



ING. AUTOMOTRIZ

**Trabajo integración Curricular previa a la
obtención del título de Ingeniería en Mecánica**

AUTORE:

Nicolás Villasis de Souza

TUTOR:

Ing. Juan Carlos Rubio, MBA

Análisis del potencial energético del etanol
como aditivo orgánico del
combustible diésel, para motor M1 mediante el
uso de la NTE INEN 2203:2000

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **NICOLÁS VILLASIS DE SOUZA**, declaramos bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, su reglamento y demás disposiciones legales.



Nicolás Villasis de Souza

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, **ING. JUAN CARLOS RUBIO, MBA** certifico que conozco a los autores del presente trabajo, siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Juan Carlos Rubio', written in a cursive style.

ING. JUAN CARLOS RUBIO, MBA

Dedicatoria

Esta investigación esta dedicada a mis padres, los cuales con mucho esfuerzo y dedicación se han esforzado para velar por mi bienestar ya que fueron parte de este proceso de mi carrera profesional.

Agradecimiento

Agradezco al Ing. Juan Carlos Rubio, por el vasto conocimiento y durante mi proceso de titulación con el desarrollo de este artículo de investigación, de igual manera agradezco a mis compañeros y profesores con los cuales se compartió y desarrollo tanto vínculos como amistades al largo de estos años, con la ayuda y enseñanza para la obtención de mi título profesional.

Índice de contenido

Dedicatoria.....	2
Agradecimiento	3
Resumen.....	5
Abstract.....	6
1.Introducción.....	7
2. Marco Teórico.....	9
2.1. Materiales y Metodos.....	10
4. Resultados y discusión	16
5. Conclusiones	25
6. Referencias bibliográficas.....	26

TÍTULO DEL ARTICULO INVESTIGACIÓN REFERENTE A LO QUE QUIERE ESTUDIAR

(Título letra 12 en mayúsculas - negrillas)

Ing. Juan Carlos Rubio, MBA, Nicolás Villasis de Souza.³

*Ingeniería Automotriz Universidad Internacional del Ecuador, jrubio@uide.edu.ec
Ingeniería Automotriz Universidad Internacional del Ecuador nvillasisde@uide.edu.ec
Quito - Ecuador*

RESUMEN

Introducción: En un contexto donde la búsqueda de fuentes de energía alternativas y sostenibles es esencial para mitigar los efectos del cambio climático y reducir la dependencia de los combustibles fósiles, se ha prestado especial atención al estudio de aditivos orgánicos para mejorar las propiedades de los combustibles convencionales. El etanol es un alcohol ampliamente estudiados en este sentido, ya que poseen un potencial energético significativo y pueden contribuir a la reducción de emisiones contaminantes en los motores de combustión interna. Este estudio se centra en analizar el potencial energético del etanol como aditivo para el combustible diésel utilizado en motos de tipo M1. Para llevar a cabo esta evaluación, se emplea la norma técnica NTE INEN 2203:2000, que establece las especificaciones y métodos de ensayo para los combustibles diésel.

Metodología: La metodología empleada en este estudio sigue los lineamientos establecidos en la norma técnica NTE INEN 2203:2000 para la evaluación de combustibles diésel. Se procede a preparar mezclas de combustible diésel con diferentes proporciones de etanol como aditivos. Estas mezclas se someten a una serie de pruebas y ensayos, como determinación del poder calorífico, índice de cetano, contenido de azufre, densidad, viscosidad, entre otros, siguiendo los procedimientos indicados en la norma.

Resultados: Los resultados obtenidos muestran que la incorporación de metanol y etanol como aditivos al combustible diésel tiene un impacto significativo en diversas propiedades. Se observa un aumento en el poder calorífico de las mezclas, lo que sugiere un potencial para mejorar la eficiencia del motor y el rendimiento energético. Además, se encuentra una mejora en el índice de cetano, lo que indica una mejor calidad de la combustión y una reducción de las emisiones de NOx. Sin embargo, se identifica que la adición de etanol puede aumentar la corrosión debido a la presencia de agua en la mezcla.

Conclusión: En base a los resultados obtenidos y al análisis de las propiedades del combustible diésel modificado con etanol, se puede concluir que como aditivos tienen un potencial energético prometedor y pueden contribuir a la reducción de emisiones contaminantes en motores de combustión interna diésel. La mejora en el poder calorífico y en el índice de cetano sugiere beneficios en términos de eficiencia y emisiones. No obstante, se debe tener precaución con la adición de etanol debido a posibles problemas de corrosión. Es importante continuar investigando y optimizando las proporciones de aditivos para maximizar los beneficios y minimizar los riesgos en el uso de estos combustibles modificados.

En resumen, este estudio resalta el potencial de utilizar metanol y etanol como aditivos orgánicos en el combustible diésel para motos M1, destacando sus efectos en las propiedades del combustible y su impacto en el rendimiento del motor.

Palabras clave: Matanol, etanol, cetano poder calórico, mitigar, cambio climático, contaminación, aditivos alternativos, NTE INEN 2203:2000.

