



JORNADAS CAUCHO
B O G O T Á 2 0 2 5



JORNADAS RECICLAJE
B O G O T Á 2 0 2 5

**Conferencia: Aspectos técnicos del aceite pirolítico
de caucho con miras a su utilización como combustible
vehicular.**

Ponente: Ing. Felipe Calderón Sáenz

Empresa: Dr. Calderón Asistencia Técnica Agrícola Ltd.

Bogotá, 14 de Noviembre de 2025

calderon@drcalderonlabs.com

1. INTRODUCCION

En la actualidad, la disposición final de las llantas usadas sigue siendo un problema de difícil solución. Entre las múltiples alternativas para esta disposición, (1) se encuentra la trituration para obtener diversos productos de caucho como granulos, polvo y otros que encuentran aplicaciones en la confección de pisos y tapetes para recubrimientos en algun tipo de construcciones. No obstante el potencial de mercado de estas aplicaciones ha resultado ser bastante reducido.

Igualmente en la recuperación de su contenido energético figura su utilización directa como combustible en hornos de cemento, hornos de ceramica y hasta en hornos de fabricación de Panela. Esta ultima aplicación en particular ha tropezado con muchos problemas ambientales por lo cual ha sido prohibida por las

autoridades. La utilización de llantas como combustible directo en hornos compite con la utilización del Carbón y su impulso depende de la relación de precios aumentando cuando el precio del carbón se pone alto y disminuyendo casi hasta desaparecer cuando el precio del carbón térmico baja a niveles normales.

También se ha ensayado el uso del material de llantas reciclado y triturado como aditivo para mezclas asfálticas. Se proclama que esta práctica mejora las propiedades y la durabilidad de las mezclas. Estas bondades no han tenido el suficiente peso como para volverse una práctica generalizada en la fabricación de dichas mezclas.

El aprovechamiento del valor energético de las llantas mediante el proceso de pirólisis se ha visto como una alternativa promisorio, dado el amplísimo o casi infinito mercado para los combustibles que se pueden obtener de dicho proceso, además que se beneficia el acero de las llantas entre otros valores recuperados.

Mediante el proceso de pirólisis se obtiene el así llamado Aceite Piroclítico de llantas, se recupera el acero de refuerzo y queda como residuo una carbonilla mal llamada "Negro de humo", la cual, debido a sus características Físico Químicas, no ha resultado fácil de insertar en ninguna cadena productiva.

El primer producto en generar ingresos de esta operación es el acero de refuerzo, el cual puede ser entre el 10 y el 15 % del peso del material reciclado.

En segundo lugar esta el aceite pirolítico, el cual es un combustible genérico que puede ser utilizado en hornos de diverso tipo o sometido a posteriores procesos de refinación y/o transformación para la obtención de derivados químicos mas valiosos.

Al evaluar las alternativas técnicas, los precios de los derivados y la economía de los procesos con el aceite pirolítico, aparece en primer lugar la posible utilización como combustible vehicular, el cual en general vale en el mercado de 2 a 4 veces mas que el combustible o aceite pirolítico directo.

En esta conferencia estudiaremos las características del Aceite pirolítico de llantas con el fin de prospectar su utilización como combustible vehicular y los procesos de refinación y/o transformación que fuesen necesarios para tal fin.

2. ANTECEDENTES

Como antecedentes de este trabajo tenemos el uso de combustibles vehiculares derivados del plástico, especialmente de Poliolefinas, el cual técnicamente ha demostrado su viabilidad en numerosos países (2).

Dado el espacio de tiempo disponible para esta presentación nos remitimos a los dos videos siguientes sobre el postulado de que una imagen vale mas que mil palabras.

1. [Video Pepsico PPN Previo DrCalderonLabs](#)
2. [Video Resultados Plasticcombustibles 2016 - 2017](#)

3. ESTADO ACTUAL DE LA TECNOLOGIA

En el estado actual de la tecnología lo podemos explorar con base en la experiencia propia y en la informacion bibliográfica.

