



Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), noviembre-diciembre 2024,
Volumen 8, Número 6.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6

**ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE AZUFRE (S)
EN LA GASOLINA POR EL MÉTODO DE
HIDRODESULFURACIÓN**

**ANALYSIS OF SULFUR (S) CONTENT IN GASOLINE BY
THE HYDRODESULFURATION METHOD**

Sandra Peña Murillo

Universidad De Guayaquil, Ecuador

Eddie Zambrano Nevárez

Universidad De Guayaquil, Ecuador

Gonzalo Villa Manosalvas

Universidad De Guayaquil, Ecuador

Julio Baquerizo Figueroa

Universidad De Guayaquil, Ecuador

Lindao Rodríguez William Kevin

Universidad De Guayaquil, Ecuador

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6.14920

Análisis del Contenido de Azufre (S) en la Gasolina por el Método de Hidrodesulfuración

Sandra Peña Murillo¹

sandra.penam@ug.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-7848-8021>

Universidad De Guayaquil
Ecuador

Eddie Zambrano Nevárez

eddie.zambranon@ug.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-0358-0402>

Universidad De Guayaquil
Ecuador

Gonzalo Villa Manosalvas

gonzalo.villam@ug.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-9321-9436>

Universidad De Guayaquil
Ecuador

Julio Baquerizo Figueroa

julio.baquerizof@ug.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-2594-7623>

Universidad De Guayaquil
Ecuador

William Kevin Lindao Rodríguez

lindao.rodriguez@ug.edu.ec

Universidad De Guayaquil
Ecuador

RESUMEN

A lo largo de los años, el contenido de azufre en la gasolina ha impactado directamente en las emisiones de dióxido de azufre (SO₂), uno de los contaminantes atmosféricos más perjudiciales para el medio ambiente y la salud humana. Este compuesto no solo contribuye significativamente a la contaminación del aire, sino que también reduce el rendimiento y la vida útil de los equipos que utilizan este combustible. Ante esta problemática, el objetivo de la presente investigación es analizar el contenido de azufre en la gasolina mediante el método de hidrodesulfuración (HDS), a través de una revisión bibliográfica exhaustiva. Para ello, se seleccionaron fuentes relevantes aplicando criterios de inclusión y exclusión que aseguran la calidad metodológica de los estudios consultados. La hidrodesulfuración se presenta como una técnica eficaz para reducir el contenido de azufre en combustibles fósiles, permitiendo alcanzar niveles que cumplen con las normativas ambientales más estrictas. Tras la recopilación de los artículos, se realizó una revisión crítica, evaluando los métodos de hidrodesulfuración y extrayendo información clave sobre su eficacia y eficiencia en comparación con otras técnicas. Se identificaron patrones y contrastaron hallazgos en los estudios científicos seleccionados, lo que permitió construir una base sólida para el análisis del contenido de azufre en la gasolina. Este proceso resaltó las contribuciones significativas que el método HDS ofrece, destacando su capacidad para minimizar las emisiones contaminantes. De esta manera, la investigación subraya la importancia de aplicar tecnologías de tratamiento que reduzcan el contenido de azufre en la gasolina, mitigando sus efectos ambientales.

Palabras clave: hidrodesulfuración, azufre, gasolina, contaminación

¹ Autor Principal

Correspondencia: sandra.penam@ug.edu.ec

Analysis of Sulfur (S) content in Gasoline by the Hydrodesulfuration Method

ABSTRACT

Over the years, the sulfur content in gasoline has directly impacted sulfur dioxide (SO₂) emissions, one of the most harmful air pollutants for the environment and human health. This compound not only contributes significantly to air pollution, but also reduces the performance and lifespan of equipment that uses this fuel. Faced with this problem, the objective of this research is to analyze the sulfur content in gasoline using the hydrodesulfurization (HDS) method, through an exhaustive bibliographic review. To do so, relevant sources were selected by applying inclusion and exclusion criteria that ensure the methodological quality of the studies consulted. Hydrodesulfurization is presented as an effective technique to reduce the sulfur content in fossil fuels, allowing levels to be reached that comply with the strictest environmental regulations. After collecting the articles, a critical review was carried out, evaluating the hydrodesulfurization methods and extracting key information about their effectiveness and efficiency compared to other techniques. Patterns were identified and findings were contrasted in the selected scientific studies, allowing a solid foundation to be built for the analysis of the sulfur content in gasoline. This process highlighted the significant contributions that the HDS method offers, highlighting its ability to minimize pollutant emissions. In this way, the research underlines the importance of applying treatment technologies that reduce the sulfur content in gasoline, mitigating its environmental effects.

