

## Tech Note: Techniques of recycling rubber styrene butadiene (SBR)

Ibelise Peña, Natasha Tellería–Mata\*, Magaly Henríquez  
Centro Nacional de Tecnología Química, Caracas, Venezuela.

### Abstract

The alarming increase of tires worn every year around the world and its impact on the surrounding environment, generates the need to visualize alternatives for recycling and reuse that reduce the negative consequences derived from its accumulation. In this sense, an investigation was carried out using the methodology of technological surveillance, by means of the construction of a strategy through a search in PatentInspiration and The Lens patent search platforms. After an analysis of the documents obtained, three (03) patents were selected that describe key results in the recovery of these polluting tires and their separation into different components that serve as raw material in the production of other products of common or industrial use as fuel oil, gas, steel, bitumen, coal or even the use of granulated tire as a vulcanization activator for new tires with reduced zinc oxide content.

**Keywords:** SBR; estyrene butadiene rubber; tire; recycling; recovery.

## Nota técnica: Tecnologías de reciclaje de caucho estireno butadieno (SBR)

### Resumen

El incremento alarmante de neumáticos gastados cada año en todo el mundo y su impacto en el ambiente circundante, genera la necesidad de visualizar alternativas de reciclaje y reuso que disminuyan las consecuencias negativas derivadas de su acumulación. En ese sentido, se llevó a cabo una investigación utilizando la metodología de vigilancia tecnológica, mediante la construcción de una estrategia de búsqueda en las plataformas de patentes PatentInspiration y The Lens. Luego de un análisis de los documentos obtenidos, se seleccionaron tres (03) patentes que describen resultados claves en la recuperación de estos neumáticos contaminantes y su separación en diferentes componentes que sirven como materia prima en la elaboración de otros productos de uso común o industrial como fuel oil, gas, acero, betunes, carbón o incluso el uso de neumático granulado como activador de vulcanización para nuevos neumáticos con contenido reducido de óxido de zinc.

**Palabras clave:** SBR; caucho estireno butadieno; neumático; reciclaje; recuperación.

Recibido: enero 2019;

Aceptado: junio 2019.

Autor para correspondencia: N. Tellería–Mata e–mail: publicacionesgpidi.cntq@gmail.com

### 1. Introducción

A lo largo del presente año, unos mil millones de neumáticos quedarán fuera de uso en todo el

planeta, lo que representa alrededor de 25 millones de toneladas. Sólo el 70 % de dicha cantidad se recuperará, de allí el 50 % será objeto de reciclaje y el 20 % restante se convertirá en energía; el

otro 30 %, es decir, 6 millones de toneladas, serán destinados en vertederos o quemados. La acumulación incontrolada en los vertederos a cielo abierto, es además causante de deterioro al ambiente y a la salud humana debido a que los neumáticos desechados sirven de refugio para el agua estancada, facilitando la proliferación de zancudos transmisores de enfermedades como el dengue, zika, chicungunya, entre otros. Igualmente, la quema sin control, al aire libre, implica problemas medioambientales y sociales porque emiten grandes cantidades de partículas y gases con una carga importante de hidrocarburos aromáticos policíclicos los cuales son compuestos cancerígenos, aumentando la toxicidad de la carbonilla liberada.

La fabricación de neumáticos y de otros productos de caucho involucra procesos de vulcanización, una reacción irreversible entre el co-polímero estireno-butadieno, el azufre y otras sustancias químicas que forman la reticulación entre la cadena molecular del elastómero, generando una red química tridimensional. Los elastómeros reticulados son sólidos, insolubles y son materiales termoestables infundibles. Condiciones que han limitado el re-procesamiento y reciclaje de neumáticos usados en la fabricación de productos nuevos que cumplan con las características de calidad y desempeño necesarias para su incorporación en automóviles.

Goodyear, quién inventó el proceso de vulcanización hace más de 160 años, fue el primero que inició los esfuerzos para reciclar los desechos de caucho curado a través del método de la molienda. Incluso después de algunos años de esfuerzo en reciclaje, continúa el desarrollo de una tecnología adecuada para utilizar caucho desechado.