Las llantas estan compuestas de diversos materiales pero en general obedecen aproximadamente a la siguiente proporción:

Tabla 4. Composición típica porcentual por componentes de un neumático **fuera de uso** (European Tyre Recycling Association, ETRA)

| Componente | Turismos (%) | Vehículos Pesados (%) | Función |
|-----------------------------|--------------|-----------------------|---------------------|
| Caucho y elastómeros | 48 | 45 | Agente vulcanizante |
| Negro de humo | 22 | 22 | |
| Refuerzos metálicos (Acero) | 15 | 25 | Formación esqueleto |
| Refuerzos textiles | 5 | 0 | Formación esqueleto |
| Óxido de Zinc | 1.2 | 2.1 | Catalizador |
| Azufre | 1 | 1 | Agente vulcanizante |
| Aditivos y otros | | | |
| Peso del neumático (kg) | 6.5 – 9 | 55 – 80 | |

Durante la pirólisis, el Caucho y los elastómeros sufren descomposición y dan origen a un líquido combustible conocido como Aceite Pirolítco. Igualmente los refuerzos textiles generalmente compuestos de Poliamidas entre otros.

Los demas materiales tales como el Acero, el Oxido de Zinc, el Negro de humo y otros aditivos minerales quedan en el residuo sólido de la pirólisis constituyendo lo que aquí llamamos “Carbonilla” en algunos casos mal llamada “Negro de Humo” ya que no tiene ni la misma composición y mucho menos la misma estructura, determinante fundamental de la calidad en el Negro de Humo

En general, de la pirólisis de Caucho (Llantas usadas y otros materiales) se obtienen cuatro o cinco productos a saber: 1) Acero de refuerzo. 2) Brea o Tar. 3) Aceite pirolítco. 4) Gases combustibles y 5) Carbonilla residual.

El proceso básicamente consiste en introducir las llantas en un horno rotatorio cerrado, confinarlas sin acceso del aire y empezar a calentar externamente el horno. Con el aumento de temperatura, alrededor de 300 °C se empiezan a producir reacciones de cracking térmico y a desprender productos en forma de vapores volátiles de menor peso molecular, los cuales son evacuados por la corriente gaseosa y condensados por enfriamiento afuera del reactor. Una vez condensados dan origen a los productos Tar y Aceite Pirolítco y un gas incondensable a temperatura ambiente el cual usualmente se utiliza como combustible en el proceso.

Una planta típica de este proceso puede verse en la siguiente figura:



Planta pirolisis llantas

El Aceite pirolítico se encuentra formado principalmente por compuestos aromáticos de entre 6 hasta 20 carbonos. Entre ellos se encuentran el Limoneno y sus congéneres, compuestos Azufrados, compuestos Nitrogenados y compuestos Clorinados en menor proporción. En general son mezclas extremadamente complejas en las cuales casi ninguno de sus componentes supera el 15 % en masa. De ahí que la sola separación físico química de estos conduce a rendimientos muy bajos haciendo que esta clase de operaciones no sea muy rentable.

Un ejemplo típico de esta composición puede verse en las tablas siguientes (3), (4):

| Name | Formula | Peak area [%] |
|---|---------------------------------|---------------|
| Ethylbenzene | C ₈ H ₁₀ | 12.16 |
| Toluene | C ₇ H ₈ | 10.55 |
| Styrene | C ₈ H ₈ | 8.94 |
| 1,1'-(1,3-Propanediyl)bis-benzene | C ₁₅ H ₁₆ | 2.53 |
| 2,4'-Dimethyl-1,1'-biphenyl | C ₁₄ H ₁₄ | 2.5 |
| Isopropylbenzene | C ₉ H ₁₂ | 2.39 |
| Terphenyl | C ₁₈ H ₁₄ | 2.28 |
| Propylbenzene | C ₉ H ₁₂ | 2.07 |
| α -Methylstyrene | C ₉ H ₁₀ | 1.76 |
| 1-Methyl-2-isopropylbenzene | C ₁₀ H ₁₄ | 1.55 |
| p-Xylene | C ₈ H ₁₀ | 1.36 |
| 4-Methylpyridine | C ₆ H ₇ N | 1.34 |
| 2-Methyl-1,3-butadiene | C ₅ H ₈ | 1.12 |
| 1-(1-Cyclopenten-1,1-cyclopenten-1-yl)naphthalene | C ₁₅ H ₁₄ | 1.12 |
| Benzene | C ₆ H ₆ | 1.1 |
| Total | | 52.77 |

Características Fisico-Químicas y Composición química parcial del Aceite Pirolítico de Llantas. (3)

| Parámetro | Unidad | Valor |
|-------------------------------------|-------------------|-------|
| Densidad | g/cm ³ | 0,88 |
| Gravedad API | - | 23,87 |
| Viscosidad | Centipoise | 1,11 |
| Punto de inflamación | °C | 20,5 |
| Punto de congelación | °C | -39,3 |
| Número de Cetano | - | 46,7 |
| Temperatura de destilación del 90 % | °C | 320 |
| Porcentaje de Queroseno | % | 45,4 |

(4)

4. POSIBILIDAD DE UTILIZAR EL ACEITE PIROLITICO DE LLANTAS COMO COMBUSTIBLE VEHICULAR.

Dadas las características Fisico Químicas de este aceite pirolítico donde la gran mayoría de sus componetes son combustibles, surge la posibilidad de ser utilizado como combustible vehicular directo o con un proceso sencillo de refinación y/o transformación química.