Keywords: hydrodesulfurization, sulfur, gasoline, pollution

Artículo recibido 02 octubre 2024

Aceptado para publicación: 10 noviembre 2024



INTRODUCCIÓN

El contenido de azufre en la gasolina es un factor crítico que no solo afecta la eficiencia de los motores de combustión interna, sino que también tiene implicaciones significativas para la calidad del aire y el cumplimiento de estándares ambientales (Wang, 2022). La presencia de azufre en los combustibles contribuye a la emisión de óxidos de azufre, así como de partículas contaminantes, y puede comprometer la efectividad de los sistemas de control de emisiones de los vehículos (Yan, 2020). Para ello, el desarrollo de métodos precisos y eficientes para analizar el contenido de azufre en la gasolina se vuelve imperativo.

A lo largo de los años, diversos métodos analíticos como la espectroscopia de fluorescencia de rayos X (XRF), la cromatografía iónica y la espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), han sido empleados con el propósito de cuantificar el azufre en los combustibles (Yan, 2020). Sin embargo, es esencial abordar las limitaciones existentes en términos de sensibilidad, selectividad y los efectos de matriz; y avanzar hacia técnicas más precisas y eficaces. En este sentido, el presente estudio se centra en el análisis del contenido de azufre en la gasolina mediante el método de hidrodesulfuración catalítica.

La hidrodesulfuración es un proceso industrial ampliamente utilizado en las refinerías para eliminar compuestos orgánicos de azufre de combustibles derivados del petróleo (Wang, 2022). Sin embargo, su aplicación como técnica analítica para la determinación de azufre ha sido poco explorada. Este método ofrece un enfoque prometedor para la cuantificación precisa de los niveles de azufre en la gasolina, dado que la cantidad de hidrógeno consumido en la reacción puede correlacionarse directamente con la concentración inicial de azufre. (Quintero, 2013)

La necesidad de una evaluación crítica de este método radica en su potencial para mejorar la exactitud y los límites de detección de los análisis de azufre en los combustibles, contribuyendo así a la reducción de emisiones contaminantes y al cumplimiento de las normativas medioambientales cada vez más estrictas (Race, 2023). En este artículo, se presentará una revisión detallada de la literatura existente sobre el tema, se expondrán los objetivos específicos de la investigación y se proporcionará una visión general del fundamento químico del método de hidrodesulfuración, estableciendo así las bases para una comprensión completa de la relevancia y el alcance de este estudio.



METODOLOGÍA

El presente artículo científico consta de un enfoque de carácter cualitativo, puesto que busca determinar el método de hidro desulfuración de la gasolina para el análisis del contenido de azufre en la gasolina.

El azufre, representado por el símbolo químico S y con número atómico 16, presenta diversos isótopos estables con diferentes porcentajes de abundancia en la naturaleza.

Entre ellos se encuentran:

S^{32} (95.1%), S^{33} (0.74%), S^{34} (4.2%),

S^{36} (0.016%)

La presencia de azufre en la corteza terrestre oscila entre 0.03% y 0.1%, siendo comúnmente hallado en forma libre en regiones volcánicas. (Valenzuela, 2018)

El objetivo principal de la Hidrodesulfuración es eliminar el azufre de la corriente de alimentación a la Unidad correspondiente, ya sea para cumplir con las especificaciones de los productos comerciales o para salvaguardar la integridad de los catalizadores en las unidades subsiguientes, como se observa en el tratamiento de la nafta en el Reformado Catalítico.

La gasolina es un combustible derivado del petróleo que contiene diversos compuestos orgánicos de azufre (COS) como mercaptanos, sulfuros, disulfuros y tiofenos. (Romo, 2012). Estos compuestos resultan perjudiciales al liberar óxidos de azufre durante la combustión, contribuyendo a la contaminación atmosférica y la lluvia ácida. Además, desactivan los catalizadores que controlan las emisiones vehiculares.

