

## **Producción de gasolina para automóviles mediante el procesamiento de plásticos como corriente prometedora de desarrollo de la energía de combustible "verde"**

El desarrollo de energías alternativas está asociado con los procesos de declive correspondientes de la economía de "hidrocarburos". El mundo moderno se encuentra en una etapa de transformación global de patrones tecnológicos, donde las economías tradicionales de materias primas están siendo reemplazadas por sistemas digitales virtuales, que sustituyen a los humanos en muchas áreas de las actividades de producción de rutina. La economía de los hidrocarburos, que formó la base del desarrollo económico durante muchas décadas, con el final de la Segunda Guerra Mundial y antes del nuevo milenio, y basada en el uso a gran escala de combustibles orgánicos, da paso a un nuevo sistema para la producción y el uso de energía, la llamada energía "verde" o "limpia", que define el nivel y la calidad de vida de las personas en un ambiente con buena ecología. La integración vertical rígida, como la base de la producción industrial en la economía de materias primas, da paso a la estructura de red horizontal de la organización empresarial, incluido del negocio energético, transformando el mercado de la energía en un modelo de una multitud de participantes, en contraste con el modelo anterior del mercado, basado en participantes de gran magnitud a nivel global.

En la presente publicación estudiaremos una de las tendencias actuales de la economía "verde" en el sector energético y del combustible, a saber, la posibilidad del procesamiento de plásticos en gasolina comercializable, que en sí misma es una solución integral destinada, por un lado, a reducir la carga ambiental, asociada con la producción y el uso de combustible para automóviles a base de materias primas de hidrocarburos fósiles; por otro lado, con el reciclaje eficiente de desechos plásticos, cuyos problemas de acumulación, como consecuencia de plazos colosales de descomposición en un medio natural, es también uno de los temas más importantes en la orden del día para alcanzar valores estables de desarrollo.

Consideraremos las tendencias actuales y trataremos de obtener una respuesta a la pregunta actual de si el reciclaje de plásticos a gasolina puede resolver simultáneamente el problema del desarrollo de energía alternativa y la reducción de la carga ambiental ejercida tanto por la industria petroquímica como por la cuestión aún no resuelta de la eliminación de desechos plásticos.

Parece apropiado comenzar el estudio del tema con una descripción de las transformaciones que sufre uno de los sectores clave de las economías de casi todos los países del mundo: la industria del gas y petróleo.

El complejo de gas y petróleo (CGP en lo adelante) genera billones de dólares en ganancias y es la base de la industria en los países productores y consumidores [1]. Sin embargo,

los cambios tecnológicos en curso, asociados con el aumento de la eficiencia energética, así como con la introducción de fuentes alternativas de energía, conducen a una disminución del rol del CGP. Los requerimientos ambientales, uno de los cuales es el Acuerdo de París sobre la contención del aumento de la temperatura mundial, ejercen una influencia importante y creciente sobre el futuro de la industria del gas y petróleo.

La contaminación ambiental alcanza niveles de escala catastrófica, como resultado de las actividades de las empresas del complejo de gas y petróleo. Además, la mayor parte de los residuos domésticos difíciles de reciclar son obtenidos de hidrocarburos (plásticos, etc.). Aquí surge un dilema: "no producir" o "reciclar". No desarrollar significa impedir el desarrollo y efectuar el traspaso a soluciones y tecnologías más costosas. Reciclar los desechos y expandir la reutilización, por un lado, reducirá la necesidad de producir materiales "frescos" y, por otro lado, requerirá recursos, incluidos los gastos para combustible y energía. Las tendencias cambiantes del mercado global (las crecientes inversiones en productos petroquímicos, un enfoque global en el ahorro de la energía y la conservación del medio ambiente, la creciente popularidad de las nuevas "tecnologías limpias") hacen que el mundo de los negocios necesite comenzar los procesos de transformación con anticipación, con el objetivo de estar un paso más adelante y extender el ciclo de vida de la industria del gas y petróleo.

Además del colapso de los precios, la industria petrolera también está amenazada por la competencia de nuevos tipos prometedores de recursos energéticos. ¿Cuál será el próximo avance tecnológico? Tal vez una revolución hidratante, cuyos beneficiarios son Japón, Israel y varios otros países.

Las discusiones respecto a las perspectivas para la industria del gas y petróleo son a gran escala y extremadamente agudas, mientras tanto, muchos aspectos apuntan a las perspectivas para un declive de la industria y su reemplazo temprano, incluida la llamada "energía verde". Mientras tanto, el impacto negativo de la industria del gas y el petróleo en un desarrollo estable continuará por algún tiempo. Por lo tanto, las reservas económicamente recuperables de petróleo de esquisto en el mundo son grandes (especialmente a los precios actuales). Al mismo tiempo, no se deben descartar las fuentes tradicionales "baratas" de materias primas. Los yacimientos en Irak, Irán, Arabia Saudita, donde el costo del barril de petróleo no supera los \$5 (en comparación, el petróleo estadounidense en un pozo cuesta \$25/barril, ruso - \$10, venezolano - \$6,5), aunque se encuentran sustancialmente agotados, aún están lejos de agotarse por completo. Esto significa que la industria petrolera tendrá durante largo tiempo un paracaídas y un cojín extremadamente suave para caer.

