

# Modificación de asfalto venezolano AC30 empleando elastómero reciclado y plastómero virgen de producción nacional.

## Modification of AC30 venezuelan asphalt with recycled elastomer and virgin plastomer of national production.

Romero, Alíed; Pereira-Rojas, Juan; Pereira, Juan\*.

Laboratorio de Petróleos, Hidrocarburos y Derivados (PHD), Dpto. de Química, Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología (FACYT). Universidad de Carabobo (UC), Valencia, Venezuela.

[jcpereir@uc.edu.ve](mailto:jcpereir@uc.edu.ve)

### Resumen

*Se ha investigado el efecto de añadir polímero molido sobre asfalto tipo AC30 usando un elastómero reciclado, como polvo de caucho y un polímero virgen tipo plastómero como el PELBD; ambos producidos en Venezuela, representando una alternativa amigable al medioambiente y actualmente disponible. Fue seleccionado el método vía húmeda, fijando condiciones de mezclado para incorporar 5% p/p del polímero y otros aditivos al asfalto caliente AC30. Las muestras de asfaltos modificados fueron caracterizadas de acuerdo a las normas INVIAS (Especificaciones Colombianas), en función a comparar resultados de penetración, ductilidad y punto de ablandamiento, con el asfalto no modificado. La modificación ofrece dureza y resistencia al asfalto para prevenir ahuellamientos, envejecimiento y craqueos a temperaturas elevadas. Fue evidente que la adición de polvo de caucho, modificó las características del asfalto natural AC30 más eficientemente que el plastómero virgen PELBD.*

**Palabras clave:** AC30 (Cemento asfáltico para uso en construcción), elastómero, PELBD (Polietileno lineal de baja densidad), plastómero.

### Abstract

*It has been investigated the effect to add grinding polymer into hot asphalt AC30 using recycled elastomer as ground rubber and virgin plastomer as LLDPE, each one produced in Venezuela, representing an environmental friendly alternative that is nowadays available. It was selected a wet method with steady mixing conditions to add 5% by weight of polymer and other additives with hot asphalt AC30. The samples of modified asphalt were characterized according to INVIAS rules (Colombian specifications), in order to compare some properties as penetration, ductility and softening point, with non-modified asphalt. The modification offer hardness and resistance to avoid sinking, aging and cracking at high temperatures. It was evident that the addition of ground rubber has modified the natural characteristics of asphalt binder AC30 more efficiently than PEBDL virgin plastomer.*

**Keywords:** AC30 (Asphalt Cement for use in construction), elastomer, LLDPE (Linear low density polyethylene), plastomer.

## 1. Introducción

El asfalto convencional, también conocido como bitumen, es un ligante hidrocarbonado obtenido como un material derivado de la refinación del petróleo, que presenta un comportamiento viscoelástico dependiente de la temperatura, además de una elevada estabilidad química. Se emplea a nivel mundial como un componente que ha resultado irremplazable en la construcción de vías de transporte, debido a que brinda la cohesión y aglomeración en las mezclas asfálticas y es el principal responsable de sus propiedades finales. También se les conoce como bitumen de penetración, debido a que es esta la propiedad que define su clasificación como materia prima (Covenin 1670:1997). La Figura 1 describe el proceso de su obtención desde el yacimiento.

Algunos usos comunes incluyen: pavimentos, pistas de aterrizaje, reconstrucción de vías primarias y secundarias, así como emulsiones acuosas para tratamientos superficiales varios. La industria de impermeabilización de techos, tuberías y mantos en general, también se ha visto beneficiada de sus propiedades (Fronjosa y col., 2015).

La aplicación del asfalto ha sido diversificada, debido a que dependiendo de su origen, y de las características químicas e interacciones entre sus componentes, se obtienen propiedades mecánicas, elásticas y fisicoquímicas únicas (Stastna y col., 2015). Esto contribuye en la garantía de la calidad de cada trabajo realizado, el ahorro de costos por mantenimientos a corto plazo, y ofrece sustentabilidad, principalmente a los usuarios. En base a esto, se han llevado a cabo numerosos trabajos de investigación en todos los continentes, ya que definitivamente es una necesidad a nivel mundial, la innovación en el desarrollo de nuevas técnicas de trabajo con asfaltos.

Los asfaltos desde su origen, pueden resultar materiales muy frágiles o más bien muy rígidos, envejecidos, poco dúctiles, con bajas resistencias al impacto y a las deformaciones por clima o tránsito. También pueden resultar poco viscosos y de muy baja adhesividad con los agregados. Estas son las razones por la que se estudian la mejora de sus propiedades, incorporando aditivos modificadores, citando principalmente a los polímeros de diversa naturaleza química (Múniera y col., 2012).

Los polímeros comúnmente se incorporan en dosis entre 3-7%, y normalmente este proceso se realiza como una dispersión mecánica simple, en caliente y bajo alto esfuerzo de corte. Aproximadamente el 75% de todos los modificadores son del tipo elastomérico, 15% plastomérico y el restante 10% entre cauchos y otros (Polacco y col., 2015).