Para remover los COS de la gasolina y obtener combustibles de ultra bajo azufre (ULSD), se utiliza un proceso denominado hidrodesulfuración (HDS). Consiste en hacer reaccionar los COS con hidrógeno sobre un catalizador a alta temperatura y presión. Los COS son convertidos principalmente a ácido sulfhídrico (H_2S) que luego se separa, dejando una gasolina con niveles de azufre extremadamente bajos. (Vivas, A. et al., 2012).

Principios de hidrodesulfuración

La hidrodesulfuración es un procedimiento que emplea hidrógeno y catalizadores para procesar crudos pesados y ligeros, así como cortes de destilación, con el objetivo de mejorar diversos atributos del producto, como el olor, el color y la estabilidad (Pascual, 2018).



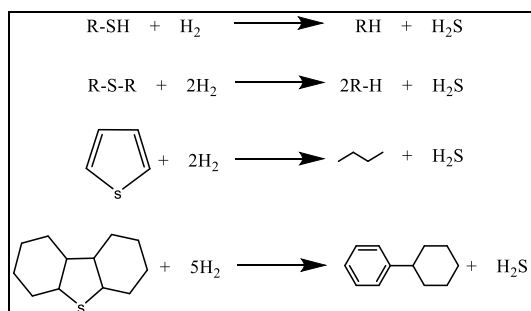
Durante este método, se eliminan compuestos de azufre como el sulfuro de hidrógeno, el nitrógeno y las diolefinas. Sin embargo, el carbono y los metales, eliminados de forma incompleta en etapas anteriores, se acumulan en los catalizadores a lo largo del proceso. Estos elementos compiten por los sitios activos del catalizador frente a los compuestos de azufre, lo que provoca una reducción de su eficacia. En consecuencia, es esencial una combinación o regeneración constante de los catalizadores para mantener su actividad durante el tratamiento. (Alvarez, E. Cedeño, P. et al., 2021).

La eficacia de la hidrodesulfuración depende de varios factores, como la naturaleza de la fracción de petróleo sometida a tratamiento (composición y tipos de compuestos de azufre presentes), la selectividad y actividad del catalizador utilizado (concentración de sitios activos, propiedades del soporte, etc.), las condiciones de reacción (presión, temperatura, relación hidrocarburo/hidrógeno, etc.) y el diseño del proceso. (Barbosa, 2014). Es primordial destacar que el H_2S debe eliminarse continuamente, ya que actúa como inhibidor de las reacciones de HDS y puede contaminar el catalizador. El catalizador, que acelera la reacción mediante la formación de compuestos intermedios, se emplea para facilitar la reacción y se regenera al finalizar para garantizar que no se agote a lo largo del proceso. La alúmina es un ejemplo ilustrativo de catalizador (Acea, 2021).

Reacciones durante el proceso de hidrodesulfuración

La hidrodesulfuración (HDS) es un método que se aplica en el refinado del petróleo para disminuir el contenido de azufre que se encuentra en diferentes fracciones del petróleo (Pérez y Villa, 2015). Este proceso tiene lugar en la unidad de Tratamiento Hidrotérmico (HDT), y a continuación se describen algunas reacciones representativas que tienen lugar durante este proceso.

Ilustración 1. Reacciones de hidrodesulfuración



Durante este procedimiento, la entrada a la unidad de Tratamiento Hidrotérmico (HDT), que consiste en una mezcla de materia prima e hidrógeno, se dirige a través de un catalizador de Co-Mo a ajustes

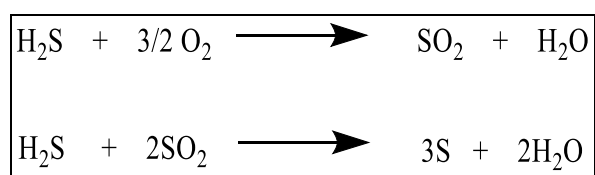
adecuados de presión y temperatura. El objetivo principal es romper los enlaces carbono-azufre y saturar con hidrógeno las valencias vacantes resultantes (Demirbas., Balubaid., et al, 2015). La meta es convertir el compuesto de azufre en los hidrocarburos apropiados, lo que conduce a la producción de sulfuro de hidrógeno como resultado secundario. Además, el proceso de hidrodeshulfuración incluye una reacción exotérmica, en la que la velocidad de reacción aumenta a medida que se incrementan la temperatura y la presión parcial de hidrógeno (Dávila J. et al., 2012).