La previsión del desarrollo de la industria del gas y petróleo muestra que las áreas prometedoras de la estrategia industrial deben formarse con el predominio del vector

petroquímico [2]. Aparentemente, en un futuro previsible, a base de combustibles fósiles se formarán principalmente productos y tecnologías de química de gas y petróleo, que serán más competitivos en comparación con los nuevos productos y materiales inorgánicos.

Es probable que la disminución general del consumo de hidrocarburos como base para la producción de combustible para la industria del transporte en las últimas dos décadas continúe y se intensifique, como lo ilustran los datos expuestos en la Figura 1 y el pronóstico de los analistas de British Petroleum.

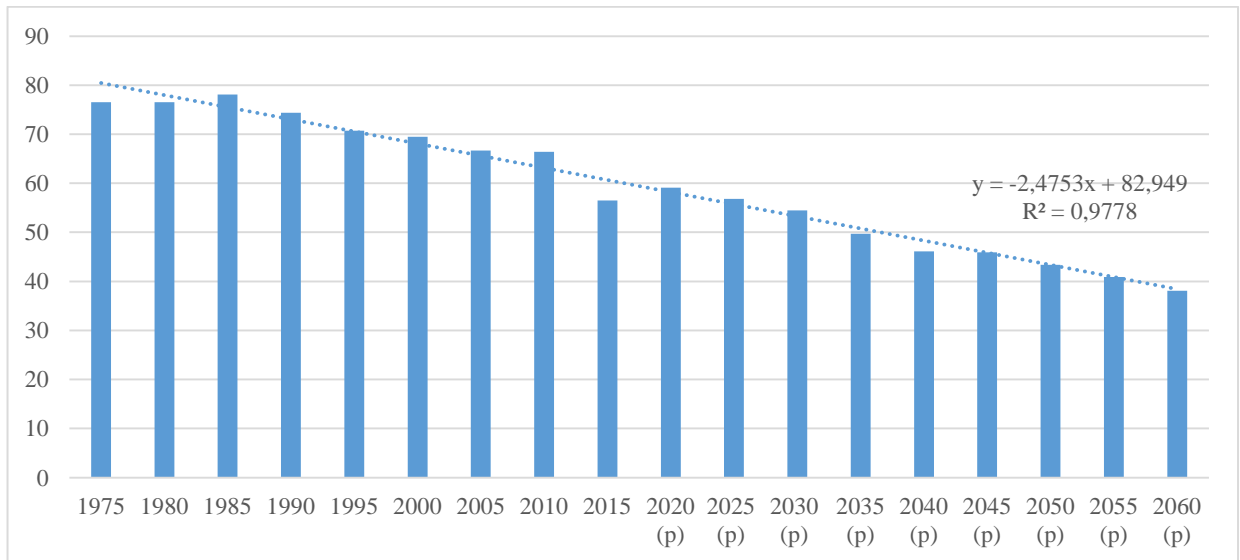


Figura 1 - Proporción de hidrocarburos fósiles en la producción mundial de gasolina comercializable, % [3]

Estas tendencias estimularán, por un lado, el aumento proyectado en el costo de los combustibles fósiles recuperables, relacionado con un futuro agotamiento de las reservas y la complicación de las condiciones de producción, y, por otro lado, la tendencia hacia un desarrollo ambiental y económico estable integrado, cuyo aspecto más importante es la reducción de las emisiones que contaminan y cambian el clima a un mínimo absoluto.

Dado que el transporte automotriz representa hasta el 75% de las emisiones globales de CO<sub>2</sub> a la atmósfera por parte de los vehículos, la industria automotriz se está convirtiendo en el "campo" de batalla más importante por el rechazo del combustible a base de hidrocarburos. Las acciones relevantes cubren varias áreas principales: el aumento del ahorro en el consumo de combustible (incluido el traspaso al uso de motores de menor potencia), la mejora de los motores, el traspaso al consumo de combustibles alternativos o el uso de energía eléctrica. Por ejemplo, Volkswagen predice que para el año 2035 el 50% de las ventas en China provendrán de nuevos vehículos de energía (NEV's), y para el año 2020 posee la intención de vender 400.000 NEV's, y alrededor de 1,5 millones para el año 2025. Sin embargo, a pesar de la popularidad y el desarrollo activo de dicha área, no es una panacea absoluta desde un punto de vista ambiental, ya

que al evaluar la carga final para el medio ambiente, la escala del impacto negativo, derivado de la producción de baterías de alta capacidad, es comparable con los costos ambientales del segmento del CGP, dirigido a la producción de gasolina para automóviles [4-5], y la cuestión de reciclaje seguro de baterías usadas a nivel conceptual no llega a resolverse.

Por lo tanto, las tendencias importantes de desarrollo de la energía "verde" en combustibles se relacionan con el desarrollo de combustibles alternativos, incluida la recepción de gasolina comercializable de productos reciclados: reutilización de residuos [6-7].

Una de las áreas prometedoras de la energía "verde" en combustibles es el procesamiento de plásticos en combustible para automóviles. Dicha área puede caracterizarse como una estrategia de "doble ganancia" desde un punto de vista ambiental, ya que junto con un aumento en la proporción de combustible altamente seguro a nivel ambiental en el balance de combustible, el procesamiento de plástico también se intensifica, cuya utilización es uno de los mayores problemas ambientales y económicos, ya que, comenzando alrededor del año 1950, se han fabricado más de 8 mil millones de toneladas de plástico a nivel mundial, y 6 mil millones de toneladas se han convertido en basura [8]. La dinámica de los volúmenes de generación de residuos plásticos a escala mundial se presenta en la fig. 2 – a simple vista, el crecimiento exponencial es evidente, que difícilmente se puede superar rápidamente, a pesar de los mejores esfuerzos de los "verdes".