Algunos modificadores empleados, contemplan los polvos

minerales, fibras, polímeros elastoméricos como los derivados de estireno butadieno estireno, estireno isopreno estireno (SBS, SBR látex y SIS), conocidos mundialmente por su excelente desempeño. (Rincón y col., 2022, Arias y col., 2008, Sengul y col., 2013). Adicionalmente se han experimentado otros tipo plastómeros como Etilen-vinil acetato (EVA) (Flores y col., 2022), Polietilenos (PEAD, PEBD, PELBD) y Poliestireno (PS expandido) (Rondón y col., 2007, Figueroa y col., 2007), PVC (Reyes y col., 2010, Cruz y col., 2021), Caucho molido (por su gran aporte ambiental) (Cao y col., 2007, De Almeida y col., 2012, Fernández y col., 2008, Joskowicz y col., 2010), PET (Vidal y col., 2014, Rahman y col., 2013).

En diversos trabajos realizados, se han destacado las bondades de estos polímeros por mejorar significativamente las propiedades del asfalto convencional, y además de elevar su calidad, alargan su vida útil; más aún en la actualidad donde existe un incremento de las cargas sobre los pavimentos por el aumento de tráfico vehicular, de aeronaves, circulación de maquinarias pesadas, etc (Múniera y col., 2014). Por lo tanto es importante promover los aportes científicos, entendiendo los fenómenos químicos que están involucrados en el uso de este material.

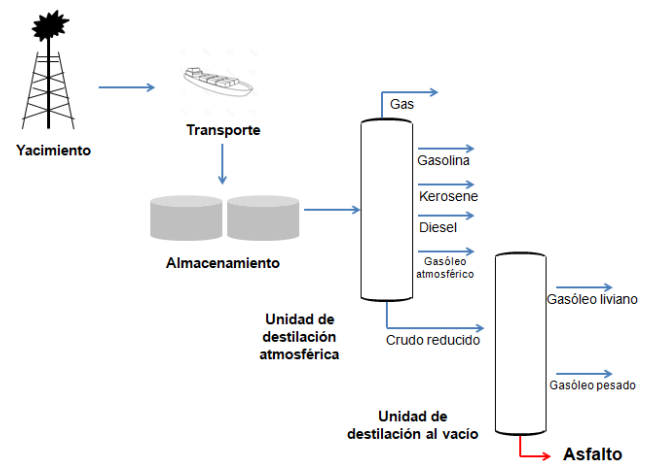


Fig. 1. Proceso industrial para la obtención de asfalto.

El asfalto venezolano se ha destacado por tener excelentes propiedades mecánicas, y es reconocido así entre muchos países productores y consumidores de este material. En la actualidad, su calidad exige incorporarle polímeros y aditivos, para aplicarlo de forma más eficaz y versátil en nuevos proyectos de construcción y reconstrucción civil en general.

Al modificar el asfalto, se reduce la frecuencia de trabajo de mantenimiento correctivo, incluso los prematuros ahuellamientos y daños causados por fatiga y fallas de diseño (como drenajes, cargas por tráfico, etc.). Por otro lado, disminuyen trabajos de cierre o desvío del tránsito por largas

horas para realizar trabajos puntuales, como colocación de carpetas o bacheos, mantenimiento de los puentes, canchas, vías urbanas y rurales, etc. Todas estas tareas, conllevan generalmente a gastos adicionales, riesgos de accidentes e incomodidades en los usuarios. Estas razones hacen imperante la necesidad de hacer un aporte a este problema, dado que hoy las vías soportan cargas mucho mayores a las calculadas en sus diseños originales (Yildirim y col., 2007, Flores y col., 2022).

Adicionalmente, debido a que existe escasez de mantenimientos periódicos sobre las carpetas asfálticas convencionales, se originan deterioros progresivos en la vialidad venezolana que exigen cambios y mejoras sustentables de aplicación a corto plazo. Esto aún, en medio de situaciones complejas derivadas de la producción de la matriz del asfalto que es el petróleo. (Fronjosa y col., 2015).

Algunos trabajos ya han sido reportados incorporando polímeros en el asfalto venezolano, los cuales resultan una referencia importante para evaluar y recomendar nuevas opciones de mezclas en base a la producción actual de asfalto AC20 (60/70), y polímeros vírgenes en el país. (Arias y col., 2008, Villegas y col., 2008, Joskowicz y col., 2010, Prada y col., 2010). La producción mundial y venta de asfalto o bitumen presenta incrementos cada año, aún con las fluctuaciones en los precios del petróleo a nivel global, y la recuperación de los mercados post COVID-19. Se estima una tasa compuesta de crecimiento anual (CAGR) del 3.2 % para el año 2026. Son más de 142 millones de toneladas de bitumen, producidas y aplicadas en la actualidad, solo en los Estados Unidos ha superado más de 32 millones en el 2021. China se proyecta con más de 28 millones para el 2026, mientras que el resto se pronostica entre países como Francia, México, Brasil, y Europa (EMR report 2022, Global Industry Analyst, Inc). Hoy en día son más los trabajos direccionados hacia las innovaciones y diversificación de las técnicas de empleo del bitumen como material de construcción, con garantía de éxito en su aplicación y protección del medioambiente (Múnera y col., 2014).