Los neumáticos desechados fabricados a partir de gomas de alta calidad, como la goma estireno-butadieno (SBR, por sus siglas en inglés), representan una fuente de gran potencial para la industria del caucho. Sin embargo, el proceso de reciclaje de estos elementos se ha mantenido a baja escala debido a: i) estrictos requerimientos para la calidad de artículos de goma, y por lo tanto del caucho recuperado; ii) la sustitución de caucho crudo por otros materiales en la formulación de nuevos productos, por ejemplo plástico en algunos casos y iii) los crecientes costos de recuperación de neumáticos desechados debido a las más estrictas

regulaciones de protección ambiental, es decir, elaborar neumáticos a partir de caucho reciclado que se ajusten a las normativas del ambiente incrementa costos en el proceso de su recuperación, ya que para cubrir dichas exigencias, los cauchos deben tener cierta calidad y a su vez las tecnologías, método y equipos para recuperarlos y obtener nuevos o derivados a partir de ellos, deben ser más afinados. Por otro lado, el incremento en las restricciones de las leyes exige la búsqueda de métodos económicos y ambientales para el reciclaje, resultando en la implementación de continuas políticas agresivas de la industria automotriz que apuntan al incremento del reciclado de plásticos y materiales de caucho usado [1].

Existen empresas en Venezuela que aprovechan el residuo gastado, mediante procesos de separación mecánica, para la obtención de productos textiles, metálicos y gomas. Sin embargo, ante la disminución abrupta de la oferta de neumáticos para el parque automotor venezolano, motivado por la disminución de la capacidad de producción de la industria del caucho en el país y de la disponibilidad de divisas para su importación, es necesaria la búsqueda de alternativas tecnológicas que permitan aprovechar los componentes presentes en los neumáticos usados, para re-insertarlos en el proceso productivo de cauchos nuevos o insumos interesantes para la industria nacional en general.

En ese sentido, este trabajo presenta tres (03) tecnologías que permiten reciclar neumáticos de una manera más óptima, aprovechando los componentes de la constitución del mismo o utilizándolo como materia prima, para la fabricación de nuevos neumáticos y otros materiales e incluso, el uso directo de los componentes separados como el acero, cenizas de carbón, fuel oil, entre otros; todo en un proceso amigable al medio ambiente y con recursos económicos accesibles que hagan posible su ejecución.

## 2. Alcance y metodología

Este trabajo está basado en una búsqueda avanzada y análisis de patentes, en las plataformas de búsqueda a nivel mundial PatentInspiration, Google Patents y The Lens, además se revisaron

noticias y material bibliográfico complementario. Se realizó una primera búsqueda en la plataforma PatentInspiration, utilizando la ecuación

**(“RECYCLING TECHNOLOGY” OR  
“ALTERNATIVE RECYCLING” OR  
RECOVERY\* OR  
BIOREMEDIATION\*)  
AND  
 (“STYRENE BUTADIENE RUBBER” OR  
“WASTE RUBBER” OR TIRE)  
AND  
(AUTOMOBILE OR CAR),**

en los campos título y resumen sólo de las patentes otorgadas, aplicando los filtros una patente por familia y excluyendo los documentos que presentaran título o resumen vacío. Por otro lado, se realizaron dos búsquedas utilizando términos en español. En la plataforma PatentInspiration, se aplicó la ecuación

**RECICLAJE  
AND  
(CAUCHO OR NEUMATICO)  
AND  
(USADO OR “ESTIRENO BUTADIENO”)**

Mientras que, para la plataforma The Lens la estrategia y aplicación de términos en la ecuación de búsqueda cambia a

**RECICLAJE  
AND  
((CAUCHO OR NEUMATICO)  
AND  
(USADO OR (ESTIRENO  
BUTADIENO))).**

Los documentos fueron almacenados, clasificados y analizados, seleccionando las patentes que describieran equipos, método de separación, productos obtenidos y sus aplicaciones directas en la industria utilizando como materia prima que alimenta al sistema, neumáticos enteros fabricados con la goma de SBR y aplicable a cualquier otro tipo de caucho.

### 3. Discusión y Resultados

El análisis de los resultados obtenidos al aplicar las tres estrategias de búsqueda descritas, evidencia

que la mayoría de patentes publicadas describen los equipos para separar el neumático, optimización de tecnologías de separación de componentes o el uso de neumáticos reutilizados en otras aplicaciones como jardinería, mesas, sillas, equipos de señalización, relleno de pavimento, recubrimiento de canchas deportivas, mesas, equipos de señalización de tránsito entre otros. Las tecnologías muestran separación sólo mecánica o química como procesos no amigables al medio ambiente, uso de equipos y reactivos con grandes costos económicos.