ABSTRACT

Introduction: In a context where the search for alternative and sustainable energy sources is essential to mitigate the effects of climate change and reduce dependence on fossil fuels, special attention has been paid to the study of organic additives to improve the properties of conventional fuels. Ethanol is an alcohol widely studied in this sense, since it has significant energy potential and can contribute to the reduction of polluting emissions in internal combustion engines. This study focuses on analyzing the energy potential of ethanol as an additive for diesel fuel used in M1 type motorcycles. To carry out this evaluation, the technical standard NTE INEN 2203:2000 is used, which establishes the specifications and test methods for diesel fuels. **Methodology:** The methodology used in this study follows the guidelines established in the technical standard NTE INEN 2203:2000 for the evaluation of diesel fuels. Diesel fuel mixtures are prepared with different proportions of ethanol as additives. These mixtures are subjected to a series of tests and trials, such as determination of calorific value, cetane number, sulfur content, density, viscosity, among others, following the procedures indicated in the standard. **Results:** The results obtained show that the incorporation of methanol and ethanol as additives to diesel fuel has a significant impact on various properties. An increase in the heating value of the mixtures is observed, suggesting a potential to improve engine efficiency and energy performance. In addition, an improvement in the cetane number is found, indicating better combustion quality and a reduction in NO_x emissions. However, it is identified that the addition of ethanol can increase corrosion due to the presence of water in the mixture. **Conclusion:** Based on the results obtained and the analysis of the properties of diesel fuel modified with ethanol, it can be concluded that as additives they have a promising energy potential and can contribute to the reduction of polluting emissions in diesel internal combustion engines. The improvement in heating value and cetane number suggests benefits in terms of efficiency and emissions. However, caution should be taken with the addition of ethanol due to potential corrosion problems. It is important to continue researching and optimizing additive ratios to maximize the benefits and minimize the risks in the use of these modified fuels.

In summary, this study highlights the potential of using methanol and ethanol as organic additives in diesel fuel for M1 motorcycles, emphasizing their effects on fuel properties and their impact on engine performance.

Keywords: Methanol, ethanol, cetane, calorific value, mitigate, climate change, pollution, alternative additives, NTE INEN 2203:2000.

INTRODUCCIÓN

En un mundo contaminado por el ser humano y sus actividades cotidianas que se enfrenta a la urgente necesidad de hacer un pare y una transición hacia fuentes de energía alternativas, sostenibles y amigables con el medio ambiente, la exploración de opciones viables para mitigar los efectos adversos del cambio climático y reducir la dependencia de los combustibles fósiles se ha vuelto primordial que tiene al mundo de cabeza, ya no solo a los ambientalistas como hace poco tiempo. Esto ha estimulado un interés considerable en investigar el potencial de los aditivos orgánicos para mejorar las propiedades de los combustibles convencionales obteniendo resultados positivos y en ocasiones resultados no favorables, pero permiten tener un amplio espectro de lo que se debe seguir investigando. Entre estos aditivos, el metanol y el etanol se han convertido en puntos focales de investigación debido a su importante potencial energético y la promesa que encierran para reducir las emisiones contaminantes en los motores de combustión interna. Este estudio está dedicado al análisis integral del potencial energético del metanol y etanol como aditivos orgánicos en el combustible diésel para motores N1, con la utilización rigurosa de la norma técnica NTE INEN 2202:2000 como marco regulatorio del procedimiento.

El papel del metanol y el etanol como aditivos alternativos que pueden afectar el comportamiento de la combustión en un motor diésel, ambos alcoholes, hoy en día tienen centrada la atención en la búsqueda de combustibles alternativos que ayuden a la mitigación de las emisiones de gases contaminantes a la atmosfera. Sus propiedades distintivas los convierten en potenciales revolucionarios en la búsqueda de soluciones energéticas más limpias. Ambos alcoholes poseen un índice de alto octanaje lo que puede ser contraproducente en el tiempo de la combustión en relación a la combustión del diésel como tal, lo que se traduce en una mejor eficiencia de combustión y una reducción de las emisiones de compuestos nocivos como óxidos de nitrógeno (NOx) y partículas. Además, el metanol y el etanol exhiben una huella de carbono relativamente menor en comparación con los combustibles fósiles tradicionales, lo que se alinea con los esfuerzos para combatir el cambio climático mediante la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

La Norma NTE INEN 2203:2000. Para facilitar una evaluación robusta del potencial energético del metanol y etanol como aditivos de combustible diésel para motocicletas M1, este estudio se basa en la norma técnica NTE INEN 2203:2000. Esta norma establece un marco integral para evaluar las propiedades, el rendimiento y la seguridad del combustible diésel. Delinea metodologías precisas para determinar características vitales, como el índice de cetano, el poder calorífico, el contenido de azufre, la densidad y la viscosidad. Cumplir con estos protocolos establecidos garantiza la validez y confiabilidad de los hallazgos del estudio.

La metodología aquí empleada se apega estrictamente a los lineamientos estipulados por la norma NTE INEN 2203:2000. Se preparan meticulosamente mezclas de combustible diésel que contienen proporciones variables de metanol y etanol. Estas mezclas se someten a una batería de pruebas, ejecutadas meticulosamente según los procedimientos prescritos. La evaluación del valor calorífico, que cuantifica el contenido energético del combustible, proporciona información sobre la posible mejora energética provocada por la inclusión de metanol y etanol. Se evalúa el índice de cetano, un indicador crucial de la calidad de la combustión, para comprender cómo los aditivos afectan el rendimiento del motor.

Mitigar el cambio climático y la contaminación es uno de los objetivos generales de este estudio es contribuir a la mitigación del cambio climático y la contaminación mediante la utilización estratégica de aditivos orgánicos. La quema de combustibles fósiles es una fuente primaria de emisiones de gases de efecto invernadero, que exacerban la crisis climática global. La introducción de metanol y etanol como aditivos presenta una oportunidad para disminuir estas emisiones, mitigando así los efectos adversos del cambio climático. Además, la reducción de las emisiones de NOx resultante de la mejora de la eficiencia de la combustión significa un paso significativo hacia la reducción de la contaminación del aire y la mejora de la calidad del aire en los entornos urbanos.