Las primeras características de este aceite pirolítico de llantas indican que si podría ser utilizado como aditivo para Diesel vehicular en pequeña proporción. Hay estudios que lo han utilizado al 10 % con buen comportamiento motor.

Algunos estudios (4) concluyen que en proporción del 100 % este no podría ser un reemplazo del diesel comercial.

Se determina que el combustible obtenido en el proceso de pirólisis presenta características similares a las del diésel; pero mediante las pruebas de combustión se establece que este no puede ser un reemplazante directo del diésel comercial.

Otros estudios (5) sugieren que al 10 % o 20 % bien podría ser utilizado pero con algunas restricciones de tipo ambiental aunque con buen desempeño motor.

5. Conclusions

1. A small concentration of TPO in mixtures with HVO (up to ~20%) does not significantly affect the effective fuel consumption or power, but exceeding this limit significantly increases the ignition delay and increases the overall fuel consumption.

Ahora analicemos las características del Aceite Pirolítico a la luz de los requisitos legales para el Diesel vehicular en Colombia.

La calidad del Diesel en Colombia se rige por la resolución 040103 del 7 de Abril de 2021.

De acuerdo con dicha resolución analizaremos cada uno de los parámetros aplicados eventualmente al aceite pirolítico de llantas como prospecto para diesel vehicular

Tabla 3B

Requisitos de calidad del combustible diésel y sus mezclas con biocombustibles

| # | PARÁMETRO ⁽¹⁾ | | UNIDAD | LÍMITES | | MÉTODOS DE ENSAYO |
|---|--|--|---------|----------|--------------------|---|
| | | | | Minimo | Máximo | |
| 1 | Contenido de Azufre ⁽²⁾ | Hasta el 30 de abril de 2021 | mg/kg | -- | 50 | ASTM D5453-19; EN ISO 20846-19 |
| | | A partir del 1 de mayo de 2021 | | -- | 20 | |
| | | A partir del 1 de enero de 2023 | | -- | 15 | |
| | | A partir del 1 de diciembre de 2025 | | -- | 10 | |
| 2 | Contenido de hidrocarburos aromáticos ⁽³⁾ | Hidrocarburos aromáticos totales. | % (m/m) | Reportar | | ASTM D5186-20; ASTM D6591-19; EN 12916-19 |
| | | Hidrocarburos aromáticos policíclicos. | | -- | 8,0 ⁽⁴⁾ | |
| 3 | Número de cetano ⁽⁵⁾ | Hasta el 30 de junio de 2021 | | 45,0 | -- | ASTM D 613-18; EN ISO 5165-17 |