La primera búsqueda en PatentInspiration, resultó en un universo de 46 solicitudes y concesiones de patentes, de las cuales, siguiendo el criterio establecido en la metodología, se seleccionó una patente otorgada en el año 2014 (US8802906B2), donde describen detalladamente los equipos utilizados para la separación, productos obtenidos y aplicación individual de los mismos.

Como es de esperar, las búsquedas de términos en español resultaron en una menor cantidad de documentos, específicamente, siete (07) patentes en la plataforma PatentInspiration y cuarenta y cinco (45) patentes en la plataforma The Lens, de las cuales se escogieron dos (02) publicaciones, siguiendo el mismo criterio para la selección de tecnología. De la primera plataforma se recuperó una patente (ES2226192T3) que describe un método sencillo utilizando neumáticos elaborados con caucho SBR a temperatura y presiones bajas así como reactivos de alcance en Venezuela y las aplicaciones de sus componentes separados. La tercera y última tecnología, explica resultados importantes del caucho SBR granulado como activador y sustituyendo el óxido de zinc altamente contaminante en la reacción de vulcanización con azufre en los neumáticos.

#### Reciclaje de caucho para la recuperación de energía

En 2014, según la patente US8802906B2 “Método de Recuperación de Energía” [2] se describe un aparato, sistema y método que consiste en utilizar neumáticos de automóviles o camiones completos para formar paquetes de neumáticos alineados axialmente, formando una estructura cilíndrica, unidos entre sí, con tiras o cables metálicos o cualquier otro material no combustible. Uno o varios de estos

paquetes se colocan en una bandeja, receptáculo o carrito móvil, el cual se introduce en una cámara de pirólisis y se sella herméticamente. Se calienta con una fuente externa que consiste en uno o mas quemadores de gas natural, a una temperatura externa de 427–704 °C e interna de 260–704 °C hasta alcanzar la vaporización, una vez alcanzada esta temperatura, se apaga la fuente de calor y las estructuras cilíndricas se dejan enfriar hasta 66 °C. Los vapores generados salen de la cámara en una línea cerrada, mediante un sistema de ventilación y fluyen por gravedad a través de varias placas horizontales de un condensador enfriadas con agua, obteniendo fuel oil con un valor de 17.700 BTU, que contiene naftas ligeras y pesadas, combustible diesel, gasolina y otros hidrocarburos. Esta mezcla es aproximadamente equivalente al aceite de corte #6 y se puede usar como combustible para barcos y como alimentación del pool de diesel crudo y queroseno.

El oxígeno existente se agota o expulsa, favoreciendo que los restos de neumáticos no se quemen sino que se reduzcan a una masa con una pureza de 90–92 % de carbono más acero, el cual se recupera fácilmente de la masa de ceniza mediante el uso de magnetismo o de filtros gruesos y se vende como chatarra de acero, 5 % de ceniza como producto útil de alimentación para las acerías y 2 % carbono orgánico volátil. Los vapores gaseosos restantes constituyen el gas natural que se captura, comprime y almacena en otro recipiente, pudiendo utilizarse como gas natural comercial o para proporcionar calor a la cámara de pirólisis para el procesamiento de más neumáticos, generando una ganancia neta de energía dentro de este sistema.

El acero y carbono recuperados también son materias primas útiles para otros procesos, inclusive se puede vender como carbón grueso.

Se pueden utilizar neumáticos empacados, cortados o triturados pero se ha encontrado que se obtiene menos transferencia de calor que enteros.

Se ha reportado que el rendimiento del proceso es de 50 % en aceite, 35 % en carbón, 10 y 15 % en acero y 0–5 % en gas natural, este último con un valor de BTU 1.280 húmedo y 1.303 seco, y el gas natural contiene etano, propano y butano. No produce emisiones ni genera residuos para transferir a un relleno sanitario, ya que el acero y la

cenizas se reciclan. La calidad de los subproductos obtenidos depende de la calidad de alimentación de los neumáticos.