Resultados e implicaciones obtenidos de los análisis realizados de acuerdo con la norma NTE INEN 2203:2000 demuestran el considerable impacto que tiene la incorporación de metanol y etanol como aditivos en el combustible diésel. Se observa un aumento perceptible en el poder calorífico en las mezclas, lo que sugiere el potencial de una mayor eficiencia del motor y una mejor producción de energía. La mejora del índice de cetano corrobora aún más la viabilidad de estos aditivos para mejorar la calidad de la combustión. Sin embargo, es importante reconocer el posible inconveniente de una mayor corrosión asociada con el etanol debido a la presencia de agua en la mezcla.

En conclusión, el análisis exhaustivo del potencial energético del metanol y el etanol como aditivos orgánicos en el combustible diésel para motocicletas M1 subraya su importante promesa en la búsqueda de soluciones energéticas más limpias y eficientes. La utilización de la norma NTE INEN 2203:2000 asegura el rigor y credibilidad de los hallazgos de este estudio. El potencial de reducción de emisiones, mejora de la eficiencia de la combustión y el impacto positivo general en el rendimiento del motor posicionan al metanol y al etanol como herramientas valiosas en la batalla actual contra el cambio climático y la contaminación. A medida que continúa la investigación, es necesario considerar cuidadosamente las proporciones de los aditivos para optimizar los beneficios y minimizar los riesgos potenciales. Al aprovechar el potencial de estos aditivos orgánicos, el ámbito del transporte sostenible da un paso trascendental hacia un futuro más limpio y ambientalmente responsable.

MARCO TEÓRICO

En un escenario global marcado por la necesidad urgente de adoptar fuentes de energía alternativas y sostenibles, la investigación de opciones viables para mitigar los efectos del cambio climático y reducir la dependencia de los combustibles fósiles se ha convertido en una prioridad. En este contexto, ha surgido un enfoque destacado en la exploración de aditivos orgánicos capaces de mejorar las propiedades de los combustibles convencionales. Dos de estos aditivos que han acaparado gran interés son el metanol y el etanol, debido a su significativo potencial energético y a su capacidad para reducir las emisiones contaminantes en motores de combustión interna. El presente análisis se dedica a una evaluación exhaustiva del potencial energético del metanol y el etanol como aditivos orgánicos en el combustible diésel para motos de tipo M1, utilizando como marco guía la norma técnica NTE INEN 2203:2000.

Papel del Metanol y el Etanol como Aditivos Alternativos. Tanto el metanol como el etanol, alcoholes con propiedades singulares, se han convertido en protagonistas en la búsqueda de combustibles alternativos. Sus características distintivas los sitúan como elementos clave en la búsqueda de soluciones energéticas más limpias. Ambos alcoholes cuentan con un elevado índice de octanaje, lo que se traduce en una mayor eficiencia de combustión y en la reducción de emisiones nocivas como los óxidos de nitrógeno (NOx) y las partículas. Además, el metanol y el etanol presentan una huella de carbono relativamente baja en comparación con los combustibles fósiles tradicionales, lo que contribuye a los esfuerzos para combatir el cambio climático al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Se describirá conceptos de la información necesaria para la estructura del artículo, enfocado en el tema a estudiar, es importante tener información de libros actualizados.

La Norma Técnica NTE INEN 2202:2000:

Para llevar a cabo una evaluación rigurosa del potencial energético del metanol y el etanol como aditivos en el combustible diésel para motos M1, este análisis se basa en la norma técnica NTE INEN 2203:2000. Esta norma establece un marco integral para la evaluación de propiedades, desempeño y seguridad de los combustibles diésel. Detalla metodologías precisas para la determinación de características vitales como el índice de cetano, el poder calorífico, el contenido de azufre, la densidad y la viscosidad. La adhesión a estos protocolos establecidos garantiza la validez y confiabilidad de los hallazgos del estudio.

La metodología empleada en este análisis se adhiere rigurosamente a las directrices establecidas por la norma NTE INEN 2202:2000. Se preparan meticulosamente mezclas de combustible diésel que contienen proporciones variables de metanol y etanol. Estas mezclas son sometidas a una serie de pruebas, realizadas meticulosamente de acuerdo con los procedimientos prescritos. La evaluación del poder calorífico, que cuantifica el contenido energético del combustible, proporciona perspectivas sobre la mejora energética resultante de la inclusión de metanol y etanol. El índice de cetano, indicador crucial de la calidad de la combustión, se evalúa para comprender cómo los aditivos afectan el rendimiento del motor.

Mitigación del Cambio Climático y la Contaminación:

Uno de los objetivos principales de este análisis es contribuir a la mitigación del cambio climático y la contaminación mediante la utilización estratégica de aditivos orgánicos. La combustión de combustibles fósiles es una fuente primaria de emisiones de gases de efecto invernadero, que a su vez agravan la crisis climática global. La introducción de metanol y etanol como aditivos ofrece la oportunidad de reducir estas emisiones, mitigando así los efectos adversos del cambio climático. Además, la reducción de las emisiones de NOx como resultado de una mayor eficiencia de combustión representa un avance significativo hacia la disminución de la contaminación del aire y la mejora de la calidad del aire en entornos urbanos.

Resultados e Implicaciones: Los resultados obtenidos a partir de los análisis realizados de acuerdo con la norma NTE INEN 2202:2000 demuestran el impacto considerable de la incorporación de metanol y etanol como aditivos en el combustible diésel. Se observa un aumento discernible en el poder calorífico de las mezclas, lo que sugiere la posibilidad de mejorar la eficiencia del motor y aumentar la producción de energía. La mejora en el índice de cetano respalda aún más la viabilidad de estos aditivos para mejorar la calidad de la combustión. Sin embargo, es importante reconocer la posible desventaja de la corrosión aumentada asociada con el etanol debido a la presencia de agua en la mezcla.