**El Asfalto y los Polímeros:**

El asfalto es un material termoplástico, además de viscoelástico, y es usado para el pavimento de vías, construcciones, aplicaciones industriales, etc (Yao y col., 2021). Se compone de moléculas tipo asfaltenos y maltenos, según se representa en la Figura 2. Los asfaltenos son los constituyentes más polares del bitumen y consisten en una mezcla de compuestos aromáticos policíclicos de estructura compleja. Estas moléculas son las que aportan viscosidad al asfalto (Bissada y col., 2016).

La segunda fracción denominada maltenos, es liviana y contiene moléculas saturadas (parafinas y naftenos), así como aromáticos y resinas de bajo peso molecular (Yao y

col., 2021, Bissada y col., 2016). Los maltenos son los responsables de las propiedades elásticas del asfalto. En la Figura 3 se muestra las estructuras químicas correspondientes a los asfaltenos y maltenos.

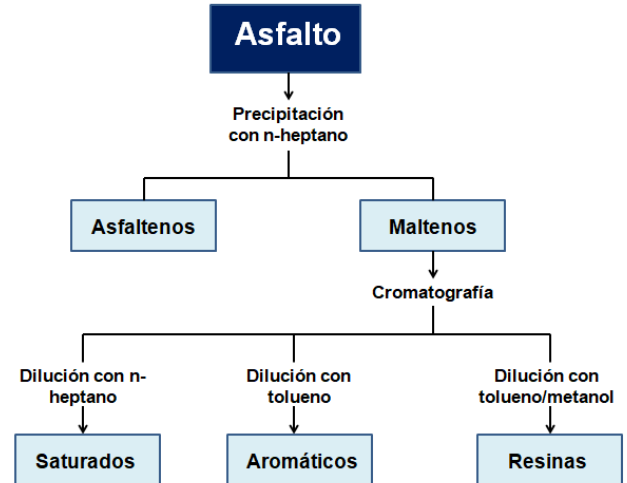


Fig. 2. Diagrama general de composición del asfalto y principales componentes del petróleo: saturados, aromáticos, resinas y asfaltenos (SARA).

En cuanto a la estructura química del bitumen, se conoce que los asfaltenos y maltenos forman un sistema coloidal (ver Figura 3), en el cual la fase dispersa es la mezcla de asfaltenos suspendida como agregados en la fase continua de alta viscosidad (maltenos) (Redelius, 2006). Por este motivo, podemos interpretar que el asfalto es una dispersión coloidal estabilizada por sus propios surfactantes naturales (asfaltenos y resinas enlazados por puentes de hidrógeno, los cuales son los grupos ionizables presentes, y que actúan primero como surfactantes, y si es emulsionado el asfalto, estos compuestos actúan como dispersantes).

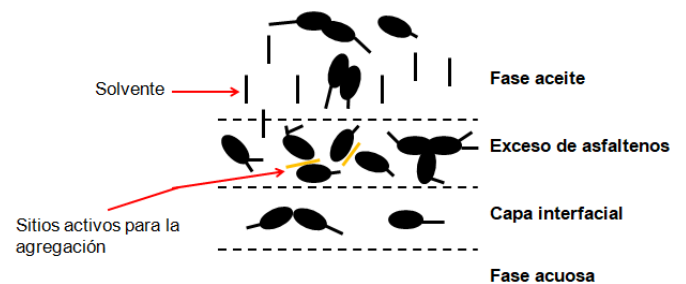
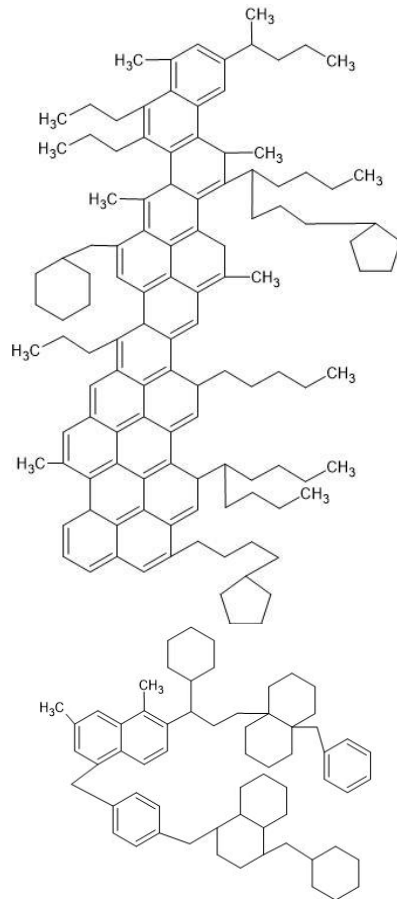


Fig. 3. Distribución coloidal del asfalto.



**Fig. 4.** Estructuras químicas sugeridas para asfaltenos (arriba) y maltenos (abajo).

Los polímeros son un tipo particular de macromolécula de alto peso molecular formada por la unión de cientos o miles de moléculas pequeñas llamadas monómeros. Pueden clasificarse como:

**Homopolímeros:** todas las unidades estructurales de la molécula son idénticas (monómero). Es la forma más simple en la que se puede encontrar un polímero (López, 2004).