| ... y de los motores y, de las gasolinas básicas y gasolinas oxigenadas con etanol anhidro, combustible para uso en motores de encendido por chispa, y se adoptan otras disposiciones" | | | | | | |
|--|---|-----------------------------|---------------|--------------------------|--------|--|
| # | PARÁMETRO ⁽¹⁾ | | UNIDAD | LÍMITES | | MÉTODOS DE ENSAYO |
| | | | | Mínimo | Máximo | |
| | A partir del 1 de julio de 2021 | | | 48,0 | | |
| 4 | Corrosión a la lámina de cobre (3h a 50°C) | | Clasificación | 2 | | ASTM D130-19 |
| 5 | Color | | ASTM color | -- | 2 | ASTM D1500-12 |
| 6 | Residuo carbonoso (sobre 10% fondos) | | % (m/m) | -- | 0,20 | ASTM D524-15; EN ISO 10370-14; ASTM D4530-15 |
| 7 | Densidad (a 15 °C) | | kg/m3 | Reportar | | ASTM D1298-12; ASTM D4052-18; EN ISO 3675-98; EN ISO 12185-96 |
| 8 | Viscosidad (a 40°C) | | mm²/s | 1,9 | 4,5 | ASTM D445-19; EN ISO 3104-96 |
| 9 | Temperatura de destilación | Punto inicial de ebullición | °C | Reportar | | ASTM D86-20; EN ISO 3405-19 |
| | | 50 % volumen recobrado | | Reportar | | |
| | | 90 % volumen recobrado | | Reportar | | |
| | | 95% volumen recobrado | | 282 | 370 | |
| | | Punto final de ebullición | | -- | 390 | |
| 10 | Contenido de agua ⁽⁶⁾ | | %vol | -- | 0,05 | ASTM D6304-16; EN ISO 12937-00; ASTM D2709-16 |
| 11 | Contaminación total ⁽⁷⁾ | | mg/kg | -- | 24 | EN 12662-14; ASTM D7321-18 |
| 12 | Punto de obstrucción de filtro en frio (POFF) | | °C | -- | +5 | ASTM D6371-14; EN 116-15 |
| 13 | Punto de nube/ enturbiamiento | | °C | Reportar | | ASTM D 2500-17; ISO 3015-19 |
| 14 | Punto de inflamación | | °C | 52,0 | -- | ASTM D93-20; EN 2719-16 |
| 15 | Contenido de cenizas | | % (m/m) | -- | 0,010 | ASTM D482-19; EN ISO 6245-02 |
| 16 | Conductividad ⁽⁸⁾ | | pS/m | 100 | -- | ASTM D2624-15; ASTM D4308-13 |
| 17 | Lubricidad, diámetro corregido de la huella de desgaste (wsd 1,4) a 60°C ⁽⁹⁾ | | µm | -- | 450 | ASTM D6079-18; EN ISO 12156-18 |
| 18 | Estabilidad a la oxidación ⁽⁹⁾ ⁽¹⁰⁾ | | g/m³ | -- | 25 | EN ISO 12205-96; ASTM D7462-11; ASTM D 2274-14 |
| | | | H | Reportar ⁽¹⁰⁾ | | EN 15751-14 |
| 19 | Filtrabilidad ⁽¹¹⁾ ⁽¹²⁾ | | S | -- | 360 | ASTM D7501-18 ASTM D2068-20 |

4.1. Contenido de Azufre

Este es uno de los aspectos mas críticos para que el Aceite Pirolítico de llantas cumpla con los requisitos exigidos para diesel vehicular. El aceite pirolítico de llantas llega a contener entre 0.5 y 1.5 % e Azufre

Hace 50 años, el diesel podía contener hasta 10.000 ppm de Azufre (1.0 %). Y olía a “pajuela” en el transporte público masivo, causando problemas de salud. Sin embargo

los motores funcionaban, posiblemente con problemas de deterioro por corrosión mas acelerados que en la actualidad.

Se han realizado estudios de desulfuración por varias rutas químicas como la Hidrodesulfuración que es bastante buena para los compuestos alifáticos pero mala para compuestos aromáticos congéneres del Tiofeno los cuales en el aceite pirolítico de llantas pueden representar mas del 70 % del contenido de azufre.

Para este propósito ha sido mejor la Des-Sulfuración Oxidativa ODS, la cual ya se encuentra en práctica en Colombia (6)

4.2. Contenido de Aromáticos Policíclicos HAP

De acuerdo con (4) El porcentaje de volumen de los seis HAP's analizados corresponde al 1,49% del combustible líquido.

Tabla 4. Concentración de HAP's en el combustible

| HAP's | Concentración ppm | % v/v |
|----------------------------|----------------------|------------|
| Fluoranteno | 6089,48 | 0,61 |
| Benzo (b) fluoranteno | 441,04 | 0,05 |
| Benzo (k) fluoranteno | 0 | 0 |
| Benzo (a) pireno | 4892,56 | 0,49 |
| Indeno (1,2,3,-c,d) pireno | 2100,6 | 0,21 |
| Benzo (ghi) perileno | 1376,31 | 0,14 |
| TOTAL | 14900 | 1,5 |