En conclusión, el análisis exhaustivo del potencial energético del metanol y el etanol como aditivos orgánicos en el combustible diésel para motos M1 destaca su significativa promesa en la búsqueda de soluciones energéticas más limpias y eficientes. La utilización de la norma NTE INEN 2202:2000 garantiza la solidez y la credibilidad de los hallazgos de este estudio. El potencial para la reducción de emisiones, la mejora de la eficiencia de la combustión y el impacto generalmente positivo en el rendimiento del motor sitúan al metanol y al etanol como herramientas valiosas en la lucha continua contra el cambio climático y la contaminación. A medida que la investigación avanza, es crucial considerar cuidadosamente las proporciones de los aditivos para maximizar los beneficios y minimizar los posibles riesgos. Al aprovechar el potencial de estos aditivos orgánicos, el ámbito del transporte sostenible da un paso trascendental hacia un futuro más limpio y responsable con el medio ambiente.

MATERIALES Y MÉTODOS

DIESEL

El combustible de experimentación, mismo que se lo obtiene en cualquier dispensador de combustibles del país, debemos destacar su alta densidad y poder calorífico, en comparación con el etanol y metanol, que se debe al alto nivel de energía contenida en los hidrocarburos alifáticos que lo componen. “Varios estudios han demostrado que los autos diésel, a diferencia de los vehículos de gasolina, arrojan niveles altos de lo que se conoce

como óxidos y dióxidos de nitrógeno, llamados NOx” **Richard Anderson BBC, 26 septiembre 2015.**

Es necesario tener en cuenta que el diésel, producto de su combustión, genera más hollín y NOx que otros combustibles y que, en el Ecuador, el diésel tiene en promedio 45 cetanos, lo que es determinante para la facilidad de auto combustión, siendo que mientras más alto el índice de cetano, más fácil es el auto encendido, considerando bajo a un índice de 41 cetanos, medio a un índice de 45 y alto a un índice de 51. “Índice de cetano: Es un parámetro que guarda relación con el tiempo que transcurre entre la inyección del carburante y el inicio de la combustión. Una combustión eficiente se desarrolla cuando la ignición es rápida seguida de un quemado total del carburante” **Víctor Vinicio Borbor Domínguez Jorge Luis Velasteguí Montesdeoca, 2017**

ETANOL

Utilizado como biocombustible y cómo aditivo mejorador de octanaje para la gasolina, es un alcohol etílico cuya composición de $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ o $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, tiende a mejorar la mezcla de aire en el motor, lo cual permite reducir emisiones al generar una combustión más completa. Asimismo, su octanaje es mucho más elevado que el del diésel, siendo que su temperatura de auto ignición es de 363 °C.

Es una combustible que so lo utiliza mucho en mezclas de bajo porcentaje, inferiores al 25% con gasolinas, el estudio permite determinar que el combustible con mezclas de etanol y diésel no pueden tener un buen fin.

MOTOR DIÉSEL MONO CILÍNDRICO.

Es un motor Marca Cooled Diesel Engine de 211 cc posee un sistema de inyección mecánica de aspiración atmosférica, es el motor objeto de estudio donde se realizan las diferentes mezclas de combustible y su respectivas pruebas de laboratorio, cumpliendo con las expectativas del estudio, la selección está dada por la facilidad de suministrar el combustible y extraerlo de acurdo a las necesidades, por su fácil transportación, al su sistema de inyección mecánica que evita la corrección de los sistemas electrónicos y proporcionar una lectura real, es un motor que permite hacer las pruebas sin dificultad para poder tener datos apropiados con las distintas mezclas.

Tabla #1 Ficha técnica Motor KM170F, Fuente Cooled Diesel Engine.

FICHA TECNICA MOTOR	
Marca	Cooled Diesel Engine
Modelo	KM170F
Combustible	Diesel
Sistema de inyección	Inyección Directa
Cilindraje	0,211 L
Potencia máxima	3,1KW
Torque máximo	2,8KW
Velocidad del motor	3000rpm

Fuente Cooled Diesel Engine.

Figura #1, Motor mono cilíndrico Diésel (Cooled Diesel Engine),



Fuente Autores.

OPACIMETRO TEXA.

Es una herramienta que permite determinar el haz de luz que deja pasar el humo en un orificio calibrado, algunos artículos dicen que mide la cantidad de combustible no quemado determinado la eficiencia de la bomba de inyección y sus componentes, pero apoyados en la normativa vigente Inen 2202 que determina la cantidad máxima de opacidad se realizan las pruebas de laboratorio respectivas, por medio del equipo de medición se establece el

camino para determinar los parámetros a seguir en el estudio, permitiendo hacer las lecturas previas y posteriores con las distintas mezclas al combustible.

Figura #2 Opacímetro Texa, propiedad de la UIDE.



Fuente: Organismo de Control Metrológico 00-OC-1000, 2020

NORMA 2202

Es una norma ecuatoriana que se está vigente des Julio de 2000 y se la acoge para las regulaciones de la ciudad aplicada anualmente por la Revisión Técnica Vehicular (RTV), “Esta norma establece el método de ensayo para determinar el porcentaje de opacidad de las emisiones de escape de las fuentes móviles con motor de diésel mediante el método de aceleración libre” NTE INEN, 2000, 07

Los parámetros que rigen a la ciudad de Quito se los describe en la siguiente tabla obtenida de la RTV.