**Copolímeros:** consisten en la réplica de dos unidades diversas de monómeros. Basados en el arreglo de las unidades repetidas en la cadena pueden tener diversas propiedades (Mohamed y Rashmi., 1998).

**Elastómeros** como sustancias con gran elasticidad instantánea y completamente recuperable e ilimitada; se utilizan para fabricar gomas, mangueras, neumáticos, etc (Sedlacík., 2021).

**Fibras:** son materiales capaces de orientarse para formar filamentos largos y delgados. Poseen resistencia, extensibilidad, rigidez, elasticidad y tenacidad. Se emplean principalmente en la industria textil (Khan y col., 2020).

**Los plastómeros:** son polímeros que pueden ser fácilmente moldeados a presión y transformados, poseen propiedades intermedias y tienen usos múltiples (López, 2004).

Según la forma de las cadenas, los polímeros pueden presentar formas:

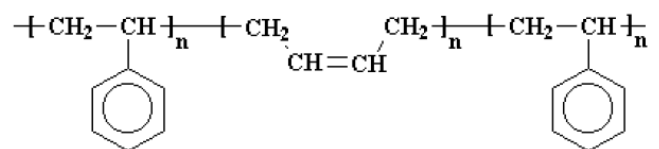
**Lineales:** cuyas unidades monoméricas están unidas una al lado de la otra a lo largo de una sola dirección (Schamboeck y col., 2019).

**Ramificadas:** se obtienen bajo procesos de polimerización en cadena y muestran efectos en las propiedades físicas del polímero, como la disminución de la cristalinidad y la solubilidad (Schamboeck y col., 2019).

**Entrecruzada:** se obtiene durante el proceso de polimerización o luego de este. Es insoluble y tiene propiedades elásticas destacadas en algunos elastómeros, así como también proporciona rigidez y estabilidad en algunos termoplásticos, los cuales al tener altos grados de entrecruzamiento, se emplean para fabricar diversos productos comerciales (López, 2004).

Muchas propiedades de los polímeros, como pueden ser la resistencia a los solventes, resistencia química o resistencia eléctrica, son muy importantes para usos específicos. Sin embargo, la primera consideración en la utilidad o aplicación general de un polímero, es su comportamiento mecánico, más específicamente su deformación al ser sometido a la tensión. Los polímeros con alta resistencia mecánica tienen altos grados de cristalinidad, entrecruzamiento o una alta temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ); mientras que los polímeros "estirables" y con poca resistencia mecánica, tienen características contrarias.

Para este trabajo se empleará el plastómero (PELBD), el cual proviene de una fuente comercial virgen, mientras que el polvo de caucho, proviene de una fuente reciclada (ver Figura 5). Estos polímeros presentan características lineales, y en el caso del caucho, se trata de un elastómero reciclado, que posee distintas composiciones según sea su uso. La Tabla 1 describe la composición del caucho.



**Fig. 5.** Estructura química del caucho reciclado.

**Tabla 1.** Composición típica según el origen del caucho.

Componente	Vehículos livianos (%p/p)	Camiones (%p/p)
Caucho natural	14	27
Caucho sintético	27	14
Negro de humo	28	28
Azufre	1	1
Acero	14-15	14-15
Fibras, antiozonantes, otros	15-16	15-16

Los polímeros pueden ser incorporados al asfalto bajo dos metodologías:

**Vía Húmeda:** en este proceso, se incorpora el polímero dosificado al asfalto caliente, bajo condiciones experimentales de temperatura, agitación y tiempo de mezclado, variables según diseños de cada autor (Polacco y col., 2015, Alfayez y col., 2020). Este tipo de modificación mejora las propiedades en mezclas de asfalto caliente, como lo son la resistencia al agrietamiento a bajas temperaturas, daño por humedad, envejecimiento, e incluso aumentando su tiempo de vida útil (Rincón-Esteba y col., 2022).

**Vía Seca:** para este método se hace sustitución de parte de la mezcla de asfalto, colocando desechos de polvo de neumático. La aplicación de este proceso es limitada, debido a que las mezclas de asfalto resultantes presentan una inestabilidad en volumen, y disminución de fuerza debido a la sustitución con gránulos de neumático (Alfayez y col., 2020).

Numerosos trabajos de investigación han sido realizados fuera del territorio venezolano, empleando polímeros distintos a los ya convencionales: elastómeros tipo SBS y EVA, (Yildirim y col., 2007, Sengul y col., 2013); otros en los cuales se han empleado polímeros como PVC (Rondón y col., 2007, Cruz y col., 2021), PET (Vidal y col., 2014, Rahman y Wahab., 2012), Poliestireno (Figueroa y col., 2007), Caucho reciclado (De Almeida, 2012, Cao, 2007), o mezclas combinadas de polímeros (Múnera, 2012).