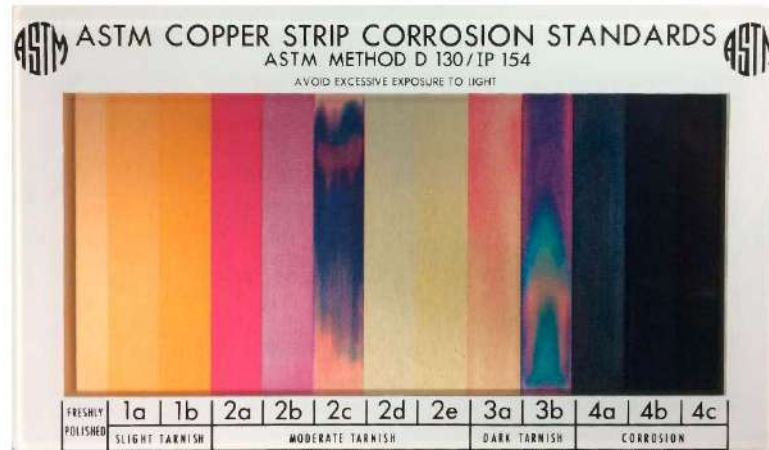
En este orden de ideas, un aceite pirolítico de llantas pasaría los requisitos exigidos por la resolución 040103. Sin embargo, dada la peligrosidad ambiental y sanitaria que conllevan los HAPs. debemos ser prudentes y obtener un mayor volumen de información a este respecto antes de generalizar su aceptación.

4.3. Número Cetano.

Esta es una propiedad del Diesel, que afecta el funcionamiento del motor. En el aceite pirolítico de llantas, el número Cetano es relativamente bajo, alrededor de 46 (3). No obstante este es un factor que si bien afecta el funcionamiento del motor, es relativamente facil de corregir mediante mezclas con materiales de alto Cetano como los aceites pirolíticos derivados de la pirólisis de plásticos (Poliolefinas).

4.4. Corrosión a la lámina de Cobre

La resolución mencionada establece como punto para este parámetro un valor máximo de 2.

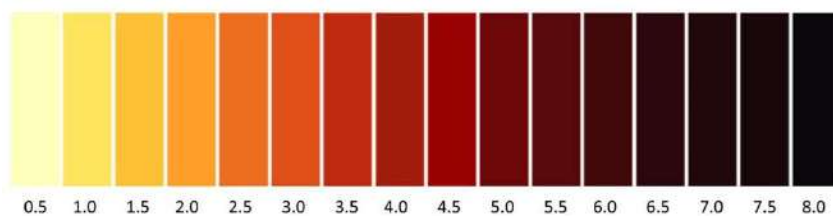


Escala de corrosión al Cobre

Este parámetro posiblemente estaría afectado por el altísimo contenido de Azufre, el cual es un elemento relativamente agresivo para el cobre. Habría que verificarlo específicamente. Pero me parece probable que el resultado de esta prueba esté por los lados del 4c.

4.5. Color

La resolución 040103 establece que el color del Diesel vehicular deberá ser máximo 2.0



Demonstrative ASTM D1500 color scale

El Aceite pirolítico de llantas no cumpliría con este parámetro ya que su color se encuentra entre 6 y 8 en la escala ASTM D1500. Sin embargo, esto nos parece irrelevante tanto desde el punto de vista ambiental como del funcionamiento del motor.

Hay que tener en cuenta que aquí se trata de color verdadero y no de color aparente por material en suspensión. Es muy común en el aceite pirolítico de llantas la presencia de carbonilla en suspensión, la cual le confiere un color casi negro.

4.6. Residuo Carbonoso

El residuo carbonoso (Carbon Conradson, o Carbón Micro) sobre 10 % de fondos posiblemente no lo cumplen la mayoría de aceites pirolíticos crudos de llantas debido a su contaminación con carbonilla del proceso. Mediante una refinación simple con una torre de rectificación o en una destilación fraccionada se eliminaría casi la totalidad de este residuo y pasaría las especificaciones de esta resolución

4.7. Densidad

No es relevante para este propósito. Usualmente la densidad del aceite pirolítico crudo de llantas cae alrededor de 0.9 g/ml

Fecha
Análisis de Combustibles No.
Muestra:
Cliente:
Otros Datos:

18 de agosto de 2016

Curva de Destilación ASTM D-86

| | Temperatura | AET* | Observación |
|---------|-------------|-------------|-------------|
| | a P. Actual | a 760 mm Hg | |
| Volumen | | | |
| 0 | 63 | 74.2 | |
| 5 | 118 | 130.4 | |
| 10 | 138 | 150.8 | |
| 15 | 151 | 164.0 | |
| 20 | 166 | 179.3 | |
| 25 | 180 | 193.6 | |
| 30 | 192 | 205.8 | |
| 35 | 209 | 223.1 | |
| 40 | 225 | 239.4 | |
| 45 | 243 | 257.7 | |
| 50 | 260 | 274.9 | |
| 55 | 279 | 294.2 | |
| 60 | 295 | 310.4 | |
| 65 | 311 | 326.7 | |
| 70 | 326 | 341.9 | |
| 75 | 339 | 355.0 | |
| 80 | 353 | 369.2 | |
| 85 | 368 | 384.4 | |
| 90 | 381 | 397.5 | |
| 95 | 390 | 406.6 | |
| 100 | 0 | | |