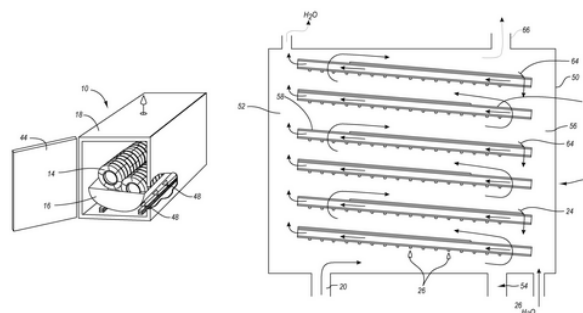


Figura 1: Cámara de Pirólisis y sistema de placas del condensador

Fuente: Thompson, D. [2].

En la Figura1 se visualiza la cámara de pirólisis, los neumáticos enteros alineados, la bandeja de soporte de los mismos y la conformación de placas horizontales del condensador como las salidas de agua, entrada de ventilación y la salida hacia el tubo de condensador donde se recolecta el fuel oil.

### Proceso de separación de los componentes de cauchos neumáticos usados

La patente ES2226192T3 “Procedimiento e instalación para la separación de componentes de neumáticos usados” [3], publicada en 2005, muestra un proceso para el tratamiento de desechos de caucho vulcanizado, en particular de neumáticos usados de cualquier tamaño y naturaleza u otros objetos usados de caucho, tales como botas o correas transportadoras.

El proceso mostrado en la Figura2 comprende las siguientes etapas (los números entre paréntesis de las etapas corresponden a los indicados en la Figura).

Los desechos de caucho vulcanizado, reforzado o sin reforzar, son reducidos de tamaño mediante corte con ayuda de una cizalla (14), preferiblemente del tipo guillotina, provista de cuchillas enjaretadas para obtener trozos de 10 a 25 cm de longitud, con el único objetivo de disminuir el volumen del material y facilitar así la manipulación durante el proceso de tratamiento. Los residuos de cauchos cortados

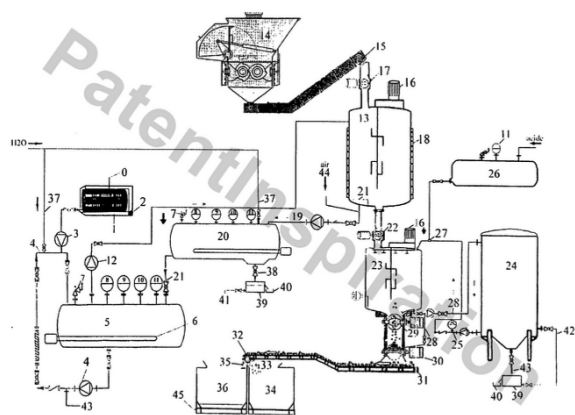


Figura 2: Sistema de equipos utilizados para separar los componentes del Neumático

Fuente: Debailleul, G. [3].

se dirigen al reactor (13) por el transportador de cadena (15).

En el horno (1) se introduce un barril (0) de hidróxido de sodio (NaOH) cristalizado, dentro del cual se calienta a 380 °C. Una vez licuado se conduce por la bomba (3) al tanque madre (5) y se almacena a 350 °C. El NaOH líquido es transportado al reactor (13), mediante una bomba ubicada en la línea (12), controlando el nivel de líquido de forma que cubra los residuos de cauchos cortados. El reactor se mantiene a una temperatura de 350 °C durante 30 minutos, cuando los materiales son desolarizados. El NaOH restante es evacuado a través del filtro (21), eliminando las partículas mayores a 1mm, por la línea (19) equipada con una bomba, hacia el tanque amortiguador (20).

El tanque amortiguador (20) cuenta con una configuración que permite la decantación y el mantenimiento de la temperatura a 350 °C del líquido cáustico a fin de evitar choques térmicos y los riesgos de cristalización en el tanque (5). El líquido parcialmente decantado se envía a través de la línea (21), lentamente por gravedad, al tanque madre (5). Al NaOH líquido restante en el fondo del tambor (20) se le agregará lentamente agua a través de la línea (37), para obtener una disolución al 40 % evitando la cristalización. Las partículas sólidas son evacuadas al tanque (40), donde se lavan y se colocan en otro tanque como el (36). La solución NaOH al 40 % recuperada en la salida (41), es almacenada en barriles

y comercializada para otro uso o bien introducida al tanque (24) para obtener un agente neutralizador y aumentar así la rentabilidad del procedimiento.