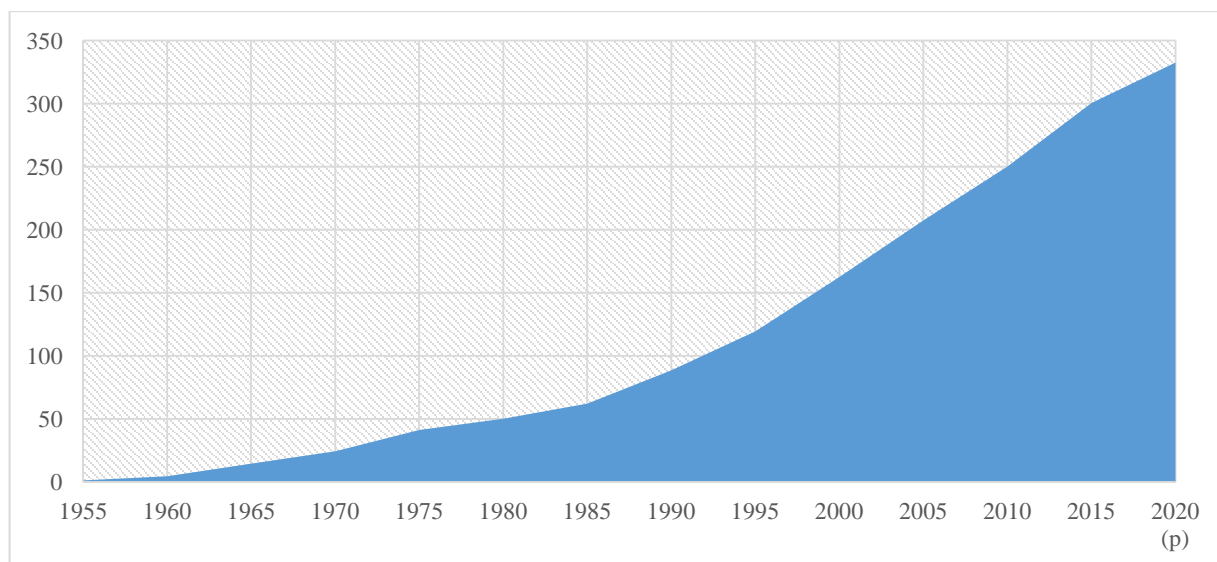


Figura 2 – Evolución de la generación agregada anual de desechos plásticos a escala mundial, millones de toneladas [8; pronóstico 2020 – datos de Greenpeace]

Entre los residuos municipales, la mayor parte de los plásticos está compuesta de polietileno, polipropileno, tereftalato de polietileno, cloruro de polivinilo y poliestireno. Otra fuente importante de contaminación plástica son los desechos resultantes de su uso en la producción industrial o incluso de fuentes de materias primas, por ejemplo, cuando la producción

no cumple con las especificaciones por diferentes razones. Los plásticos se utilizan en una variedad de aspectos, tales como embalajes de todo tipo, materiales de construcción, eléctricos y electrónicos, muebles, juguetes, ropa, etc., y dadas sus características, en particular su muy baja reactividad, después de su uso y reciclaje los mismos se convierten en un grave problema ambiental.

A pesar de que el ciclo de vida de diferentes tipos de plásticos varía significativamente, durante el transcurso de éste año se reciclará [9] desde el 40% (cloruro de polivinilo) hasta el 95% (plástico de tereftalato de polietileno) del plástico producido durante este año en particular; los desechos plásticos forman la mayor carga ambiental, con períodos de descomposición completa, por ejemplo, en el suelo, que ascienden a 100-500 o más años [10].

La descarga total de desechos plásticos en el océano supera las 8 millones de toneladas por año. De todos los plásticos producidos en los últimos 65 años (8.300 millones de toneladas), alrededor del 12 por ciento fueron quemados y solo el 9 por ciento fueron reciclados. El 79 por ciento restante fue a vertederos u océanos. El Foro Económico Mundial predice que para el año 2050 los océanos contendrán más desechos plásticos que peces, si las personas continúan arrojando desechos a los mares y océanos [11]. El desecho de los plásticos en los océanos crea las condiciones previas para un desastre ambiental.

A pesar del aumento en la producción de plástico biodegradable, su participación en la producción mundial de productos de plástico no supera el 10-12% en términos de valor [12], y aún menos en términos reales, y a pesar de las previsiones moderadas de crecimiento en la producción de bioplásticos, la reducción de la carga ambiental también requiere, al mismo tiempo, una reducción a gran escala en el consumo y un aumento en el volumen de reciclaje de residuos plásticos (la proporción de reciclaje de plásticos actualmente es del 9-30% [13]).

En términos de procesamiento, la reutilización del plástico para la producción directa de otros productos de consumo de plástico (procesamiento mecánico) está significativamente limitada por la necesidad de recolección y clasificación por separado de los desechos plásticos, y también conduce a la elaboración de productos de reciclaje de menor calidad. La quema directa para la producción de energía suele ser ineficiente, degrada la calidad del aire y puede emitir sustancias muy agresivas. En este sentido, las tecnologías para el procesamiento destructivo de los desechos plásticos, el procesamiento del plástico en hidrocarburos líquidos y combustibles para automóviles, en particular, parecen ser las más prometedoras para resolver problemas de esta escala.