La eficacia de la hidrodeshulfuración depende de varios factores, como la composición y los tipos de compuestos de azufre de la fracción de petróleo que se va a tratar, la selectividad y la actividad del catalizador empleado, y las condiciones de reacción y la configuración del proceso (Meneses, E. et al., 2007). Lograr un equilibrio en los parámetros operativos es crucial para garantizar la estabilidad, una baja temperatura de funcionamiento y la eficacia global de la hidrodeshulfuración, teniendo en cuenta consideraciones económicas.

Además, cabe destacar la instalación de medios dentro de la unidad HDT para capturar y eliminar el sulfuro de hidrógeno generado durante el proceso. Esto implica el uso de dietanolamina (DEA) pobre en sulfuro de hidrógeno para absorber el gas rico en H_2S , seguido de la regeneración de la DEA rica para eliminar el H_2S . En la unidad de recuperación de azufre, el sulfuro de hidrógeno se transforma en azufre sólido mediante el proceso Claus, alcanzando una eficiencia estimada de recuperación de azufre de alrededor del 94% Pascual, 2018).

La conversión de sulfuro de hidrógeno (H_2S) en azufre se produce a través de la combustión regulada con aire, donde un tercio del H_2S sufre oxidación a dióxido de azufre (SO_2). A continuación, el dióxido de azufre reacciona con el sulfuro de hidrógeno restante, dando lugar a la producción de azufre y vapor de agua. (Demirbas., et al, 2015).

Ilustración 2. Reacciones del proceso Claus



Descripción del método de hidrodesulfuración a nivel de laboratorio.

La selección cuidadosa del catalizador es esencial, ya que influye en la velocidad y la eficacia de las reacciones de hidrodesulfuración. Previamente al proceso, el petróleo crudo se somete a un pretratamiento para eliminar impurezas y contaminantes. (Jacome, 2016)

Durante la reacción, los compuestos azufrados en el petróleo reaccionan con el hidrógeno, generando productos desulfurados y subproductos ligeros. El monitoreo constante de la temperatura, presión y composición del gas en el reactor asegura condiciones óptimas y permite ajustes según sea necesario (Verma, D. et al., 2022). La eficiencia del proceso se verifica mediante análisis exhaustivos de los productos tratados, y cualquier agotamiento del catalizador se aborda mediante procesos de regeneración. La hidrodesulfuración es esencial para cumplir con normativas ambientales al producir productos petrolíferos más limpios y respetuosos con el medio ambiente. (Cárdenas & Martínez, 2017)

MATERIALES Y EQUIPOS

- **Gasolina o nafta:** corriente que contiene compuestos orgánicos de azufre y se desea hidrodesulfurar.
- **Hidrógeno gas:** se mezcla con la alimentación en una relación típica de 300-1000 pies cúbicos estándar de H₂ por barril de alimentación. Actúa como reactivo.
- **Catalizador:** típicamente a base de sulfuros de molibdeno, cobalto/molibdeno u otros soportados sobre alúmina. Se utiliza un lecho fijo en el reactor.
- **Reactor:** diseñado para soportar altas temperaturas (260-370°C) y presiones (30-130 atm) de operación.
- La corriente de nafta o gasolina se precalienta a unos 260-370°C y se mezcla con hidrógeno gas. La relación hidrógeno/alimentación suele ser de 300-1000 pies cúbicos estándar de hidrógeno por barril.
- La mezcla se hace pasar a alta presión (30-130 atm) sobre un lecho fijo de catalizador en un reactor. Los catalizadores típicos son a base de sulfuros de molibdeno o cobalto/molibdenos soportados sobre alúmina.
- En el reactor, el azufre orgánico reacciona con el hidrógeno sobre el catalizador formando ácido sulfhídrico (H₂S) según reacciones como: $R-S-R' + H_2 \rightarrow R-H + R'-H + H_2S$