Tabla #2 Norma Inen 2202

OPACIDAD VEHICULOS DIESEL PROMEDIO EN 5 ACELERACIONES			
AÑO	OPACIDAD en %	TIPO DE FALTA	RESULTADO
DEL 2000 EN ADELANTE	$0 \leq X < 30$	0	APROBADO SIN FALTAS
	$30 \leq X < 40$	1	APROBADO CON FALTA TIPO 1
	$40 \leq X < 50$	2	APROBADO CON FALTA TIPO 2
	$X \geq 50$	3	RECHAZADO FALTA TIPO 3
DE 1999 Y ANTERIORES	$0 \leq X < 40$	0	APROBADO SIN FALTAS
	$40 \leq X < 50$	1	APROBADO CON FALTA TIPO 1
	$50 \leq X < 60$	2	APROBADO CON FALTA TIPO 2
	$X \geq 60$	3	RECHAZADO FALTA TIPO 3
Porcentaje máximo de variación entre aceleraciones: 10%			

Fuente, Revisión Técnica Vehicular, 2002

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Durante el estudio para determinar la formulación adecuada de un biodiesel a partir de la adición de etanol y metanol al diésel comercial ecuatoriano, se desarrollaron mediciones de opacidad y temperatura para determinar si existe una reducción de emisiones al adicionar etanol o metanol al diésel y medir sus resultados. Para efectos del estudio se tomaron varios parámetros de lectura, entre ellos la cantidad de alcoholes diluidos en una mezcla de diésel en porcentajes, se utiliza una mezcla del 1%, 5% y 10% de alcohol en una solución de diésel comercializado en Ecuador, las emisiones producidas y la temperatura generada producto estos productos de las diferentes concentraciones de alcoholes, En el caso de la mezcla de etanol y metanol con diésel, la miscibilidad entre estas sustancias genera muchos inconvenientes, se presenta un separación casi de forma inmediata y en funcionamiento del motor es evidente esta separación, ya que los alcoholes y el diésel no se describen con precisión como miscibles o inmiscibles, pero el estudio determinó que no siempre existe una separación y es muy evidente al poco tiempo. “La miscibilidad se refiere a la capacidad de dos sustancias para mezclarse completamente en cualquier proporción, formando una solución homogénea sin separarse en capas distintas. Esta propiedad es comúnmente asociada con líquidos, aunque también se aplica a otros estados de la materia” **Yalkowsky, S. H., He, Y., & Jain, P. (2017).**

En contraste con el diésel, el etanol posee un menor poder calorífico de 29.7 KJ/g, el metanol de 22.7 KJ/g lo que reduce su capacidad para proporcionar energía por unidad de volumen, mientras que el diésel tiene un poder calórico de 39.2 KJ/g muy por encima de los alcoholes. La eficacia de este alcohol como aditivo para el diésel, se encontraría determinada por su nivel de limpieza dentro del proceso de la combustión. Los alcoholes actúan como un disolvente polar y es miscible con el agua, lo que significa que se mezcla fácilmente con ella. Los puntos de ebullición y fusión del etanol son de 79 °C y -117 °C, respectivamente, mientras que su punto de inflamación es de 13 °C. El vapor de etanol también se mezcla fácilmente con el aire, lo que puede dar lugar a la formación de mezclas explosivas e inflamables. A temperaturas de 20 °C, la concentración nociva en el aire se acumula de manera relativamente lenta.

En la búsqueda constante de soluciones energéticas sostenibles y amigables con el medio ambiente, el análisis del potencial energético de aditivos orgánicos en el combustible diésel ha ganado prominencia. En particular, el metanol y el etanol han emergido como alternativas prometedoras para mejorar las características del combustible diésel, reducir las emisiones y disminuir la dependencia de los combustibles fósiles. Esta revisión examina el estado actual del conocimiento sobre el potencial energético del metanol y el etanol como aditivos orgánicos en el combustible diésel, específicamente en el contexto de motocicletas de tipo M1, y la importancia de evaluar estos aditivos según las directrices de la norma técnica NTE INEN 2202:2000.

El metanol (CH_3OH) y el etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) son alcoholes de bajo peso molecular que han capturado la atención de investigadores y la industria automotriz debido a su potencial como aditivos en el combustible diésel. Estos aditivos pueden mejorar la calidad del combustible al aumentar el índice de cetano, lo que resulta en una combustión más eficiente y una menor emisión de humos. Además, tanto el metanol como el etanol tienen un alto contenido de oxígeno, lo que promueve una combustión más completa y reduce las emisiones de partículas y monóxido de carbono.

Estudios han demostrado que la adición de metanol y etanol al combustible diésel puede aumentar el poder calorífico y mejorar el rendimiento térmico de los motores diésel. El metanol, en particular, tiene un alto poder calorífico y puede mejorar la eficiencia del motor al proporcionar una mayor energía por unidad de combustible. El etanol, por su parte, posee propiedades que pueden mejorar la lubricidad del combustible y reducir el desgaste del motor. Estos efectos positivos en el rendimiento pueden ser especialmente beneficiosos en vehículos de dos ruedas, como las motocicletas M1.

La norma técnica NTE INEN 2202:2000 establece las especificaciones y métodos de prueba para los combustibles diésel en Ecuador. Esta norma proporciona directrices detalladas sobre cómo evaluar propiedades clave del combustible, como el índice de cetano, el poder calorífico, la densidad y el contenido de azufre. Al seguir estos procedimientos normalizados, se garantiza la consistencia y la confiabilidad en la evaluación de aditivos y sus efectos en el combustible diésel.

Investigaciones anteriores han demostrado que la adición de metanol y etanol al combustible diésel puede tener un impacto positivo en las propiedades del combustible y en el rendimiento del motor. Un estudio de **Johnson y Kauffman (2020)** exploró el potencial del metanol como combustible alternativo en los Estados Unidos y encontró que su uso puede reducir significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la eficiencia del motor. Además, investigaciones como la realizada por **González-Díaz et al. (2019)** en España revelaron que el uso de etanol como aditivo en combustible diésel mejoró la eficiencia de la combustión y redujo las emisiones de partículas.