Una revisión de las publicaciones científicas y de las investigaciones empíricas relevantes de los aspectos fisicoquímicos de las tecnologías para el procesamiento de plásticos en gasolina para automóviles, en particular, nos permite establecer lo siguiente:

1. Pirólisis seguida de hidroprocesamiento de productos (en la investigación [14] se demuestra que durante el procesamiento de residuos plásticos que contienen una cantidad considerable de cloro, papel y material inorgánico en materias primas para la fabricación de gasolina comercializable, los resultados más óptimos se obtienen mediante la aplicación de tecnologías, según las cuales los residuos se someten primero a la pirólisis bajo una temperatura de 600-650 °C, seguida del hidrotratamiento del líquido de pirólisis a bajas presiones de hidrógeno y bajo una temperatura de 440-450 °C).

2. Craqueo catalítico (durante la investigación [15] de craqueo térmico de residuos plásticos de composición no identificada bajo diferentes temperaturas de hasta 500 °C se ha establecido que este método tiene la capacidad de producir mezclas complejas de hidrocarburos, mientras que la mayor parte de las mezclas, de aproximadamente un 60%, corresponde a las características de la gasolina comercializable de alto octanaje y alta concentración de sustancias aromáticas).

3. Licuefacción hidrotérmica: el uso de agua supercrítica para la conversión de desechos plásticos en aceite (en la investigación [16] los desechos de polipropileno fueron convertidos en gasolina comercializable por medio del uso de agua supercrítica a una temperatura de 380-500 °C y una presión de 23 MPa durante un tiempo de reacción de 0,5-6 horas. Los productos del petróleo consistían de olefinas, parafinas, compuestos cíclicos y compuestos aromáticos. Las investigaciones preliminares muestran que la licuefacción hidrotérmica posee un alto potencial para convertir los desechos de polipropileno en materias primas para la producción de mezclas comercializables de gasolina, en comparación con la incineración y el procesamiento mecánico, de acuerdo con el criterio de eficiencia energética y bajas emisiones de CO<sub>2</sub>).

En muchos casos, el principal inconveniente de las tecnologías propuestas es la calidad comercial relativamente baja del combustible resultante, lo que reducirá la eficiencia de su uso, aumentará los riesgos de desgaste acelerado de las componentes y motores de los automóviles, y puede requerir modificaciones adicionales de los motores, de los sistemas de suministro de combustible, etc., lo cual, en su totalidad, tendrá un impacto negativo en la demanda y compensará la idea misma del desarrollo de ésta área de la economía "verde".

De hecho, se debe tener en cuenta de que incluso una mezcla estable y con un número de octanaje suficientemente alto de hidrocarburos de la fracción de gasolina aún no es gasolina comercializable, que, en sentido figurado, se puede "verter en el tanque del automóvil y comenzar la marcha". Para fines de uso masivo de los productos resultantes, tales como hidrocarburos líquidos, un aspecto importante son sus propiedades de consumo en conjunto, así como la totalidad de sus características técnicas. Para obtener un producto comercializable, en

las refinerías de petróleo (RPT), se efectúa la mezcla de varios componentes de la gasolina, se agregan los aditivos necesarios y otros aditivos con contenido de oxígeno.

Estos últimos son necesarios desde el punto de vista del cumplimiento de los requisitos ambientales para las gasolinas, tanto para garantizar los estándares de oxígeno requeridos en la gasolina (para la gasolina reformada, en promedio se requiere un mínimo de 2,1% de oxígeno en peso, que corresponde a aproximadamente el 11,7% vol. de MTBE o 5,8% en volumen de etanol [17]), como para reemplazar los compuestos aromáticos de alto octanaje, pero estrictamente limitados en contenido.

Por cierto, sería extremadamente ingenuo pensar que las grandes compañías petroleras, dueñas de las RPT más grandes, estarán interesadas en procesar plástico para producir combustible para automóviles, o comenzarán a comprar los productos refinados resultantes para usarlos en la elaboración de sus propios combustibles comercializables en las RPT. Los inversores potenciales más probables, que se dedicarán a la aplicación práctica de las tecnologías antedichas para la producción de gasolina a partir de desechos plásticos, serán pequeñas empresas que, con la ayuda de esta producción, podrán participar en el suministro de combustible a consumidores a nivel regional. Para tales inversores, un factor importante será la simplicidad y facilidad de convertir la gasolina resultante "cruda" a un producto comercializable. En dicho caso, se trata sobre una "economía verde" con importantes subsidios gubernamentales en todos los países desarrollados del mundo. Para que el interés correspondiente "vaya más allá", salga fuera de los límites de los laboratorios científicos y los comerciantes interesados, es importante garantizar una mejora sistemática en las propiedades de consumo de las gasolinas comercializables, derivadas de materias primas de petróleo producidas mediante el uso de uno de los métodos prometedores para el procesamiento de residuos plásticos.