Fernández., 2008, estudió el comportamiento de una mezcla asfáltica modificada a partir de asfalto venezolano tipo PG 70 22 con 5% y 10% de caucho molido proveniente de camión 350 de dos marcas comerciales. Los resultados reflejaron una mejora significativa con 5% de caucho en el asfalto convencional llevando su clasificación hasta un PG 76 22. Se logró incrementar la temperatura de ablandamiento pero manteniendo igual la temperatura mínima de trabajo, aunque se mejoraron propiedades de resistencia a la deformación. Por otro lado, a una dosis del 10% de caucho sobre el asfalto, se logró mejorar en un 47% la recuperación elástica, pero la viscosidad no cumple con lo requerido, por lo que se recomendó cambiar el tamaño de las partículas de caucho y tiempos de mezclado.

Arias y col., 2008, lograron diseñar una metodología para modificar asfalto venezolano tipo PG 70-22 con SBS, e incorporaron azufre bajo reacción química. Determinaron que el azufre debe ser mezclado con el asfalto antes del modificador, a fin de evitar la formación de geles. Lograron obtener una mezcla, aunque no totalmente óptima, sí resultó muy estable en almacenamiento. Se obtuvo un asfalto con grado de desempeño tipo PG 80- 22.

Prada y col., 2010, evaluaron dos mezclas asfálticas densas en caliente a partir de asfalto venezolano AC20. Modificaron vía húmeda con un desecho de policloruro de vinilo (PVC). Fueron caracterizadas con y sin aditivo de acuerdo a las normas INVEAS, observando que la mezcla modificada con PVC, experimentó más rigidez y resistencia a la deformación permanente en comparación con una mezcla convencional no modificada, por lo cual resultó apta en climas cálidos. Finalmente, los valores de penetración, punto de ablandamiento y viscosidad del asfalto modificado, permitieron obtener una importante reducción en el ahuellamiento a altas temperaturas en comparación con el asfalto convencional.

Joskowicz y col., 2010, prepararon tres réplicas de muestras (AMC-RF-01, AMC 60- 01 y AMC 85-01) y validaron el proceso de mezcla de asfalto tipo 60/70, 85/100, así como asfalto tipo Roofer Flux, incorporando por vía húmeda el caucho molido reciclado proveniente de camiones. Las muestras fueron evaluadas bajo metodología Marshall, y se concluyó que las mezclas con asfalto 60/70 y 85/100 tienen potencial para emplearse en mezclas asfálticas de alto desempeño para pavimentación.

Polaco y col., 2015, describieron las interacciones entre las estructuras de diversos polímeros y grados de asfalto, cuyos orígenes y clasificaciones son diferenciadas. Prepararon y añadieron nanocompuestos poliméricos al asfalto, buscando mejorar y cuantificar la estabilidad de las mezclas en el almacenamiento. Polímeros como SBS, SEBS, EVA y RET fueron empleados como modificadores del asfalto, y nanocompuestos de polímeros con arcillas, resultaron ser la novedad del estudio.

## 2. Sección Experimental

### 2.1 Materiales

Asfalto venezolano procedente de la Refinería “El Chaure” en el Edo. Anzoátegui con grado de viscosidad dinámica AC30, es decir, clasificado como  $3000 \pm 600$  N.s/m<sup>2</sup> medido a 60°C bajo método ASTM D-2170 y penetración (pen) 60/70 mm/10 a 25°C ASTM D5. Polímero virgen pulverizado, grado comercial tipo Polietileno Lineal de Baja Densidad (PELBD), proveniente de Polinter-Pequiven, Edo. Zulia cuyo nombre comercial es Venelene® 2111 (grano <0,6mm).

Polvo de caucho molido grado comercial (mezcla de vehículos y camiones), con granulometría que pasa tamiz #30 ( $<0,60$  mm), obtenido de la Empresa Total Cauchos C.A, Edo. Falcón.

Aditivos *crosslinkers* como aminas grasas sustituidas, aceites y antioxidantes, suministrados por la empresa Clariant Venezuela.

## 2.2 Métodos

### 2.2.1 Caracterización SARA del Asfalto AC30:

Ensayo realizado a través de cromatografía de columna con Sílica Gel 60, previamente activada a  $140^{\circ}\text{C}$  por 24 horas. La columna fue eluída con n- hexano, tolueno y metanol.

### 2.2.2 Procedimiento para preparación de muestras de Asfalto Modificado:

Empleando el montaje experimental presentado en la Figura 6, se procedió con la preparación de las dos muestras de asfalto modificado, bajo la metodología por vía húmeda.

El asfalto se calentó en una manta con regulación de temperatura entre  $(160-165)^{\circ}\text{C}$ , y empleando un motor mecánico IKA con mezclador dentado (dispersor), se agitó entre  $(300-400 \pm 5)$  rpm durante 10 minutos, para añadir los aditivos *crosslinkers* al 2.35% del peso total de asfalto, el cual se fijó en 1200 gramos (g).

Superado este tiempo, se incrementó la temperatura de la mezcla a  $(180 \pm 5)^{\circ}\text{C}$  (asegurando superar el punto de ablandamiento de ambos polímeros),

Seguidamente se añadió el equivalente a 5% de polímero en la preparación individual de cada muestra: A (PELBD) y B (Caucho), previamente tamizados, asegurando un tamaño de grano  $< 0.6\text{mm}$ , dosificando por un lapso de 10 minutos adicionales de mezclado.