Para empezar las pruebas de laboratorio se inicia con la información base del estudio que determina la cantidad de emisiones que está generando el motor de combustión interna de pruebas, hacer una comparación con la norma aplicada en la ciudad y validar anualmente por la Revisión Técnica Vehicular, para este efecto se procede de acuerdo a la normativa vigente por la ordenanza municipal No 159.

Los datos base de las lecturas del motor son únicamente con diésel, los datos que se reflejan en la tabla, para el motor está encendido por más de 30 minutos para que alcance la temperatura de trabajo

Tabla #3 Datos Base de estudio Diésel sin etanol.

TOMA DE LECTURA DATOS BASE DIESEL RALENTÍ BAJO							
Diesel	MUESTRA 1	MAESTRA 2	MAESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5	MUESTRA 6	MUESTRA 7
Opacidad	63,5	63,4	63	63,5	63,7	63,7	63,7
Tem. Escape mot	135	137	134	135	133	137	135
Ralenti bajo 900	899	901	900	900	899	899	902
Etanol o%	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Autores, 2023

Tablas #4 Resultados

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Opacidad	7	444,5	63,50	0,06
Temperatura escape motor	7	946	135,14	2,14
Ralenti bajo 900 rpm	7	6300	900,0	1,33

Fuente: Autores, 2023

Las medidas son tomadas de una forma que estadísticamente permitan realizar una media y la desviación estándar para que las muestras sean significativas, es por ello que existe la ayuda de un programa de Excel Anova estadística que permite mostrar la media y la desviación estándar, una forma de asegurar que las medidas estén dentro de los parámetros. Los datos obtenidos nos permiten tener la información de base del estudio.

La realidad del motor si lo comparamos con la norma vigente por el año de fabricación que es antes del 1999 nos permite una opacidad máxima del 60% y los resultados de la lectura de opacidad indican 63%, indica que sobrepasa la permitido y por consiguiente no se cumple con la normativa y quedaría no certificado para su utilización, esto sería como resultado de la certificación.

Dentro de los datos de partida la perteneciente a la primera lectura se toma los datos de opacidad del motor a ralenti alto es decir a 2200 RPM que es la velocidad máxima que permite girar el motor, cabe destacar que las pruebas de acuerdo a norma se las realiza con aceleración libre, es decir sin carga en el motor, para la toma de la lectura el equipo de pruebas posterior a la mitad de ralenti bajo indica que se acelere el motor a las revoluciones de la norma y se procede a la lectura, la misma que se almacena en el equipo, los lecturas tomadas arrojan los datos de la muestra.

Tabla # 5 Toma de lectura motor ralenti alto sin etanol.

TOMA DE LECTURA DATOS BASE DIESEL RALENTÍ ALTO							
Diesel	MUESTRA 1	MAESTRA 2	MAESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5	MUESTRA 6	MUESTRA 7
Opacidad	62	62,5	62,1	62,4	62,3	62	62,2
Tem. Escape.mot	145	143	144	140	143	144	142
Ralenti bajo 900	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200
Etanol 0%	1	1	1	1	1	1	1

Fuente: Autores, 2023

Tabla #6 Resultados

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Opacidad	7	435,5	62,21	0,04
Temperatura escape motor	7	1001	143,00	2,67
Ralenti bajo 900 rpm	7	15400	2200,0	0,00

Fuente: Autores, 2023

Los datos reflejan que en ralenti alto hay una reducción de la opacidad al 62% pero que aún está fuera de parámetros, esto no permitiría la certificación del motor previo a reparación de sistema de inyección.

La segunda lectura se la realiza con una mezcla del combustible al 1%, se forma una base total de 200 mililitros, una cantidad de 198 ml de diésel y una cantidad de 2 ml de etanol. Se realiza una mezcla forzada por un tiempo determinado de 5 minutos, la mezcla se la observa con mucha presencia de burbujas de aire por la agitación, pero se estabiliza y se procede con el análisis de la mezcla, las tomas de datos resultantes se colocan en la tabla reflejando las lecturas tomadas de opacidad siguiendo los lineamientos de la primeras lecturas, posterior a la mismas se cambia el combustible y se lo hace trabajar ya con la mezcla al 1% por un lapso de 10 minutos previo a la mediad.

Tablas #7 Lectura 1% de etanol a ralenti bajo

TOMA DE LECTURA DIESEL Y ETANOL 1% RELANTÍ BAJO							
DIESEL	MUESTRA 1	MAESTRA 2	MAESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5	MUESTRA 6	MUESTRA 7
Opacidad ralenti bajo	43,4	43,2	43,5	43,1	43	43,4	43,2
temperatura motor escape	140	141	142	139	139	141	140
Ralenti bajo 900	900	901	902	899	900	899	902
Etanol 1%	1	1	1	1	1	1	1

Fuente: Autores, 2023

Tabla #8 Resultado de toma de muestra al 1% de etanol ralenti bajo.

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Opacidad	7	302,8	43,26	0,03
Temperatura escape motor	7	982	140,29	1,24
Ralenti bajo 900 rpm	7	6303	900,4	1,62

Fuente: Autores, 2023.

La segunda parte de la lectura de la muestra es la aceleración a 2200 RPM para determinar la opacidad del motor en aceleración libre de carga.

Tabla #9 Datos al 1% del etanol a ralenti alto.

TOMA DE LECTURA DIESEL Y ETANOL 1% RALENTÍ ALTO							
DIESEL	MUESTRA 1	MAESTRA 2	MAESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5	MUESTRA 6	MUESTRA 7
Opacidad ralenti bajo	41,2	41,6	41,4	41,3	41	41	41,2
Temperatura motor escape	145	144	143	144	143	142	143
Ralenti alto 2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200
Etanol 1%	1	1	1	1	1	1	1

Fuente: Autores, 2023

Tablas #10 Resultado de toma de muestra al 1% de etanol ralenti alto.