Una de las formas más atractivas, tanto desde el punto de vista técnico como práctico, de mejorar las propiedades de consumo de la gasolina para automóviles es el uso de aditivos para aumento del octanaje con contenido de oxígeno (oxigenados). Según se sabe, los aditivos más utilizados son los fabricados a base de éteres y alcoholes. Los éteres, en particular el éter metil tert-butílico (MTBE) y el etil tert-butílico (ETBE), se usan ampliamente en la práctica de la producción de gasolinas comercializables, mientras que los alcoholes poseen un uso menor, aunque no son menos interesantes para el desarrollo futuro de la energía "verde". Como parte de nuestra investigación, examinamos los patrones y las posibilidades de optimizar el uso de alcoholes (alcohol metílico, etílico, isopropílico (absoluto) e isobutilo) como aditivos para el aumento del octanaje.

Cabe señalar que el alto potencial para el uso de alcoholes y, sobre todo, el etanol, como aditivos utilizados para mejorar las cualidades de consumo de la gasolina para automóviles, se

asocia no solo con su alto octanaje, sino también con la capacidad de reducción de las emisiones nocivas de la combustión del combustible, así como con la baja carga ambiental, debido a la producción de alcoholes a partir de materias primas renovables.

Al mismo tiempo, el etanol propiamente dicho es el producto más utilizado de los alcoholes alifáticos en la producción de productos básicos, con un potencial significativo para el aumento de la producción [18-19], lo que permite satisfacer plenamente las necesidades industriales bajo la condición de la introducción a gran escala de aditivos apropiados, con objetivo de mejora de la calidad de cualquier gasolina comercializable, así como directamente para la mejora de las características de consumo de las gasolinas obtenidas mediante la aplicación de las tecnologías prometedoras estudiadas para el reciclaje de plásticos. Además del hecho de que el etanol es un componente renovable fácil de fabricar y manejar, el etanol puede llamarse legítimamente el componente de gasolina tradicional de los EEUU y de los países Europa, aunque no se utiliza en todas partes. Es importante comprender que el uso de etanol y sus mezclas como aditivos de mejora proporciona a la gasolina no solo un aumento de octanaje y el cumplimiento de los estándares de contenido de oxígeno, sino que también complementa las características cualitativas de la gasolina con las propiedades de lavado necesarias.

Durante mucho tiempo se han realizado investigaciones y desarrollos orientados a la práctica. Con el objetivo de la mejora del rendimiento de los combustibles que contienen alcohol, incluida la mejora de la estabilidad de fase, la reducción de la corrosividad, etc. [20]. Con eso, nuestras investigaciones indican una alta eficacia antidetonante de los alcoholes y sus mezclas utilizadas para mejorar el rendimiento de las gasolinas para automóviles comercializables.

Además, nuestras investigaciones muestran la presencia de un efecto sinérgico de las propiedades de aumento de octanaje en la presencia conjunta de etanol con alcoholes metílico, isopropílico e isobutilo [21]. La magnitud de este efecto depende de la composición cualitativa y cuantitativa del aditivo de alcohol, su concentración en la mezcla de alcohol y gasolina y la composición de grupo de la gasolina base, dicho valor varía entre 0,4-3,3 unidades de octano (Figuras 3, 4).



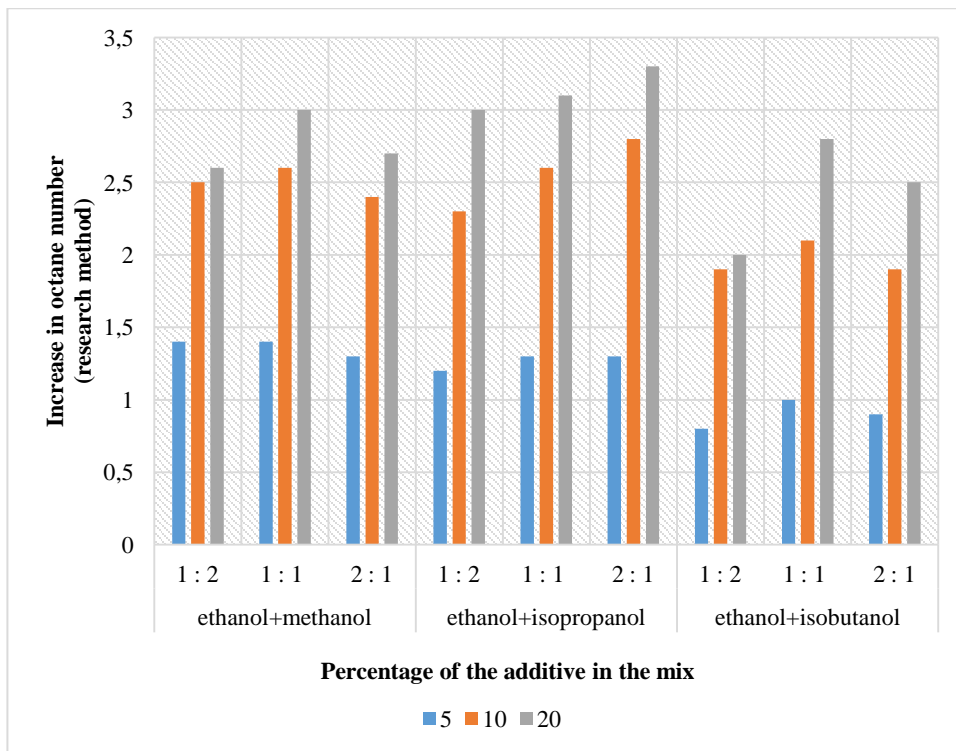


Figura 3 - Aumento del octanaje debido a la influencia mutua de los alcoholes en las composiciones de la fracción BB-62 de gasolina de flujo directo con mezclas de alcoholes