**Fig. 6.** Montaje experimental para la modificación del asfalto vía húmeda a escala de laboratorio.

Finalmente, la velocidad de mezclado se incrementó a 500 rpm, y se mantuvo cada muestra en esas condiciones finales de agitación y calentamiento por un período de 3 horas.

### 2.2.3 Ensayos de caracterización de muestras de asfalto AC30 y modificadas con polímeros: (realizados en el Lab. de Pavimentos de la Facultad de Ingeniería de la UCLA – Barquisimeto / Venezuela:

Se realizaron los ensayos de caracterización como la determinación del punto de ablandamiento, penetración y ductilidad, para las muestras A y B.

Para conocer el punto de ablandamiento, se siguió la norma ASTM D36, conocida como método de anillo y bola, descrito en la Figura 7. El método se basa en observar la temperatura de caída de una bola de acero posada sobre la superficie de un anillo relleno de asfalto, el cual está ubicado dentro de un baño con agua. Parte desde una temperatura de  $5^{\circ}\text{C}$ , y se calienta gradualmente hasta la temperatura en la cual la bola se desprende.

El ensayo de penetración que se muestra en la Figura 8, se adapta a la norma ASTM D5, y se basa en la determinación de la consistencia del asfalto. El material asfáltico se coloca dentro de un recipiente metálico específico, y luego se deja caer el peso de una aguja estándar y una carga de 100 g durante 5 segundos a una temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$ . La longitud de la aguja que penetra en el asfalto, es el valor esperado, y se expresa en décimas de milímetros. En general, asfaltos blandos tendrán penetraciones mayores que los más rígidos. La ductilidad a  $5^{\circ}\text{C}$ , descrito en la Figura 9, es medida bajo los lineamientos de la norma ASTM D113 que establece la capacidad del asfalto a la elongación antes de romperse, bajo condiciones controladas. Los asfaltos dúctiles tienen normalmente mejores propiedades aglomerantes, mientras que, si la ductilidad es muy elevada, son susceptibles a cambios de temperatura y por ende a la deformación.



**Fig. 7.** Medición del punto de ablandamiento.



Fig. 8. Medición del grado de penetración.



Muestra A (PEBDL)



Muestra B (Caucho)

Fig. 9. Medición de la Ductilidad para las muestras A y B.

### 3. Resultados y Conclusiones

Los resultados de la Tabla 2 muestran la caracterización SARA: S (saturados) A (aromáticos) R (resinas) A (asfaltenos) y otros análisis realizados al asfalto original no modificado. Su valor de viscosidad, ratifica su clasificación como AC30.

Tabla 2. Caracterización del asfalto AC30.

Análisis	ASFALTO AC30 Refinería El Chaure
Saturados (% p/p)	12
Aromáticos (% p/p)	21
Resinas (% p/p)	53
Asfaltenos (% p/p)	14
Penetración a 25°C (mm/10)	59
Punto de Ablandamiento (°C)	50
Ductilidad a 25°C (cm)	>100
Viscosidad Absoluta a 60°C (P)	3568

La modificación del asfalto AC30 con polímeros, resultó más favorable con el elastómero reciclado de caucho (Muestra B) que usando el polímero virgen PELBD (Muestra A), lo cual se evidencia en los resultados de la Tabla 3. Las referencias comparativas, son las especificaciones de la norma Colombiana INV414-13, para la muestra A (PELBD) e INV413-13 para la muestra B (caucho molido).

Se observó que la muestra A no superó los resultados esperados para ductilidad y punto de ablandamiento, debido a que los valores resultaron inferiores a las especificaciones. Esta muestra se observó físicamente más heterogénea, lo cual confirma que se trata de un polímero débil en entrecruzamiento con los componentes, asfaltenos y maltenos presentes en el asfalto. Otros autores han evidenciado un comportamiento más compatible de este polímero en asfalto de origen colombiano, empleando la misma dosificación del 5% p/p (Rondón y col., 2022)

Tabla 3. Caracterización de muestras modificadas con polímeros

Ensayos	Datos A PELBD	Norma INVIAS (INV 414-13)	Datos B Caucho	Norma INVIAS (INV 413-13)
Penetración a 25°C (mm/10)	55	55 -70 (Tipo III)	42	25-75 (Tipo I y II)
Ductilidad a 5°C (cm)	7,5	Mín.15 (Tipo III)	16	No se requiere
Punto de Abland. (°C)	52,5	Mín.65 (Tipo III)	60	Mín. 52 (para Tipo I,II y III)

En el caso específico de la muestra B, el comportamiento fue más favorable y acorde a lo esperado en la norma INV 413-13, observándose una disminución del 40% en penetración y un punto de ablandamiento hasta 20% superior a los resultados para el asfalto AC30 sin modificar.

Estos resultados confirman, que dada su complejidad para formar una red tridimensional con el asfalto, el caucho molido al 5% p/p, interactuó de forma más eficiente y

sinérgica con los asfaltenos (hidrocarburos de muy alto peso molecular). Por otro lado, los maltenos fueron absorbidos, evitando o impidiendo pérdida por volatilización, lo que en el campo de aplicación, se traduce como una disminución considerable del envejecimiento y el craqueo (Alfayez y col., 2020, Cao y col., 2007).