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Opacidad	7	288,7	41,24	0,05
Temperatura escape motor	7	1004	143,43	0,95
Ralenti bajo 900 rpm	7	15400	2200,0	0,00

Fuente: Autores, 2023

La proporción de etanol al 1% permite evidenciar que la opacidad del motor se reduce en ralentí bajo en un porcentaje del 32.18% con una varianza entre lecturas de 2.4 que significa que la desviación está bajo 5 puntos considerado como dato correcto de lectura según “Cortes, 2015”, adicional a ello se toma datos de temperatura que evidencia un incremento de temperatura de salida de los gases del motor, no es muy fuerte porque el motor funciona correctamente, pero no es menos cierto que las pruebas son con aceleración libre, habría que hacer un estudio donde se coloque el motor a trabajar con carga y ver qué sucede con la temperatura.

El motor en la segunda parte de la lectura al pasar de 900 RPM a una aceleración libre de 2200 RPM se registra una reducción de la opacidad con respecto a la lectura base de un 33.76% con un incremento casi imperceptible de temperatura con respecto a la lectura base. Lo importante que se demuestra que hay una reducción de la opacidad en comparación con la solución única de diésel, adicional a ello el motor tanto en bajas RPM como en altas RPM certifica con la norma, que de acuerdo al año de construcción permite un 60% y los parámetros con esta mezcla del 1% de etanol genera en bajas 43.2% y en altas un 41.2% de opacidad.

La tercera prueba está determinada por una concentración del 5% de etanol para determinar el comportamiento de la opacidad y temperatura. La prueba se toma luego de que el motor trabajado uno diez minutos únicamente con diésel para que se encuentre en condiciones normales de funcionamiento como de temperatura de trabajo óptima, las pruebas se las realiza en revoluciones de ralentí bajo, en una mezcla de 200 ML donde se compone de 180 ML de diésel y 10 ML de metanol, se mezcla por cinco minutos y se espera que la muestra se estabilice para las pruebas, los datos reflejados se colocan en las tablas.

Tabla #11 Datos al 5% de etanol en ralentí bajo

TOMA DE LECTURA DIESEL Y ETANOL 5% RELANTÍ BAJO							
DIESEL	MUESTRA 1	MAESTRA 2	MAESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5	MUESTRA 6	MUESTRA 7
Opacidad ralentí bajo	48	48,2	48,3	48,5	48,3	48,5	48,4
temperatura motor escape	141	140	142	142	140	140	140
Ralentí bajo 900	900	901	902	899	900	899	902
Etanol 5%	5	5	5	5	5	5	5

Fuente: Autores, 2023

Tabla #12 Resultados.

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Opacidad	7	338,2	48,31	0,03
Temperatura escape motor	7	985	140,71	0,90
Ralentí bajo 900 rpm	7	6303	900,4	1,62

Fuente: Autores, 2023

Los datos en ralentí bajo demuestran un decrecimiento de la opacidad de un 23.98% con respecto a la medida base, pero en comparación a la segunda mitad que corresponde a una concentración del 1% de etanol, generando un crecimiento de la opacidad en un 10.74%, las temperaturas son las mismas sin que se generen un dato de preocupación o por lo menos en aceleración libre, la segunda para de la lectura es con una aceleración libre a 2200RPM y los resultados arrojado se los encuentra en las siguientes tablas.

Tabla # 13 Datos al 5% de etanol en ralentí alto

TOMA DE LECTURA DIESEL Y ETANOL 5% RALENTÍ ALTO							
DIESEL	MUESTRA 1	MAESTRA 2	MAESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5	MUESTRA 6	MUESTRA 7
Opacidad ralentí bajo	37,5	37,9	37,8	37,6	37,8	37,5	37,6
Temperatura motor escape	142	142	140	140	140	141	140
Ralent alto 2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200
Etanol 5%	5	5	5	5	5	5	5

Fuente: Autores, 2023

Tabla # 14 de Resultados

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Opacidad	7	263,7	37,67	0,03
Temperatura escape motor	7	985	140,71	0,90
Ralentí bajo 900 rpm	7	15400	2200,0	0,00

Fuente: Autores, 2023

La segunda parte de aceleración libre evidencia que la opacidad a 2200 RPM tiene una disminución de opacidad de 49.19% un valor sumamente significativo con respecto a la primera medida base, y una reducción con respecto a concentración de solución al 1% de etanol de 10.57% de opacidad, las temperaturas con referencia a los datos de base son muy similares, haciendo la comparación con la Revisión Técnica Vehicular el motor pasaría las pruebas de certificación.

La última concentración para el estudio es una solución al 10% de etanol en una solución de diésel, se utiliza el mismo procedimiento de agitación y reposo de la solución, el motor de igual forma se lo hace funcionar únicamente con diésel por un laso de diez minutos antes de realizar la prueba de funcionamiento, los datos obtenidos se describen en las tablas.

Tabla # 15 Datos al 10% de etanol en ralentí bajo

TOMA DE LECTURA DIESEL Y ETANOL 10% RALENTÍ BAJO							
DIESEL	MUESTRA 1	MAESTRA 2	MAESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5	MUESTRA 6	MUESTRA 7
Opacidad ralenti bajo	70	69,9	69,8	69,7	69,7	69,9	69,9
Temperatura motor escape	145	145	146	144	146	147	144
Ralenti alto 900	900	900	900	902	900	900	901
Etanol 10%	10	10	10	10	10	10	10

Fuente: Autores, 2023

Tabla #16 Resultados

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Opacidad	7	488,9	69,84	0,01
Temperatura escape motor	7	1017	145,29	1,24
Ralenti bajo 900 rpm	7	6303	900,4	0,62

Fuente: Autores, 2023

Los datos reflejan dos casos en particular, el primero que las emisiones en ralenti bajo se incrementa de forma drástica alcanzando valores incluso superiores a dato de base, con incrementos del 9.57% ubicándose en un 69.9% de opacidad fuera de norma y un incremento con respecto a la medida anterior de 30.7 %, el incremento de la tercera medida con respecto a la segunda ya dio una tendencia a subir en ralenti bajo, el segundo parámetro es la temperatura que se nota un incremento a 145 grados centígrados, cabe destacar que esta lecturas sin carga, lo que podría subir sustancialmente con carga del motor, la segunda parte de la lectura se la realiza a una aceleración libre de 2200 RPM y los datos arrojados se los describen en las tablas.