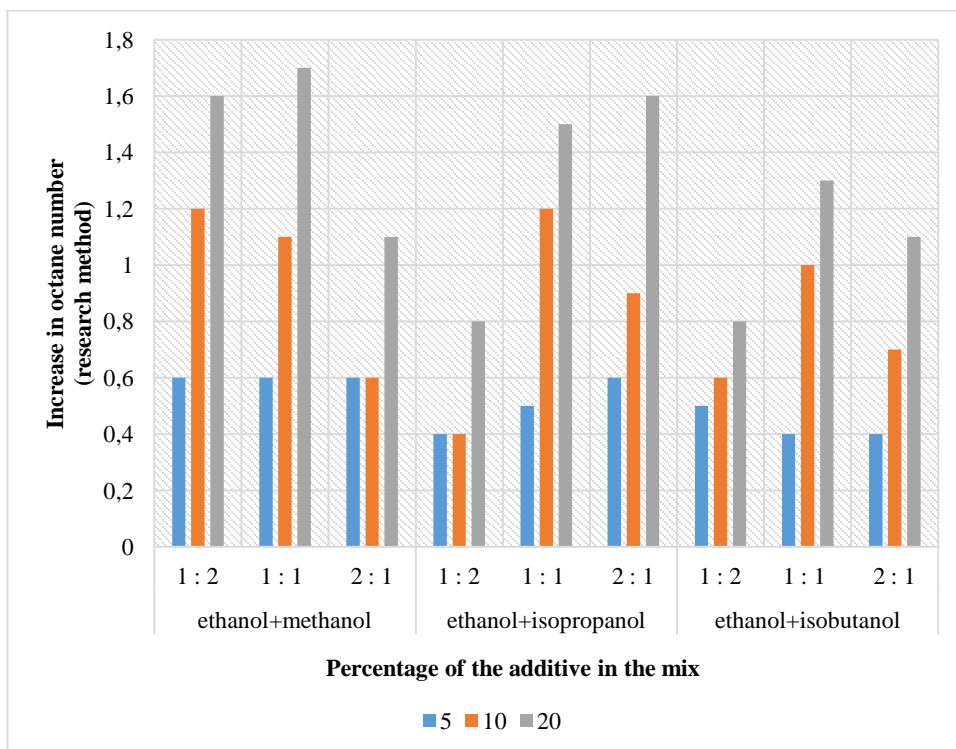


Figura 4. Aumento del octanaje debido a la influencia mutua de los alcoholes en las composiciones del reformado con mezclas de alcoholes.

Hemos establecido que un combustible con la adición de una mezcla de etanol con otros alcoholes, como isobutanol e isopropanol, alcanzan la estabilidad de fase necesaria (temperatura

de turbidez menos 30°C) sin deshidratación adicional de etanol por encima del 4% vol. a concentraciones de hasta 30% vol. (Figura 5).