Una vez despojado todo el líquido cáustico del reactor (13), se abre la válvula (22) evacuando por gravedad los materiales remanentes dentro del tanque de neutralización (23), el cual es alimentado por la línea (25) con los líquidos de neutralización obtenidos en el tanque (24) y el ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) procedente del tanque (26) que ha pasado previamente por el bloque de mezcla (27). Los materiales y el líquido son sometidos a un gran proceso de mezclado dentro del tanque de neutralización.

El líquido neutralizado se extrae a través de la línea (28) conectada al fondo del reactor y se transporta directamente al tanque (24) con ayuda de una bomba. Seguidamente, se evacúa el material sólido abriendo la válvula (29) mientras se mantiene cerrada la válvula (30), donde se retiene brevemente el material con la finalidad de extraer el líquido remanente a través de una derivación de la línea (28), provista de un filtro, enviando el líquido limpio al tanque (24). Una vez evacuado el resto del líquido, se abre progresivamente la válvula (30) para liberar el material sólido. Cuando el tanque (24) ha alcanzado el nivel inferior, correspondiente a la salida (42), se abre la válvula y se libera el líquido neutro cargado de partículas sobre una cinta vibradora idéntica a la (39). El líquido se evacúa y se recuperan las partículas.

El sólido se envía, mediante una cinta transportadora (31), hasta la polea magnética (32) situada al final de la cinta. Los metales (33) son depositados en el tanque receptor (34) y los materiales no magnéticos (35), llegan al tanque receptor (36), sobre un primer fondo provisto de un filtro de acero inoxidable con la finalidad de obtener al fondo del tanque un material con un diámetro inferior a 10 micras. El secado del material se consigue mediante el paso del líquido por una tubería lateral (45).

Los metales recuperados son dirigidos hacia la siderurgia. Los demás materiales son friables y se transforman en un polvo fino a la menor presión. La devulcanización no es completa, pero la rotura de ciertos enlaces está asegurada. El carácter friable y la composición polimérica del residuo lo convierten en un material de carga interesante para ser reciclado en la fabricación

de neumáticos, artículos de caucho y otros usos no limitativos, tales como en los betunes y otros recubrimientos.

Para la neutralización, el procedimiento recurre a ácidos, preferiblemente fosfórico. En todo caso es previsible utilizar materiales, tales como soluciones ácidas fosfóricas consideradas como desechos en la industria, disponibles en importantes cantidades. Por consiguiente, el sistema puede considerarse como centro de neutralización para estos ácidos, que constituyen un apreciable aporte económico, reduciendo así el coste del tratamiento principal que es objeto del presente invento.

### Reciclaje de neumático como activador de vulcanización

En 2011, se publicó la patente WO2011/045463A1 “Empleo de caucho de neumático granulado en la vulcanización con Azufre” [4] que describe un novedoso procedimiento de vulcanización con azufre empleando caucho granulado (TC, por sus siglas en inglés) para sustituir el óxido de zinc (ZnO) como activador, evitando la liberación del Zn al medioambiente durante la producción, eliminación y reciclaje de caucho.

El ZnO ha sido clasificado como peligroso para el medioambiente y muy tóxico a largo plazo por sus efectos adversos al medio acuático. Estudios anteriores compararon nanopartículas de ZnO contra el ZnO estándar, mostrando resultados excelentes en la prevulcanización, vulcanización y curado del caucho solo que se debe seguir el estudio por la dispersión presentada y algunas contradicciones de las nanopartículas de ZnO. Otros autores han propuesto de manera interesante la utilización de complejos de Zn, sin embargo aplica a unos tipos de caucho que limita su uso industrial y la información es limitada para esta técnica. Basándose en plantear nuevas vías de reutilización de los neumáticos que terminan en su gran mayoría en vertederos, para reducir su cantidad, re-valorizarlos y minimizar su impacto ambiental, se plantea este novedoso activador de caucho granulado.