- El H₂S se separa del efluente, el cual contiene la nafta o gasolina hidro desulfurada con niveles de azufre reducidos. El azufre se recupera normalmente como azufre elemental.
- Las condiciones de operación (temperatura, presión, relación H₂/alimentación, catalizador) se optimizan para maximizar la conversión de azufre según las especificaciones del combustible. Una HDS más severa requiere condiciones más drásticas.
- La HDS reduce los compuestos sulfurados de la gasolina de niveles iniciales de hasta 1000 ppm a valores por debajo de 10 ppm en gasolinas de ultra bajo azufre. (Valenzuela, 2018)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El contenido de azufre en la gasolina es un tema de suma importancia para la industria de los combustibles, estos estándares de contenido de azufre en la gasolina llegan a variar según el país y la región. En Ecuador, el límite máximo permisible de azufre en la gasolina es de 50 ppm, en cambio, en Colombia este límite máximo de contenido de azufre es de 90 ppm. (Fernández- et al., 2009)

Durante el 2012 los datos obtenidos por (Arrellano, n.d.) Se observó que mientras más sea el octanaje de la gasolina, también incrementa el contenido de azufre de esta. Esto da como resultado, que las emisiones de SO₂ también incrementen. Este problema se debe a que para obtener mayor octanaje se usa más nafta tratada en la mezcla, cuyos porcentajes de azufre es mayor de todas las naftas de refinería. Además de que los datos registrados, señalan que las provincias con mayor consumo de gasolina generan más emisiones de SO₂, siendo estas las provincias de Guayas y Pichincha. (Petroecuador, 2018)

Tabla 1 Emisiones de SO₂ por provincia

Provincia	Emisión SO ₂ Gasolina 1 (t)	Emisión SO ₂ Gasolina 2 (t)	Emisión SO ₂ Gasolina 3 (t)	Emisión SO ₂ Gasolina 4 (t)	% Emisión SO ₂ Gasolina
Azuay	85904	108811	120625	128856	6.8
Bolívar	18056	20405	25479	26684	1.4
Cañar	12195	12697	15375	15698	0.9
Carchi	13608	14727	17749	18684	1.0
Chimborazo	37987	53113	55769	63768	3.4
Cotopaxi	59851	50486	58398	59736	3.2
El Oro	114795	121311	126686	137826	7.3
Esmeraldas	62114	72103	82373	86283	4.6
Galápagos	821	1114	1210	1263	0.1
Guayas	377113	403124	447982	454853	24.1
Imbabura	24636	37115	45139	55303	2.9

Provincia	Emisión SO ₂ Gasolina 1 (t)	Emisión SO ₂ Gasolina 2 (t)	Emisión SO ₂ Gasolina 3 (t)	Emisión SO ₂ Gasolina 4 (t)	% Emisión SO ₂ Gasolina
Loja	37969	48931	53174	56953	3.0
Los Ríos	65576	72708	78601	84044	4.5
Manabí	93482	116451	126366	131033	7.0
Morona Santiago	9278	11461	12268	13733	0.7
Napo	8464	11356	11859	12491	0.7
Orellana	11386	14363	15348	16429	0.9
Pastaza	21230	23450	25385	26443	1.4
Pichincha	85330	134933	136658	158634	8.4
Santa Elena	82347	92550	113184	121173	6.4
Santo Domingo	83557	97480	115156	123166	6.5
Sucumbíos	6293	7344	8320	8992	0.5
Tungurahua	53237	64581	73544	78618	4.2
Zamora Chinchiipe	6022	7628	8431	9033	0.5
Total General	1254194	1588646	1755872	1881291	100.0

Actualmente las normas INEN, se basan en la norma técnica Euro III, que en países más desarrollados está obsoleta, la Euro III es menos exigente que las normas vigentes en otros países, además que las normas INEN no contemplan otros aspectos dentro de la gasolina como el contenido de oxígeno, el índice antidetonante o la estabilidad de oxidación, esto da como resultado, que el impacto ambiental no es considerado causando a su vez mayor consumo de energía, agua y recursos naturales, así como también la generación de residuos peligrosos. (INEN, 2014)

Desde el 2017, Ecuador posee una de las gasolinas de menor calidad en el mercado de la zona, esto debido a la norma euro III mencionada anteriormente, que por sus grandes cantidades de impurezas, esta gasolina no solo genera un gran impacto ambiental sino que también disminuye el tiempo de vida útil de los motores donde se utilizan. (Serrano, 2022)

Impacto ambiental

La importancia medioambiental de la hidrodesulfuración radica en su papel en la disminución de las emisiones de dióxido de azufre resultantes de la utilización de combustibles en diversos medios de

transporte e instalaciones petrolíferas. La mitigación de estos compuestos es vital para prevenir efectos medioambientales adversos, como la lluvia ácida. (Ambientales, n.d)