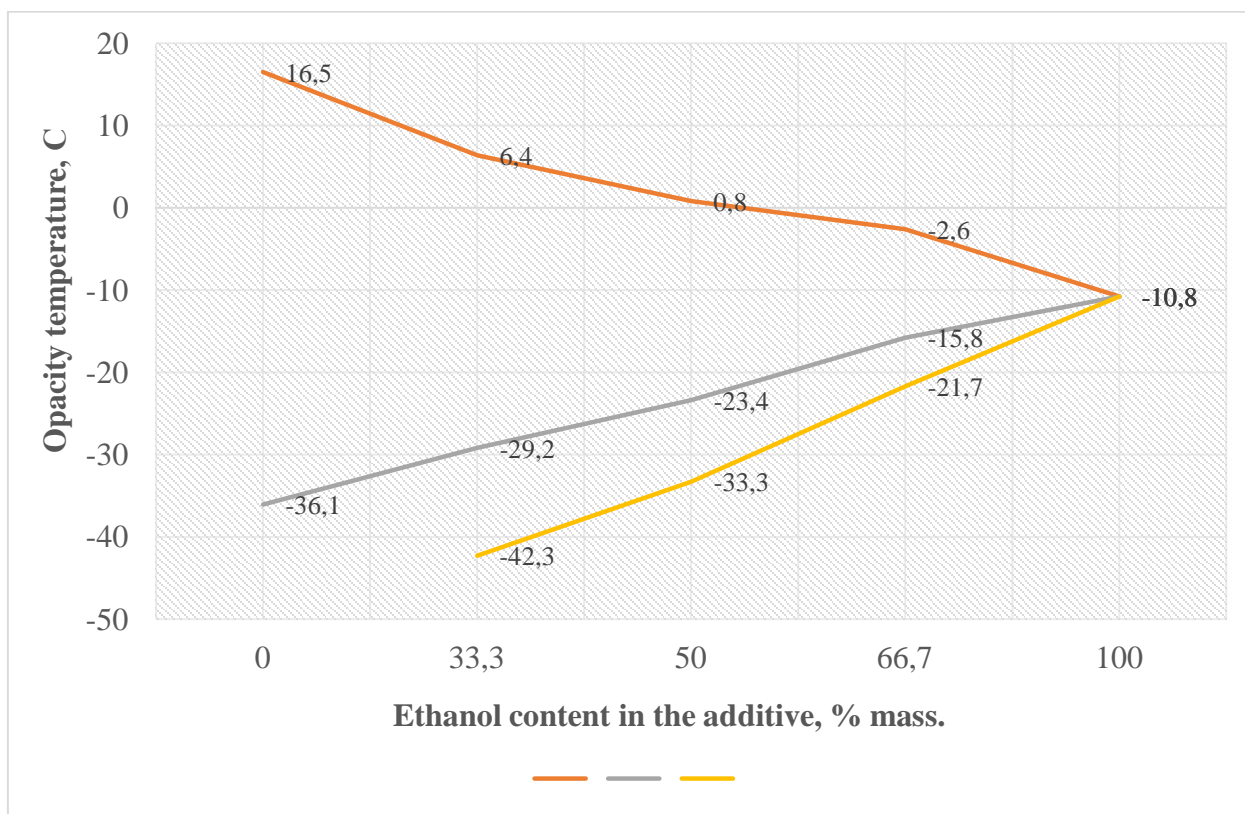


Figura 5 - Dependencia del punto de enturbiamiento de las mezclas de alcohol y gasolina en el contenido de etanol en un aditivo de alcohol

Además, el uso de alcoholes no solo aumenta el octanaje del combustible, sino que también ahorra componentes caros de hidrocarburos (como el reformado), permite reducir el contenido de hidrocarburos aromáticos tóxicos de alto octanaje en la gasolina, mejora la distribución de los números de octano en las fracciones de gasolina y también expande la base de materia prima para la producción de combustible por cuenta de materias primas de origen no petrolero.

Nuestras investigaciones sobre la resistencia a la detonación de fracciones individuales de gasolina, utilizando el proceso de reformación catalítica como ejemplo [21], muestran que la adición de etanol no solo aumenta el número de octano, sino que también mejora la distribución de la resistencia a la detonación entre las fracciones, lo que permite que el motor del automóvil funcione de manera uniforme en todos los modos de su operación.

Los datos experimentales sobre la distribución de la resistencia antidetonante entre fracciones de reformado puro y su composición con 10% vol. de etanol se exponen en la figura 6:

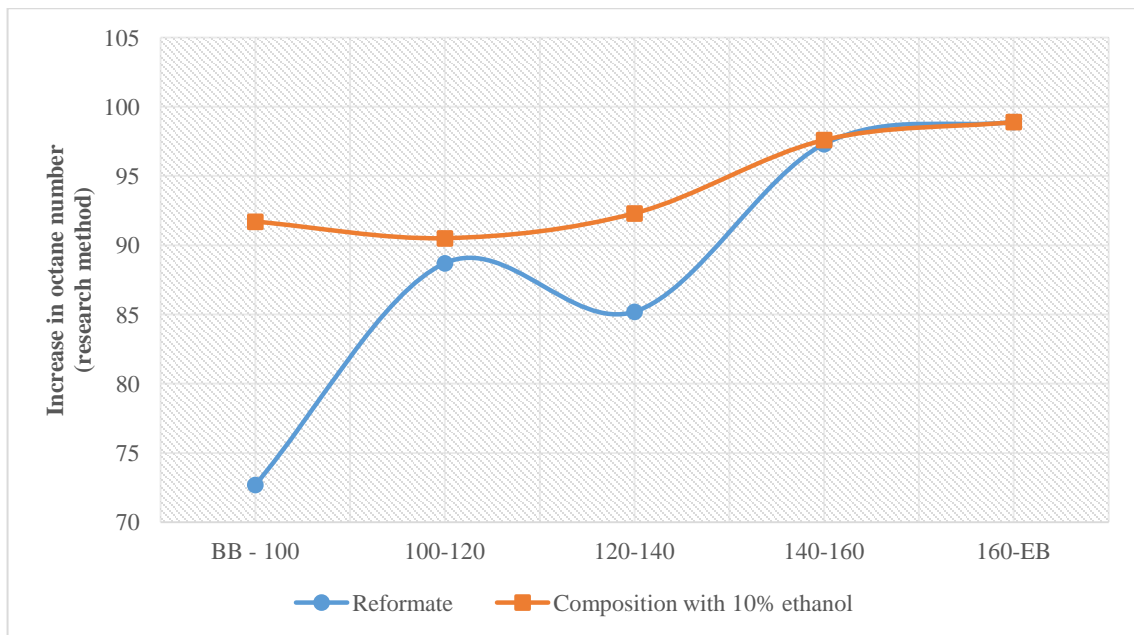


Figura 6. Distribución de la resistencia a la detonación por fracciones del reformado y su composición con 10% vol. de etanol.

Por lo tanto, es posible establecer las numerosas ventajas del uso de alcoholes, principalmente del etanol, para la mejora de la calidad de la gasolina para automóviles obtenida mediante el reciclaje del plástico, lo que nos permite considerar la tecnología propuesta como una mejora sistemática de los métodos prometedores de producción de materias primas para la fabricación de gasolina comercializable a partir de desechos reciclados, brindando la posibilidad de aplicación a gran escala industrial de la nueva tecnología "verde" para la producción de combustible.