El caucho de esta invención puede ser cualquier caucho conocido natural o sintético. Primera-

Tabla 1: Condiciones de Termogravimetría (TG) en atmósfera de N<sub>2</sub> y Aire

Atmósfera	Nitrógeno	Nitrógeno	Aire
Temperatura inicial (°C)	30	550	300
Temperatura final (°C)	550	300	1000
Velocidad de Calentamiento (°C min <sup>-1</sup> )	10	30	10
Flujo de gas (ml min <sup>-1</sup> )	50	50	50

Fuente: Guzmán *et al* [4]

mente se caracterizan las muestras por análisis termogravimétrico en dos etapas, las condiciones experimentales se muestran en la Tabla 1.

Tabla 2: Análisis de TG en atmósfera de N<sub>2</sub>

Muestra	TC 1	TC 2	TC 5
Td1 (°C)	366	376	370
Td2 (°C)	442	447	447
Pérdida de masa 1 (%)	33.2	46.6	36.3
Pérdida de masa 2 (%)	28.1	18.5	27.5
Contenido de caucho (%)	61	65	64
Contenido de NR (phr)	54	72	57
Contenido de SBR (phr)	46	28	43

Fuente: Guzmán *et al* [4]

En la primera se calientan hasta 550 °C en atmósfera de nitrógeno para determinar su contenido y tipo de polímero, como se muestra en la Tabla 2 para tres muestras estudiadas. Finalmente, se deja enfriar a 300 °C.

En la segunda etapa se calienta a 1000 °C en

Tabla 3: Análisis de TG en atmósfera de Aire

Muestra	TC 1	TC 2	TC 5
Td1 (°C)	566	561	553
Td2 (°C)	666	–	589
Pérdida de masa 1 (%)	29.2	30.0	14.2
Pérdida de masa 2 (%)	1.9	–	17.2
Contenido de caucho (%)	61	65	64
Contenido de CB (phr)	51	46	49

Fuente: Guzmán *et al* [4]

atmósfera oxidante y proporciona información sobre las cargas presentes en la mezcla y contenido de negro de humo (CB, por sus siglas en inglés) como se muestra en la Tabla 3.

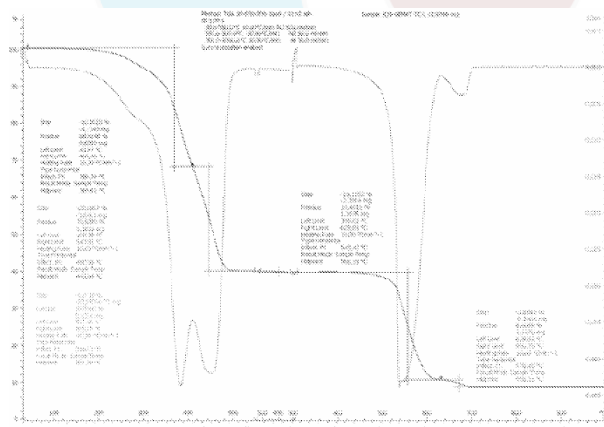


Figura 3: Análisis TG y DTG de TC1

Fuente: Guzmán *et al* [4].

En las Figuras 3, 4 y 5 se pueden visualizar los resultados del análisis termogravimétrico simple y con derivadas, de las 3 muestras, donde se evidencia la aparición de los polímeros caucho natural (NR) y caucho estireno–butadieno (SBR).

Posteriormente, y apoyándose en una formulación de referencia, se trabajó en la reacción de vulca-