El asfalto proveniente de la refinería El Chaure, tipo AC30, sí mejoró sus propiedades de rigidez y consistencia de origen, logrando ser más resistente a las deformaciones permanentes. Esto se traduce en una mejor susceptibilidad térmica, por lo cual, se favorece su incorporación en diseños civiles que incluyan aplicaciones como pavimentos y juntas de dilatación de puentes, los cuales requieren de esta propiedad.

Esta modificación realizada sobre las propiedades naturales del asfalto AC30, creó un sistema heterogéneo de fases que coexisten en equilibrio y se asocian intermolecularmente, lo cual definitivamente logra mejorar el desempeño de este material ligante.

Este equilibrio entre una fase rica en polímero de caucho molido, que se hincha en el medio, aporta al asfalto una mejora en sus propiedades mecánicas, mientras que la fase de maltenos y la fase asfaltenos presentes, compiten con propiedades físicas de dureza y elasticidad del material asfáltico respectivamente (Polacco y col., 2015).

Finalmente se concluye que como consecuencia de esta favorable modificación del asfalto AC30, es posible considerar alargar la vida útil de las estructuras que contemplen un diseño de mezcla con caucho molido.

Esto además favorece a los diseños más exigentes que demandan una alta resistencia a la fatiga, a las deformaciones permanentes y al envejecimiento, una mayor dureza y flexibilidad, así como aquellas obras que exigen ahorros en mantenimiento periódico y disminución de sonoridad, como características adicionales del diseño.

#### 4. Agradecimientos

Laboratorio PHD – FACYT – Universidad de Carabobo- UC  
Laboratorio de Pavimentos – Facultad de Ingeniería Civil –  
Universidad Lisandro Alvarado - UCLA  
Lab. Aplicaciones Técnicas – Clariant Venezuela.

#### Referencias


- Alfayez, S., Suleiman, A., Nehdi, M., (2020). Recycling Tire Rubber in Asphalt Pavements: State of the Art, Sustainability, 12 (21), pp. 9076.  
<https://doi.org/10.3390/su12219076>
- Arias L, Joskowicz P, Rojas I, Villegas C, Escobar J, Colina E, 2008, Asfalto venezolano modificado con polímero SBS. 4to Congreso venezolano del asfalto. INVEAS. Paraguaná. Venezuela.
- Bissada, K..K., Tan, J., Szyrzyk, E., Darnell, M., Mei, M., (2016). Group-type characterization of crude oil and bitumen Part II: Efficient separation and quantification of normal-paraffins iso-paraffins and naphthenes (PIN), Fuel, 173, pp. 217–221.  
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.01.056>
- Bracho C, 2005, Emulsiones Asfálticas. Cuaderno FIRP S366C. Merida Venezuela.
- Cao, W., (2007). Study on properties of recycled tire rubber modified asphalt mixtures using dry process, Constr. & Build.Mat, 21, pp. 1011-1015.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.02.004>.
- Covenin 1670:1997. Norma Venezolana Cementos Asfálticos (asfaltos de penetración). 3ª revisión.
- Cruz, N., Camacho, E., Baldi, A., Aguiar, J., (2021). Evaluación de desempeño de la mezcla asfáltica modificada con residuos de PVC tipo blíster. Infraestructura Vial, 23, (42), pp. 13–22.  
<https://doi.org/10.15517/iv.v23i42.44688>
- De Almeida, A., Battistelle, R., Bezerra, B., de Castro, R., (2012). Use of scrap tire rubber in place of SBS in modified asphalt as an environmentally correct alternative for Brazil, Jour.of Clean.Prod, 33, pp. 236-238.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.03.039>.
- Fernandez, A., (2008). Caracterización de asfalto modificado con caucho molido proveniente de neumáticos usados. Informe final de cursos en cooperación. Coord. De ingeniería de materiales. USB. Caracas. Venezuela.
- Figueroa, A., Reyes, F., Hernandez, D., Jimenez, C., Bohorquez, N., (2007). Análisis de un asfalto modificado con icopor y su incidencia en una mezcla asfáltica densa en caliente, Rev. Ing. e Inv, 27, (3), pp. 5-15.
- Flores, D., Muñoz, S., López, V., Rodríguez, E., (2022). Uso de etileno vinil acetato (EVA) en mezcla asfáltica: Una revisión literaria, Ingeniería y sus alcances. Revista de investigación, 6, (14), pp. 16-28.
- Fronjosa, E., (2015). Los conflictos complejos de la industria petrolera venezolana a través de su historia. Tesis doctoral. Coord.de postgrados en psicología. UNIMET. Caracas. Venezuela
- Joskowicz, P., Villegas, C., Arias, L., Escobar, J., Landa, F., Corredor, G., Noriega, J., (2010). Ligantes asfálticos venezolanos modificados con polvo de neumáticos fuera de uso. 5to Congreso venezolano del asfalto. INVEAS Nueva Esparta. Venezuela.
- Khan, A., Vijay, R., Singaravelu, D., Sanjay, M., Siengchin, S., Jawaid, M., Alamry, K., Asiri, A., (2020). Extraction and characterization of natural fibers from Citrullus lanatus climber. Journal of Natural Fibers, 19, pp. 621–629.  
<https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1758281>
- López, F., (2004). Fundamentos de polímeros. Facultad de





