los Combustibles Líquidos y Gaseoso Obtenidos de las Llantas en Desuso.

Según [25] se ha tomado muestras representativas de las llantas, estas tienen una sección transversal de 2 – 3 cm de ancho con un peso aproximado de 175 gr, la marca de la llanta utilizada es (Fireston 155R13, F570) para el experimento con pirólisis.

Con el fin de caracterizar los elementos que conforman los neumáticos usados, se preparó una muestra representativa. Se tomó una pieza y se congeló en nitrógeno líquido y posteriormente se molió. Con estas muestras se realizó un análisis termo- gravimétrico TGA con un LECO TGA 500. El % del peso de los principales componentes de las llantas derivados de los resultados TGA se presenta en la Tabla 12.

TABLA 12: Principales componentes de las llantas (% wt) [25]

| Componentes principales de una llanta en desuso (wt. %) | | | |
|---|----------------------------------|------------------------|-------|
| Compuestos orgánicos | | Compuestos inorgánicos | |
| Volátil | No volátil | Acero | Otros |
| (principalmente gomas) | (principalmente negro de carbón) | | |
| 58.8 | 27.7 | 9.6 | 3.9 |

El poder calorífico superior GCV de las muestras de neumático se determinó utilizando un LECO CHN 600 y un LECO SC 132. Los resultados se muestran en la Tabla 13.

TABLA 13: % w elementos que componen las llantas, valor del poder calorífico MJ-1 de la llanta entera (25)

| C | H | N | S | O | Inorgánicos | GCV |
|------|-----|-----|-----|-----|-------------|------|
| 74.2 | 5.8 | 0.3 | 1.5 | 4.7 | 13.5 | 31.8 |

L. Caracterización Experimental de Líquidos. Gases y Sólidos de las Llantas en Desuso.

Caracterización de los líquidos. Según [26] la composición de los líquidos obtenidos de la pirolisis en las llantas se determinó usando LECO CNH 600 y un determinador automático LECO SC 132, el poder calorífico superior GCV utilizando una bomba calorimétrica automática AC 30 LECO. Los líquidos también se analizan por GC/MS (cromatografías de gases/ espectrometrías de masas) en un cromatógrafo de gases Hewlett Packard HP 5890A equipado con una impresora Hewlett Packard 5970A y un detector selectivo de masa.

Caracterización de los gases. Los gases se analizaron a través de cromatografía de gases, utilizando un cromatógrafo de gases konik KNK 3000 HRGC equipado con dos detectores (Detector de conductividad térmica TCD, Konik KNK 019 501, Detector de ionización de llama, FID konik KNK 019 421).

Caracterización de los sólidos. La composición de los elementos, el contenido de cenizas y el poder calorífico del polvo negro de las llantas fueron determinados usando determinadores automáticos. LECO CHN 600, LECO SC 132, LECO TGA 500, LECO AC 300 [26].

III. TRABAJOS FUTUROS

Bajo la revisión de los estados del arte de los procesos térmicos se encontró que en Europa, Asia y Norteamérica se tienen desarrollo tecnológico para la optimización y aprovechamiento de las llantas en desuso, mientras que en Colombia la utilización de este material no biodegradable solo es aprovechable para las suelas de zapatos, para canchas sintéticas y pavimentación; en muy pocas ocasiones en la utilización en los procesos térmicos de las industrias como por ejemplo en el aprovechamiento de los combustibles líquidos y gaseosos que se pueden obtener y caracterizar a partir de dicho material. Por lo tanto, el investigar y generar nuevas tecnologías como procesos térmicos con pirolisis, nos ayudaría a optimizar estos recursos no renovables desde el punto de vista energético y esto contribuiría a disminuir el consumo de energías no renovables como el petróleo y el carbón.

IV. CONCLUSIONES

El crecimiento de la población mundial ha generado un aumento significativo en el aumento de materiales no biodegradables que afectan directamente el medio ambiente y por lo tanto la salud de las personas, las llantas en desuso son un problema de carácter general y la optimización de las mismas es de suma importancia para poder reducir la contaminación y el consumo de combustibles tradicionales.

Existen numerosas técnicas para el tratamiento de las llantas en desuso pero los procesos de tratamiento térmico demuestran una mejor forma para recuperar y optimizar estos elementos no biodegradables, estos procesos presentan las siguientes ventajas:

- El volumen de neumáticos de desecho se puede reducir en más del 90%.
- Los procesos son productores netos de energía con recuperación de material.
- No contaminante y capaz de destruir la mayor parte de las sustancias orgánicas altamente nocivas para la salud humana.

Dentro de los procesos térmicos se caracteriza pirolisis por microondas que un desarrollo que continúa en investigación, el cual presenta las siguientes ventajas. Presenta grandes beneficios desde el ahorro del consumo de energía, en el tiempo de los procesos y el cuidado ambiental.