* Incluida la Corrección AET por Kw

| | |
|-----------------------|--------|
| P. Actual; mmHg | 560 |
| Densidad Actual; g/ml | 0.8964 |
| Temp. Actual; °C | 22 |
| Residuo; g | 0 |
| Parafina en Cond.; g | 0 |

| | |
|--------------------------------|--------|
| Densidad Relativa 15.6/15.6° C | 0.9005 |
| Grado API; ° API | 25.6 |
| Viscosidad a 21.5°C; cSt. | 2.58 |
| Índice Cetano; # | 34.5 |
| Flash Point; ASTM D-93; °C | -10 |

Índice de Caracterización, Kuop;

Temperatura Media Ponderada en Volumen

| | Actual | AET |
|---------------------|--------|--------|
| TMPV, ASTM D-86; °C | 259.75 | 273.13 |
| TMPV, TBP; °C | 259.67 | 273.08 |
| Kuop | 10.95 | 11.04 |

Escala Kuop;

10 Aromático; 11 Nafténico; 12 Mixto; 13 Parafínico

Correcciones Según ASTM D-2892

| | |
|-----------------------|----------|
| Factor A en Corr. AET | 0.001384 |
| Corr. AET por Kw; °C | 1.40 |

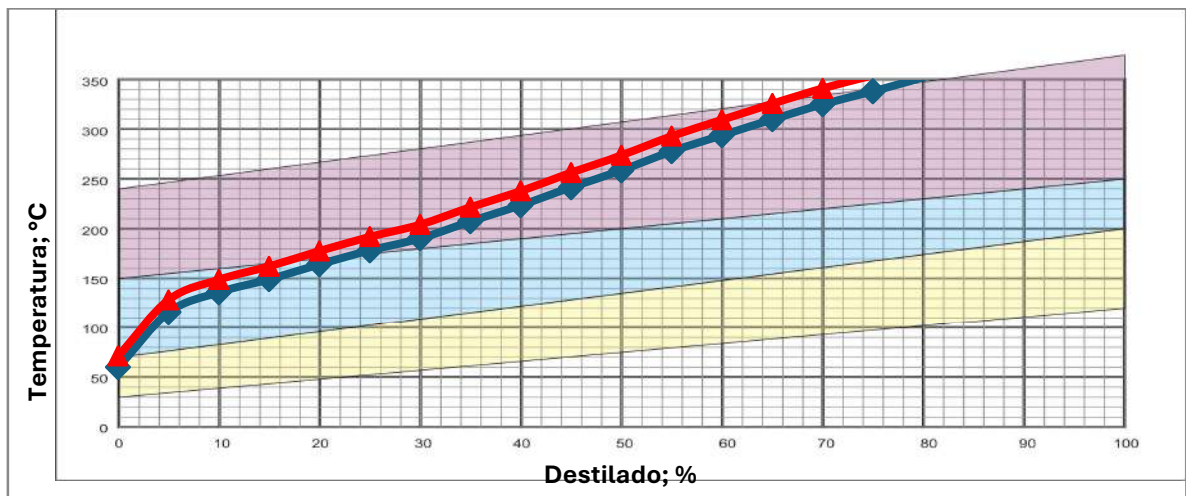
4.8. Viscosidad

La viscosidad entre 1.9 y 4.5 mm/s se cumple perfectamente con el aceite Pirolítico de llantas. Un valor típico de esta propiedad es de 2.58 cSt. (mm²/seg).

4.9. Temperatura de destilación

Esta propiedad esta relacionada con la volatilidad del combustible y su evaporación dentro del cilindro motor a la temperatura de compresión adiabática que se da en los motores diesel.

La norma 040103 establece que para un volumen recuperado del 95 % la temperatura debrá estar comprendida entre 282 °C y 370 °C y que el punto final deberá ser máximo 390 °C



Curva de destilación típica de un aceite crudo pirolítico de llantas. Fuente: El Autor

Para el aceite pirolítico crudo tenemos que esta propiedad no se cumple por poco. Pero puede ser fácilmente ajustada con una recuperación alrededor del 82 % en destilación fraccionada haciendo los cortes respectivos según el punto de ebullición del crudo en ese intervalo de temperaturas.

4.10. Contenido de agua

El Contenido de agua se puede controlar mediante la destilación fraccionada. Así que este parámetro ni es relevante para esta discusión.