- ciencias. ULA. Mérida. Venezuela.
- Mohamed, L., Rashmi, C. D., (1998). Elastic properties of homopolymer-homopolymer interfaces containing diblock copolymers, *The Journal of Chemical Physics*, 108, (11), pp. 4662-4674.  
<https://doi.org/10.1063/1.475877>
- Múnera, J., (2012). Modificación polimérica de asfaltos. Trabajo de grado. Escuela de ingeniería. Universidad EAFIT. Medellín. Colombia.
- Múnera J, Ossa A, (2014). Estudio de mezclas binarias Asfalto-Polímero. *Rev.fac.ing.univ. Antioquia*, 70, pp.18-33.
- Prada, O., Rondón, H., Gonzalez, G., Reyes, F., (2010). Comportamiento de dos mezclas asfálticas venezolanas en caliente, modificadas con desecho de policloruro de vinilo, *Rev. Cien. e Ing.*, 31, (2), pp. 119-124.
- Polacco, G., Filippi, S., Merusi, F., Stastna, G., (2015). A review of the fundamentals of polymer-modified asphalts: Asphalt/polymer interactions and principles of compatibility, *Advances in Colloid and Interface Science*, 224, pp. 72–112.  
<https://doi.org/10.1016/j.cis.2015.07.010>
- Rahman, W., Wahab, A., (2013). Green pavement using recycled polyethylene terephthalate (PET) as partial fine aggregate replacement in modified asphalt, *Proc. Eng*, 53, pp. 124- 128.  
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.02.018>
- Redelius, G., (2006). The structure of asphaltenes in bitumen, *Road Materials and Pavement Design*, 7, pp. 143-162.  
<https://doi.org/10.1080/14680629.2006.969006>
- Rincón-Estepa, J.A., González-Salcedo, E.V., Rondón-Quintana, H.A., Reyes-Lizcano, F.A., Bastidas-Martínez, J.G., (2022). Mechanical Behavior of Low-Density PolyethyleneWaste Modified Hot Mix Asphalt, *Sustainability*, 14, pp. 4229.  
<https://doi.org/10.3390/su14074229>.
- Rondón, H., Rodríguez, E., Moreno, L., (2007). Resistencia mecánica evaluada en el ensayo Marshall de mezclas densas en caliente elaboradas con asfaltos modificados con desechos de policloruro de vinilo (PVC), polietileno de alta densidad (PEAD) y Poliestireno (PS), *Rev. Ing.*, 6, (11), pp. 91-104. Universidad de Medellín. Colombia.
- Schamboeck, V., Iedema, P. D., Kryven, I., (2019). Dynamic Networks that Drive the Process of Irreversible Step-Growth Polymerization, *Scientific Reports*, 9, (1), pp. 2276.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-018-37942-4>
- Sedlacík, M., (2021). Advances in Elastomers, *Materials*, 14, pp. 348.  
<https://doi.org/10.3390/ma14020348>
- Sengul, C., Oruc, S., Iskender, E., Aksoy, A., (2013). Evaluation of SBS modified Stone mastic asphalt pavement performance, *Const. & Build. Mat.*, 41, pp. 777 – 783.  
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/712/1/012026>
- Vidal, A., Ramírez, D., Grajales, J., (2014). Incorporación de tereftalato de polietileno como agente modificador en el asfalto. Trabajo de grado. Dpto. de ingeniería civil e industrial. Pontificia Universidad Javeriana Cali. Santiago de Cali. Colombia.
- Yao, H., Liu, J., Xu, M., Bick, A., Xu, Q., Zhang, J., (2021). Generation and properties of the new asphalt binder model using molecular dynamics (MD), *Scientific Reports*, 11, pp. 9890.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-0289339-5>.
- Yildirim, Y., (2007). Polymer modified asphalt binders, *Const. & Build. Mat*, 21, pp. 66 – 72.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.07.007>

**Recibido:** 5 de julio de 2022

**Aceptado:** 8 de octubre de 2022

**Pereira, Juan:** Dr. en Ciencias Aplicadas. Director del Laboratorio de Petróleo, Hidrocarburos y Derivados (PHD). Profesor Titular Universidad de Carabobo (Carabobo-Venezuela) y consultor industrial en fenómenos interfaciales.  <https://orcid.org/0000-0003-4600-726X>

**Pereira-Rojas, Juan:** Ingeniero Químico de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo (UC). Asistente de investigación en el Laboratorio de Petróleo, Hidrocarburos y Derivados (PHD). Correo electrónico: [pereirajuan899@gmail.com](mailto:pereirajuan899@gmail.com).  <https://orcid.org/0000-0003-1102-9506>

**Romero, Alíed:** Lic. en Química mención Tecnología. Estudiante del Doctorado en Química Tecnológica en el Laboratorio de Petróleo, Hidrocarburos y Derivados (PHD). Universidad de Carabobo (Carabobo-Venezuela). Correo electrónico: [aliedjromero@gmail.com](mailto:aliedjromero@gmail.com).  <https://orcid.org/0000-0001-9809-8453>