En comparación con las técnicas tradicionales de calefacción, el calentamiento por microondas tiene las siguientes ventajas:

- Tasa alta de calefacción.
- Contacto directo entre la fuente de calor y el material caliente.
- Se puede lograr un calentamiento selectivo.
- Un mayor control de calentamiento en los procesos de secado.
- Reducción en el tamaño de los equipos y de los residuos.

La caracterización de combustibles líquidos y gaseosos de las llantas en desuso a través de la pirolisis tradicional arroja información muy alentadora sobre el poder calorífico obtenido para uso industrial, en teoría y en forma experimental el poder calorífico superior GVC es muy bueno con fines de uso productivo en forma mundial.

V. REFERENCIAS

- [1] Benallal et al. "Characterization of pyrolytic light naphtha from vacuum pyrolysis of used tyres Comparison with petroleum naphtha". *Fuel*, págs. 1589-1594. 1995.
- [2] Leung & wang. "Kinetic study of scrap tyre pyrolysis and combustion". *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, págs. 153-169. 1998.
- [3] Sharma, V.K y Fortuna, F. "Disposal of waste tyres for energy recovery and safe environment". *Applied Energy*, págs. 381-394. 2000.
- [4] Conesa et al. "Tyre pyrolysis: Evolution of volatile and semivolatile compounds". *Energy and fuel*, págs. 409-418. 2000.
- [5] Jang et al. "Discarded tire recycling practices in the United States, Japan and Korea". *Resources, Conservation and Recycling*, págs. 1-14. 1998.
- [6] Ucar et al. "Evaluation of two different scrap tires as hydrocarbon source by pyrolysis". *Fuel*, págs. 1884-1892. 2005.
- [7] Fang et al. "The status of recycling of waste rubber". *Materials and Design*, págs. 123 - 127. 2001.
- [8] Murillo et al. "The application of thermal processes to valorise waste tyre". *Fuel Processing Technology*, págs. 143 - 147. 2006.
- [9] Amari et al. "Resource recovery from used rubber tires". *Resources Policy*, págs. 179-188. 1999.
- [10] [Unión temporal OCODE LTDA et al. "Diagnóstico ambiental sobre el manejo actual de Llantas y neumáticos usados generados por el parque automotor de Bogotá". [En línea] [Citado el: 01 de Abril de 2010.] www.secretariadeambiente.gov.co/sda/libreria/pdf/.../2-Llantas.pdf.
- [11] Jang et al. "Discarded tire recycling practices in the United States, Japan and Korea". *Resources, Conservation and Recycling*, págs. 14-19. 1998.
- [12] Park et al. "Statistical study of the liquefaction of used rubber tyre in supercritical water". *Fuel*, págs. 999-1003. 1997.
- [13] Sharma et al. "Disposal of waste tyres for energy recovery and safe environment". *Applied Energy*, 65, págs. 381-394. 2000.
- [14] Appleton et al. "Microwave technology for energy-efficient processing of waste". *Applied Energy*, págs. 85-113. 2005.
- [15] Bradbury et al. "A kinetic model for pyrolysis of cellulose". *Polym. Sci*, págs. 3271-3280. 1970.
- [16] Nishixaki et al. "Comparative study of various methods for thermogravimetric analysis of polystyrene degradation". *Polym. Sci*, págs. 25: 2869. 1980.
- [17] Stambach et al. "Pyrolysis of sewage sludge in a fluid& bed". *Energy & Fuels*, págs. 255-259. 1989.
- [18] Wu et al. "On the thermal treatment of plastic mixture of MSW pyrolysis kinetics". *Waste Manage*, págs. 221-235. 1993.
- [19] Sharma et al. "Disposal of waste tyres for energy recovery and safe environment review". *Energy Convers*, págs. 511-528. 1998.
- [20] Jacob et al. "Thermal and non-thermal interaction of microwave radiation with materials". *Journal of Materials Science*, págs. 30(21):5321-7. 1995.
- [21] Metaxas & Meredith . "Industrial Microwave Heating". *Power Engineering Series 4*. Peter Peregrinus ltd (on behalf of the IEE). 1993.
- [22] Tata & Beone. "Hospital waste sterilization—a technical and economic comparison between radiation and microwave treatments". *Radiation Physics and Chemistry*, págs. 46(4-6):1153-7. 1995.
- [23] Jones et al. "Microwave heating applications in environmental engineering". *Resources, Conservation and Recycling*, págs. 75-90. 2002.
- [24] Stauffer, Eric & John, Lentini. "ASTM standards for fire debris analysis: a review". *Forensic Science International* , págs. 63-67. 2003.
- [25] Rodriguez et al. "Pyrolysis of scrap tyres". *Fuel Processing Technology*, págs. 9-22. 2001.
- [26] Torres et al. "Recycling by pyrolysis of thermoset composites: characteristics of the liquid and gaseous fuels obtained". *Fuel*, págs. 897-902. 2000.