4.11. Contaminación total

Este parámetro hace referencia a impurezas sólidas que pueden estar presentes en fondos o en suspensión. La destilación fraccionada tiende a eliminar estos posibles contaminantes.

4.12. Punto de obstrucción de Filtro en Frío

Este parámetro hace referencia a la obstrucción de los sistemas de filtración, los cuales son extremadamente susceptibles a la presencia de resinas y/o Parafinas.

En el caso de aceite pirolítico de llantas, prácticamente no existen Parafinas.. Así que este parámetro se cumple sin mayores precauciones. Hay que tener cuidado con las repolimerizaciones, especialmente de los aromáticos ramificados que incluyen dobles enlaces terminales como el Estireno Monómero el cual es bastante susceptible a la repolimerización generando problemas de obstrucción de filtros y depósitos de gomas en los sistemas de inyección. Estas repolimerizaciones y gomas que se forman no solo presentan problemas de obstrucción de Filtros sino que presentan problemas de deposición de carbón en los sistemas de admisión y las válvulas de los cilindros amen de obstrucciones en los inyectores de combustible.

Pero el punto de obstrucción de filtro frío se refiere básicamente a la temperatura a la cual empiezan a precipitarse y/o cristalizar las parafinas presentes. Este es un problema especialmente relevante en el caso de aceite pirolítico de poliolefinas las cuales tienden a formar parafinas lineales sólidas a temperatura ambiente.

4.13. Punto de Enturbiamiento (o Punto de Nube).

Este parámetro está relacionado con el anterior, y es la temperatura a la cual empieza la cristalización de las parafinas y/o resinas presentes. En el aceite pirolítico de llantas este no presenta ningún problema.

4.14. Punto de Inflamación.

Este parámetro es importante desde el punto de vista de riesgo de incendio. Para ello es definido como la temperatura a la cual el combustible produce vapores inflamables. No tiene nada que ver con el funcionamiento del motor y podrían, de no ser por esta norma, utilizarse combustibles de menor punto de inflamación perfectamente en Motores Diesel.

4.15. Contenido de Cenizas

Esta propiedad se puede cumplir ampliamente sobre todo en un destilado con columna de rectificación. No sabemos si se cumple en un aceite Pirolítico Crudo, ya que depende

del sistema de evacuación de gases del Horno de pirólisis donde deberá haber um sistema de “Filtración” que no permita el paso de ceniza o “Carbonilla” flotante.

4.16. Conductividad

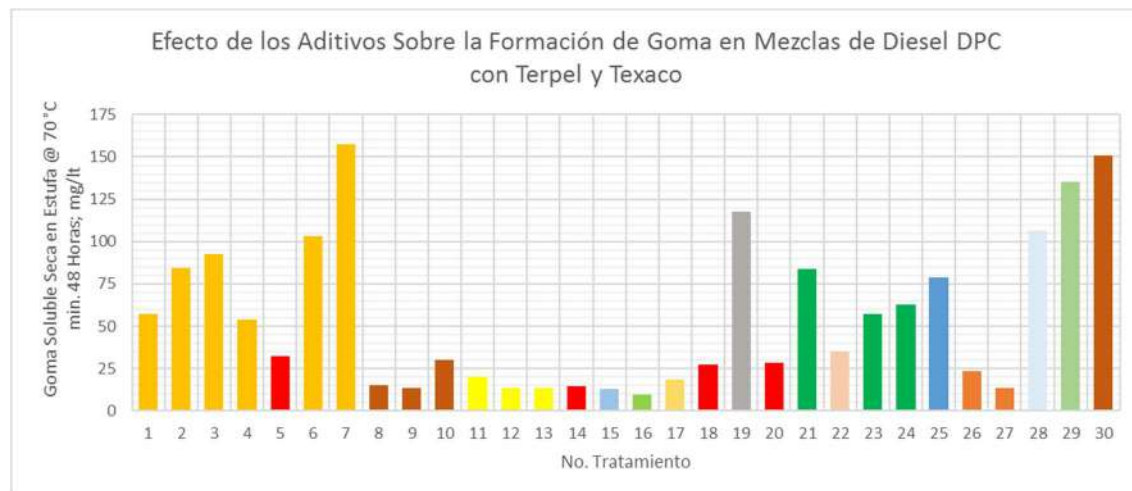
Esta propiedad esta regulada por razones de seguridad en las estaciones de servicio y en los lugares de almacenamiento. Pero no tiene nada que ver con el funcionamiento de los motores. Es para poder detectar con sensores eléctricos cuando se presentan fugas en los tanques