Inhibición del proceso

En el proceso de hidrodesulfuración, cualquier sustancia que consuma agua afecta negativamente a la reacción. Ejemplos de tales sustancias son el nitrógeno, el carbono y los enlaces aromáticos (Babich, I. Moulijin, J. et al., 2003). Para minimizar este consumo, es importante regular el tiempo, la temperatura y la presión de H_2 . En el caso de la inhibición por H_2S , si la reacción tiene una mayor concentración de este gas, es necesario elevar la temperatura del proceso para mantener la conversión y conservar la calidad (Vivas J. et al., 2012). Sin embargo, esta medida va acompañada de la formación de coque en el catalizador.

Además, la presencia de compuestos que contienen nitrógeno o compuestos aromáticos también afecta a la reacción. Los compuestos nitrogenados actúan como inhibidores de la hidrodesulfuración porque el nitrógeno de estos compuestos, especialmente los de naturaleza básica, interactúa más fuertemente con la corriente de H_2 debido a su energía de adsorción que el azufre de los compuestos azufrados. Para compensarlo, es necesario aumentar la temperatura para mantener el proceso de hidrodesulfuración en las mismas condiciones. (Quintero, 2013)

El proceso de hidrodesulfuración es esencial para cumplir con los estándares ambientales al reducir las emisiones de azufre en los productos petrolíferos. La complejidad y los detalles del proceso pueden variar según la escala de producción y los requisitos específicos de la refinería o la planta de procesamiento. (Dávila Vivas Keidy J, 2012). Mediante reacciones de hidrogenólisis, hidrogenación y ruptura de enlaces C-S, la HDS permite reducir significativamente el contenido de azufre en la gasolina tratada, logrando niveles por debajo de 10 ppm partiendo de concentraciones iniciales de hasta 1000 ppm (Yan, 2020). De esta manera es posible obtener gasolina con especificaciones de ultra bajo azufre (ULSD), lo cual mejora el desempeño de motores y sistemas de control de emisiones. El principal producto de la reacción de HDS es ácido sulfhídrico, del cual puede recuperarse azufre elemental mediante procesos posteriores. Adicionalmente, el tratamiento aumenta el porcentaje de saturados en la gasolina, mejorando así su estabilidad a la oxidación y corrosión.



CONCLUSIONES

La hidrosulfuración es un proceso esencial en la industria del petróleo y gas, que desencadena una serie de transformaciones químicas para reducir o eliminar los compuestos de azufre presentes en los productos derivados del petróleo crudo. Estos compuestos de azufre, como los mercaptanos y sulfuros, pueden tener impactos adversos tanto en el medio ambiente como en la eficiencia de los motores y equipos industriales.

Para la refinación del petróleo, la hidrosulfuración se lleva a cabo en unidades específicas llamadas unidades de hidrotratamiento. Estas unidades están diseñadas para funcionar a temperaturas elevadas y presiones moderadas, y suelen utilizar catalizadores de metales como el níquel o el molibdeno. El proceso implica la reacción química de los compuestos de azufre con hidrógeno, formando sulfuros más ligeros y, en última instancia, generando productos más limpios y de mejor calidad.

La importancia de la hidrosulfuración radica en su contribución a la reducción de emisiones contaminantes durante la combustión de productos derivados del petróleo, lo que ayuda a cumplir con los estándares ambientales y regulatorios. La presencia de azufre en los combustibles puede dar lugar a la emisión de dióxido de azufre (SO₂) durante la combustión, contribuyendo a problemas ambientales como la lluvia ácida y la contaminación atmosférica.

Además de su papel crítico en la refinación del petróleo, la hidrosulfuración también tiene aplicaciones en otras áreas industriales. En la producción de productos químicos, este proceso se utiliza para mejorar la pureza de diferentes compuestos, asegurando que los productos finales cumplan con estándares de calidad específicos. También se emplea en la síntesis de productos farmacéuticos, donde la pureza y la eliminación de impurezas, incluidos los compuestos de azufre, son cruciales para garantizar la seguridad y eficacia de los medicamentos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alvarez-Amparán, M. A., & Cedeño-Caero, L. (2020). Análisis y relevancia de los procesos catalíticos para la remoción de azufre en los combustibles fósiles. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria En Nanociencias y Nanotecnología*, 14(26), 1e–21e.