#### Conclusión.

Es probable que el estado del medio ambiente y las tendencias actuales en la industria automotriz obliguen a las compañías petroleras a abandonar la producción de grandes volúmenes de combustible para automóviles. Al mismo tiempo, la demanda restante de combustible puede satisfacerse parcialmente mediante la construcción de plantas para el procesamiento de desechos plásticos en combustible para automóviles por medio del uso de etanol accesible y económico como aditivo. En otras palabras, la gasolina para automóviles que utilizamos será en parte un producto de procesamiento secundario y en parte energía renovable, sin consumo directo de gas y petróleo.

Bajo la condición del refinamiento de tecnologías prometedoras de obtención de materias primas para la producción de gasolina comercializable a partir de desechos plásticos, y con la aplicación de métodos para la mejora de la calidad comercial de dicha gasolina usando aditivos de etanol o mezclas con su participación, la nueva tecnología "verde" se vuelve prometedora no

solo dentro del ámbito de investigación en laboratorios científicos, sino también como idea de negocio, en primer lugar, para pequeñas industrias petroquímicas orientadas a la protección del medio ambiente.

#### Referencias bibliográficas

1. Filimonova I.V., Eder L.V., Nemov V. Yu., Mishenin M.V. Análisis económico integral de compañías de la industria del gas y petróleo en Rusia // Análisis económico: teoría y práctica. 2019. Tomo 18. No. 5 (488). Pág. 925-943.
2. Nasirov I. De la época del petróleo a la era de los petroquímicos // Vertical del gas y petróleo. 2018. No. 12. Pág. 58-67.
3. Petroleum, British. BP Statistical Review of World Energy Report. BP: London, UK, 2019.
4. Yulkin M.A. La descarbonización global y su impacto en la economía rusa // Seminario científico del Instituto de Clima Global y Ecología, relacionado al Servicio Federal de Hidrometeorología y Vigilancia Ambiental de Rusia (Rosgidromet). 2019. Tomo 6. No. 80. Pág.
5. Wang Y. et al. From the Perspective of Battery Production: Energy–Environment–Economy (3E) Analysis of Lithium-Ion Batteries in China //Sustainability. 2019. Vol. 11. N. 24. P. 6941.
6. Palos R. et al. Assessing the potential of the recycled plastic slow pyrolysis for the production of streams attractive for refineries //Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 2019. Vol. 142. 104668.
7. Hsu C. S., Robinson P. R. Gasoline Production //Petroleum Science and Technology. Springer, Cham, 2019. P. 189-210.
8. Procesamiento de plásticos: evaluación del mercado y sus perspectivas: Ciencia en el extranjero (diciembre del 2018). No 75. Pág. 33 [Formato electrónico]. URL: [https://www.issras.ru/global\\_science\\_review/Nauka\\_za\\_rubejom\\_n75.pdf](https://www.issras.ru/global_science_review/Nauka_za_rubejom_n75.pdf).
9. Improving Markets for Recycled Plastics: Trends, Prospects and Policy Responses. Paris: OECD Publishing, 2018. [E-Source]. URL: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264301016-en>.
10. Zadera M.I., Baburina A.D. Reducción de la carga sobre el medio ambiente, reciclaje de residuos // Mejor trabajo de investigación científica 2019. 2019. Pág. 80-87.
11. Yogalakshmi K. N., Singh S. Plastic Waste: Environmental Hazards, Its Biodegradation, and Challenges //Bioremediation of Industrial Waste for Environmental Safety. Springer, Singapore, 2020. P. 99-133.
12. Miandad R. et al. Catalytic pyrolysis of plastic waste: Moving towards pyrolysis based biorefineries //Frontiers in energy research. 2019. Vol. 7. P. 27.

13. Lebreton L., Andrady A. Future scenarios of global plastic waste generation and disposal //Palgrave Communications. 2019. Vol. 5. N. 1. P. 1-11.

14. Chen W. T., Jin K., Linda Wang N. H. Use of supercritical water for the liquefaction of polypropylene into oil //ACS Sustainable Chemistry & Engineering. 2019. Vol. 7. N. 4. P. 3749-3758.

15. Reciclado energético de plásticos: co-procesamiento en refinerías y craqueo térmico // Petroeconomica On-Line, 24 Mayo 2018 [E-Source]. URL: <https://www.revistapetroquimica.com/reciclado-energetico-de-plasticos-co-procesamiento-en-refinerias-y-craqueo-termico>.

16. Perkins G. et al. Recent advances in liquefaction technologies for production of liquid hydrocarbon fuels from biomass and carbonaceous wastes //Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2019. Vol. 115. 109400.

17. Gasoline Standards: United States Environmental Protection Agency, 2020. [E-Source]. URL: <https://www.epa.gov/gasoline-standards>.

18. Damodharan D. et al. Utilization of waste plastic oil in diesel engines: a review //Reviews in Environmental Science and Bio/Technology. 2019. P. 1-17.

19. Dobó Z. et al. Transportation fuel from plastic wastes: Production, purification and SI engine tests //Energy. 2019. Vol. 189. 116353.

20. Oparina L.A., Kolyvanov N.A., Gusarova N.K., Saprygina V.N. Aditivos para combustible oxigenados a base de materias primas renovables // Noticias universitarias. Química y biotecnología aplicada. 2018. Tomo 8, No. 1. Pág. 19–34.

21. Danilenko T.V. Desarrollo de composiciones de gasolina combustible con la adición de alcoholes alifáticos. diss: 05.17.07. M., 2005. 169 p.