4.17. Lubricidad

En Principio el aceite pirolítico derivado de llantas, no cumple esta propiedad, pero es facil de arreglar mediante aditivación con un poco de biodiesel, por lo general del 2 al 4 %

4.18. Estabilidad a la Oxidación

Esta propiedad la hemos estudiado detenidamente para el Diesel de Plástico. En el diagrama anexo podemos ver los efectos de los diversos tratamientos con aditivos en la formación de goma (Estabilidad a corto plazo) y aunque hay otro tipo de pruebas, esta es muy diciente. La resolución 040105 establece que la formación de gomas deberá ser menor de 25 mg/lt y alli podemos ver que muchos de los aditivos ensayados hacen que el producto cumpla esta condición.



Formación de Goma en Diesel Plasticcombustible mediante pruebas de estabilidad con Aditivos

4.19. Filtrabilidad

Finalmente la filtrabilidad, la cual es una prueba, cuyo resultado depende de la formación de parafinas, resinas o de la presencia gomas y otras partículas insolubles, la puede pasar el Diesel derivado de aceite pirolítico de Llantas destilado. Sin destilar es bastante difícil que pase debido sobretodo a la presencia de material particulado. Una ventaja para el aceite pirolítico de Caucho es que en general no contiene parafinas lineales, que son las más propensas a formar parafinas sólidas a temperatura ambiente en el rango de compuestos C17 en adelante.

5. CONCLUSIONES

Para que el TPO se convierta en una alternativa sostenible e industrialmente aceptable, se requiere una pirólisis eficiente de las llantas, un refinado, por ejemplo, desulfuración, mejora del índice de cetano, mejora de la Lubricidad y mezclas adecuadamente equilibradas con biocarburantes de segunda generación para garantizar suficiente potencia del motor, el cumplimiento de las normas de emisiones y un funcionamiento fiable del sistema de combustible.

Muchas Gracias.

REFERENCIAS

1. Iniciativas Nacionales para el reciclaje de llantas usadas en Colombia; MANUELA VALENTINA VEGA DUEÑAS; Monografía para optar el título de Especialista en Gestión ambiental; FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMERICA; FACULTAD DE EDUCACIÓN PERMANENTE Y AVANZADA; ESPECIALIZACIÓN GESTIÓN AMBIENTAL; BOGOTÁ D.C.; 2020
2. La Producción de Combustibles Vehiculares a partir de Plásticos de deshecho; [ShopUi](#)
3. Chwist, Mariusz. (2022). Comparative analysis of heat release in a reciprocating engine powered by a regular fuel with pyrolysis oil addition. Combustion Engines. 190. 10.19206/CE-146694.
4. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE COMBUSTIBLES LÍQUIDOS OBTENIDOS EN EL PROCESO DE PIROLISIS DE CAUCHO VULCANIZADO; Myriam Mancheno¹ mmancheno@ups.edu.ec; Pablo Arévalo; Jhison Romero; Inés Malo; Damian Matute; Ricardo Ramos⁶; Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. Recibido: 13 de Marzo de 2017; Aprobado: 18 de Abril de 2017; 2017. Universidad Politécnica Salesiana.

5. Mickevičius, T.; Dudziak, A.; Matijošius, J.; Rimkus, A.; Evaluation of Tire Pyrolysis Oil–HVO Blends as Alternative Diesel Fuels: Lubricity, Engine Performance, and Emission Impacts. *Energies* 2025, 18; 389. <https://doi.org/10.3390/en18164389>
6. ODS EN FASE GASEOSA DE ACEITES PIROLÍTICOS DE CAUCHO DE LLANTAS; Evaluación de catalizadores para la reacción de desulfuración oxidativa en fase gaseosa de aceites pirolíticos obtenidos a partir de caucho de llantas; Karol Vanessa Sandoval Quiñonez Universidad Industrial de Santander; Facultad de Ingenierías Físicoquímicas; Escuela de Ingeniería Química; Maestría en Ingeniería Química; Bucaramanga; 2024
7. Desulfurization of Pyrolytic Fuels by Adsorption and Oxidation. Victor Pretell, MSc1; Williams Ramos, MSc1 , Herbert Manrique, MSc1 , and Cesar Lujan, MSc1; Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, vpretellh@uni.edu.pe; wramosv@uni.edu.pe, hmanrique@uni.edu.pe; clujan@fip.uni.edu.pe