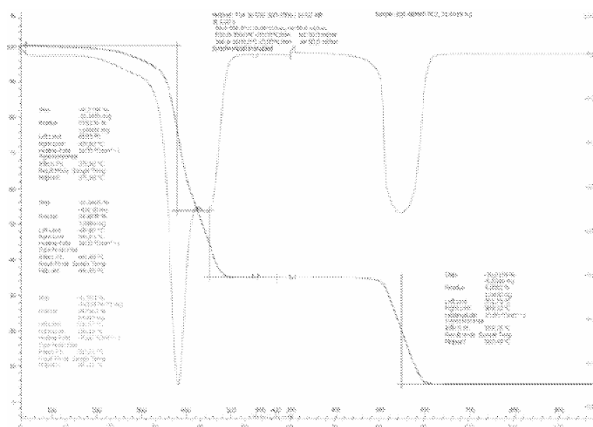


Figura 4: Análisis de TG y DTG de TC2

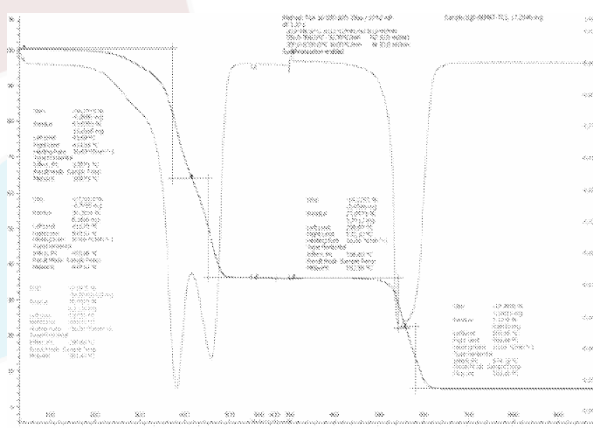
Fuente: Guzmán *et al* [4].

Figura 5: Análisis de TG y DTG de TC5

Fuente: Guzmán *et al* [4].

nización de azufre utilizando la aproximación de vulcanización de compuesto modelo (MVC) con 5 phr de ZnO, 5 phr de tres muestras compuestas con diferentes composiciones de NR y SBR, resumidos en la Tabla 4.

Se utilizó un baño termostático de aceite ajustado a 140 °C. Las mezclas modelo fueron agitadas continuamente para garantizar su homogeneidad en atmósfera de N<sub>2</sub>, evitando la oxidación de los dobles enlaces de escualeno. Durante la reacción, los recipientes se retiraron del baño de aceite a diferentes tiempos y las reacciones fueron rápidamente detenidas en frío. Se utilizaron dos métodos analíticos de HPLC para cubrir dos aspectos del

Tabla 4: Composición de Vulcanización de Compuesto Modelo (escualeno)

Ingredientes	Receta	TC 1 (phr)	TC 2 (phr)	TC 5 (phr)
Escualeno	100	100	100	100
CBS	1.2	1.2	1.2	1.2
Azúfre	2	2	2	2
ZnO	5	–	–	–
TC	–	5	5	5
Ácido esteárico	2	2	2	–

Fuente: Guzmán *et al* [4]

proceso: la desaparición del acelerador (CBS) y la formación de reticulación (entrecruzamiento). También se estudió la descomposición del acelerador (CBS) con respecto a la evolución del azufre y el mercaptobenzotiazol (MBT) para entender las reacciones que tienen lugar durante el tiempo de prevulcanización y antes de la formación de entrecruzamiento.

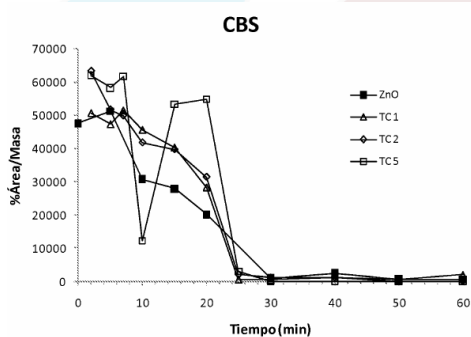


Figura 6: Degradación del acelerador N-Ciclohexilbenzotiazol-2-sulfenamida (CBS) durante la vulcanización con ZnO estándar y TC1, TC2 Y TC5

Fuente: Guzmán *et al* [4].

La degradación de CBS mostrada en la Figura 6, la generación de MBT en el entrecruzamiento observada en la Figura 7, la evolución de escualeno reticulado mostrado en la Figura 8 durante la vulcanización y la velocidad de consumo de azufre en la Figura 9, evidencian que no existen diferencias significativas entre el uso de ZnO y el caucho granulado como activador. La invariabilidad en la cinética de las reacciones demuestran el potencial de esta invención. Por otro lado, cuando se