<https://doi.org/10.22201/CEIICH.24485691E.2021.26.69633>



- Benjamín Huitrón Quintero. (2013). Evolución del proceso de hidrodesulfuración por el manejo de tipo de crudo. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.
- Dávila Vivas Keidy J., Dugarte S. María de los Angeles., Gutierrez Mileidys, & Muñoz Cintia P. (2012). Planta de Hidrodesulfuración para reducir la cantidad de compuestos azufrados presentes en crudo pesado. Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Química. Dto. De Química y Aplicada. Química Industrial I.
- Fernández-Feal, C., Fernández-Feal, L., Escudero, P., & Pérez-Prado, J. R. (2009). Evolution of Sulphur Content in Commercialized Gasoline in Galicia (Spain) as a Result of the Application of the Royal. 20(1), 53–65. <https://doi.org/10.1612/inf.tecnol.3986it.08>
- Fernando Riñones Pascual. (2018). UNIDAD DE HIDROTRATAMIENTO DE LA REFINERÍA DE REPSOL DE A CORUÑA. Universidade da Coruña.
- Lenntech.es. (n.d.). Azufre (S) Propiedades químicas y efectos sobre la salud y el medio ambiente. Retrieved January 12, 2024, from <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/s.htm>
- Abou El Lei, I. M., & Al Farjani, A. (2020). Evaluation and Characterization Parameters of Crude Oils and Petroleum Fractions.,6(2). <https://doi.org/10.59743/jmset.v6i2.38>
- Babich, I. V., & Moulijn, J. A. (2003). Science and technology of novel processes for deep desulfurization of oil refinery streams: A review. In Fuel (Vol. 82, Issue 6). [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(02\)00324-1](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(02)00324-1)
- Barbosa, A. L., Vega, A. F., De, E., & Amador, R. (2014). HIDRODESULFURACIÓN DE CRUDOS DE PETRÓLEO: BASE PARA EL MEJORAMIENTO DE COMBUSTIBLES. UNA REVISIÓN HYDRODESULFURIZATION OF CRUDE OIL: BASIS FOR IMPROVING FUEL. A REVIEW. In Av. Cien. Ing (Vol. 5, Issue 3). Julio/Septiembre. http://www.exedu.com/publishing.cl/av_cienc_ing/
- Demirbas, A., Balubaid, M. A., Basahel, A. M., Ahmad, W., & Sheikh, M. H. (2015). Octane Rating of Gasoline and Octane Booster Additives. Petroleum Science and Technology, 33(11). <https://doi.org/10.1080/10916466.2015.1050506>
- Ecuador, Q., & Requisitos, G. (2012). INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 935:2010 Séptima Revisión.



- En, P., Ambientales, C., Que Presenta, T., Alejandra, A., Herrera, A., René, J., & Méndez, R. (n.d).
INSTITUTO POTOSINO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA
Desulfuración y desnitrógenación de un diésel modelo mediante carbón activado modificado
con (oxi)hidróxidos de Fe y Mn.
- Heidy Pérez y Pilar Villa. (2015, May 10). Desulfuración Biológica: Una Alternativa Para El
Tratamiento De Emisiones De Gases A La Atmósfera. [https://estrucplan.com.ar/desulfuracion-
biologica-una-alternativa-para-el-tratamiento-de-emisiones-de-gases-a-la-atmosfera/](https://estrucplan.com.ar/desulfuracion-biologica-una-alternativa-para-el-tratamiento-de-emisiones-de-gases-a-la-atmosfera/)
- ICCT. (2011). INTRODUCCIÓN A LA REFINACIÓN DEL PETRÓLEO Y PRODUCCIÓN DE
GASOLINA Y DIÉSEL CON CONTENIDO ULTRA BAJO DE AZUFRE.
[Www.mathproinc.com](http://www.mathproinc.com)
- INEN. (2014). Norma-de-normas.-Principios-de-normalización. Norma Técnica Ecuatoriana .
- Lapuerta, M., Rodríguez-Fernández, J., & Armas, O. (2010). Correlation for the estimation of the
density of fatty acid esters fuels and its implications. A proposed Biodiesel Cetane Index.
Chemistry and Physics of Lipids, 163(7). <https://doi.org/10.1016/j.chemphyslip.2010.06.004>
- Ian for gasoline desulfurization. Fuel, 333. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.126315>
- Meneses-Ruiz, E., Laredo, G. C., & Soto-Angulo, M. I. (2007). Evaluación de parámetros de adsorción
de hidrocarburos sobre una malla molecular por cromatografía de gas inversa. Tecnol. Ciencia
Ed. (IMIQ), 22(1), 30–34.
- Miguel Romo. (2012). Proceso de Hidrodesulfuración de Naftas | PPT.
https://es.slideshare.net/Rmo_miguel/proceso-de-hidrodesulfuracion-de-naftas
- Moran, F., Zuñiga, J., & Marriot, F. (2009). Estimación de las elasticidades de la demanda de gasolina
en el Ecuador: un análisis empírico: .
- Petroecuador. (2018). Informe Estadístico 1972-2017.
- RACE. (2023). De la Euro 0 a la futura Euro 7: así son las normativas medioambientales para vehículos
de la UE. <https://www.race.es/normativa-euro-6>
- Serrano, D. (2022, March 8). Calidad de gasolinas: Normativa de Ecuador incumple rango
internacional. 1–1.



- VALENZUELA CHANATASIG, & CRISTIAN DENNYS. (2018). EXTRACCIÓN DE AZUFRE DE LA GASOLINA COMERCIALIZADA EN EL ECUADOR CON TETRAFLUOROBORATO DE 1-BUTIL-3-METILIMIDAZOLIO [BMIM] [BF4] COMO SOLVENTE DE EXTRACCIÓN. [Www.mathproinc.com](http://www.mathproinc.com)
- Verma, D. K., & des Tombe, K. (2002). Benzene in Gasoline and Crude Oil: Occupational and Environmental Implications. *AIHAJ*, 63(2).
[https://doi.org/10.1202/0002-8894\(2002\)063<0225:bigaco>2.0.co:2](https://doi.org/10.1202/0002-8894(2002)063<0225:bigaco>2.0.co:2)
- Villarreal Ger, M. O. (n.d.). CAPITULO II ESPECIFICACIONES TECNICAS APLICADAS EN CRUDOS.
- Comisión Europea. (2016). Normas de emisiones de la UE para vehículos de motor.
https://ec.europa.eu/growth/sectors/automotive/environment-protection/emissions_es
- CONCAWE. (2015). Impact of the evolution of the transport sector on oil refining in the EU.
https://www.concawe.eu/wp-content/uploads/2017/01/rpt_15-8.pdf
- Álvarez-Amparán, M. A., Cedeño-Caero, L., Álvarez-Amparán, M. A., & Cedeño-Caero, L. (2021). Análisis y relevancia de los procesos catalíticos para la remoción de azufre en los combustibles fósiles. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria En Nanociencias y Nanotecnología*, 14(26), 1e–21e. <https://doi.org/10.22201/CEIICH.24485691E.2021.26.69633>
- Heidy Pérez y Pilar Villa. (2015, May 10). Desulfuración Biológica: Una Alternativa Para El Tratamiento De Emisiones De Gases A La Atmósfera. <https://estrucplan.com.ar/desulfuracion-biologica-una-alternativa-para-el-tratamiento-de-emisiones-de-gases-a-la-atmosfera/>
- Meneses-Ruiz, E., Laredo, G. C., & Soto-Angulo, M. I. (2007). Evaluación de parámetros de adsorción de hidrocarburos sobre una malla molecular por cromatografía de gas inversa. *Tecnol. Ciencia Ed. (IMIQ)*, 22(1), 30–34.
- Miguel Romo. (2012). Proceso de Hidrodesulfuracion de Naftas | PPT.
https://es.slideshare.net/Rmo_miguel/proceso-de-hidrodesulfuracion-de-naftas
- Valenzuela Chanatasig, & Cristian Dennys. (2018). Extracción de azufre de la gasolina comercializada en el ecuador con tetrafluoroborato de 1-butil-3-metilimidazolio [bmim] [bf4] como solvente de extracción. [Www.mathproinc.com](http://www.mathproinc.com)



Unión Europea. (2007). REGLAMENTO (CE) No 715/2007 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL
CONSEJO. 1–16. <https://www.boe.es/doue/2007/171/L00001-00016.pdf>