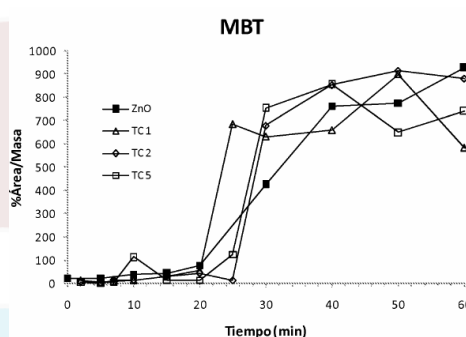


Figura 7: Evolución de mercaptobenzotiazol (MBT) durante la vulcanización con ZnO estándar y TC1, TC2 Y TC5

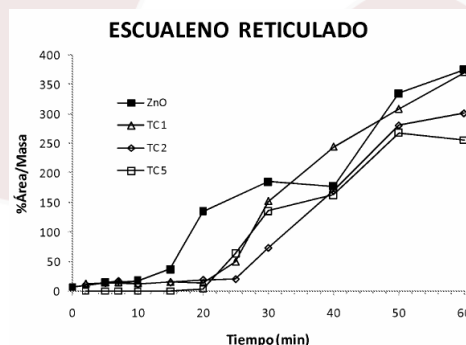
Fuente: Guzmán *et al* [4].

Figura 8: Evolución del escualeno entrecruzado durante la vulcanización con ZnO estándar y TC1, TC2 Y TC5

Fuente: Guzmán *et al* [4].

utilizan las muestras TC se eleva la formación de entrecruzamientos tri-(Sq-S3-Sq) y tetra-(Sq-S4-Sq) sulfídicos mostrados en la Figura 10, resaltando



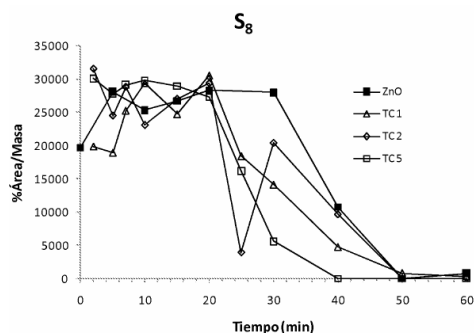


Figura 9: Degradación de azúfre durante la vulcanización con ZnO estándar y TC1, TC2 y TC5

Fuente: Guzmán *et al* [4].

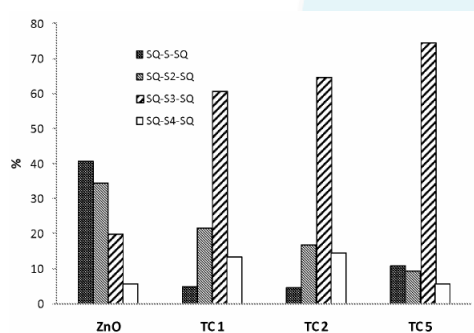


Figura 10: Formación de entrecruzamientos (Sq-S1-Sq), (Sq-S2-Sq), (Sq-S3-Sq), (Sq-S4-Sq)

Fuente: Guzmán *et al* [4].

la capacidad en la eficiencia de la vulcanización con sistemas sulfenamidados.

## 4. Conclusiones

La patente US8802906B2 muestra una tecnología novedosa que implementa el uso de neumáticos enteros usados para obtener fuel oil, carbono, gas natural que alimenta incluso el sistema, cenizas y acero, todos aprovechables como materia prima en otros procesos industriales.

La patente ES2226192T3 describe una metodología que mezcla la trituración mecánica con una separación química por devulcanización en diferentes componentes, utilizando reactivos accesibles y de bajo costo, recuperando metales y demás materiales con amplias aplicaciones industriales.

La patente WO 2011/045463 A1 muestra que la utilización de caucho granulado de neumático como sustituto de ZnO estándar es óptimo en la prevulcanización y vulcanización con azúfre. Presentando una innovación en la utilización de esta materia prima como acelerador a la vulcanización y mostrar una tecnología de reciclaje de cauchos gastados.

## Referencias

- [1] J.E. Mark, B. Erman, and M. Roland. *The science and technology of rubber*. Academic Press, 4th edition, 2013.
- [2] D. Thompson. USOO8802906B2 - Method of recovering energy, 2014.
- [3] G. Debailleul. ES2226192T3 - Procedimiento e instalación para la separación de componentes de neumáticos usados, 2005.
- [4] M. Guzmán, N. Agullo, and S. Borros. WO 2011/045463 A1 - Empleo de caucho de neumático granulado en vulcanización con azúfre, 2011.