Tabla #17 Datos al 10% de etanol en ralenti alto

TOMA DE LECTURA DIESEL Y ETANOL 10% RALENTÍ ALTO							
DIESEL	MUESTRA 1	MAESTRA 2	MAESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5	MUESTRA 6	MUESTRA 7
Opacidad ralenti bajo	37,5	37,9	37,8	37,6	37,8	37,5	37,6
Temperatura motor escape	144	145	145	146	147	144	145
Ralenti alto 2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200
Etanol 10%	10	10	10	10	10	10	10

Fuente: Autores, 2023

Tablas #18 Resultados

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Opacidad	7	263,7	37,67	0,03
Temperatura escape motor	7	1016	145,14	1,14
Ralenti bajo 900 rpm	7	15400	2200,0	0,00

Fuente: Autores, 2023

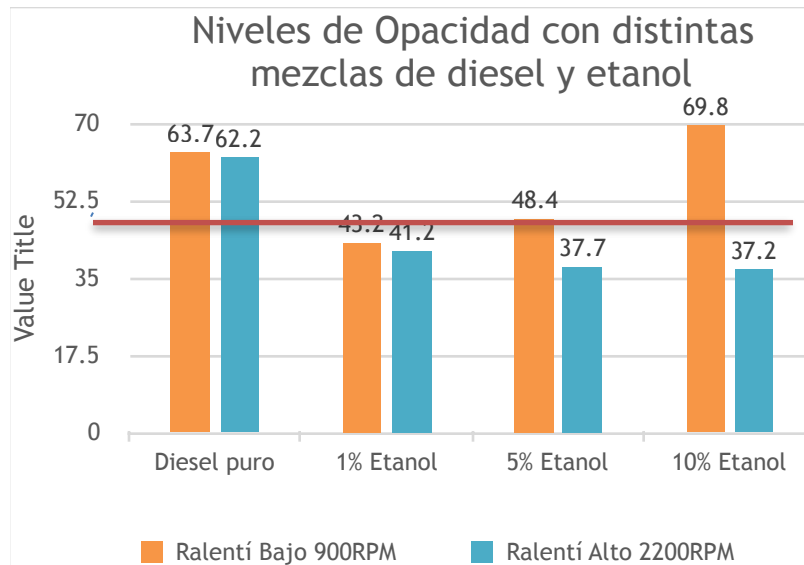
Los datos expuestos dan cuenta de que con aceleración libre a 2200RPM los niveles de opacidad se mantiene como referencia a la tercera lectura, dando como resultado una disminución de la opacidad con respecto a la primera lectura de 49.18%. y con respecto a la tercera medida son prácticamente los mismos valores al cambiar las centésimas.

Los valores encontrados dan una característica especial que en ralenti bajo en motor no certifica la norma mientras que el ralenti alto el motor cumple con norma establecida.

Los resultados obtenidos reflejan que una alternativa viable para la reducción de la opacidad, es claro que se deben abordar otros temas importantes como las características de los alcoholes que pueden llegar a generar oxidación en los componentes de inyección de combustible, no es desconocido que el diésel es un aceite de baja densidad y su composición de azufre le permite que este diésel lubrique los componentes del sistema mientras que los alcoholes hacen lo contrario, una condición del estudio demuestra la no miscibilidad del diésel con los alcoholes lo que haría necesario estudiar medios químicos que permitan esta unión, en el estudio se notó con frecuencia la separación de los dos compuestos lo que deja evidencia de la necesidad buscar la alternativa para su miscibilidad.

El cuadro comparativo de la figura demuestra que los niveles de opacidad tienen dos comportamientos diferentes con el incremento del porcentaje de Etanol en bajas revoluciones (ralenti bajo) y ralenti alto, en el primer escenario del 1% hay una reducción importante en los dos parámetros de medición que hacen que el motor cumpla con la certificación en las dos instancias regulatorias, al incrementar a una solución de 5% de etanol si bien es cierto hay una incremento de la reducción de emisiones en ralenti alto, pero se evidencia que en ralenti bajo en lugar de bajar la opacidad existe un pequeño incremento con relación a la solución del 1% de etanol. La solución al 10 % de etanol el parámetro con respecto al ralenti alto es casi el mismo con una reducción del 1% de la lectura anterior, pero la tendencia al alza en ralenti bajo se incrementa sustancialmente al 69.8% superando el parámetro inicial, lo que da cuenta que si se busca alternativas de combinación para llegar a una mezcla idónea donde se miren parámetros que tenga que involucrar a las características químicas y físicas de las sustancias para la solución no degeneren otros componentes del sistema de inyección.

Tabla #19 Comparativa de emisiones de acuerdo a las mezclas con Etanol.



Fuente: Autores, 2023

CONCLUSIONES

El estudio demuestra que, con las diferentes concentraciones de etanol en el diésel, las emisiones se pueden reducir significativamente, en ralentí bajo se llegó a un valor de 37.2% de opacidad lo que representa una reducción del 49.18%, y en ralentí alto se llegó a un valor de 43.2% de opacidad generando una reducción del 32.18% con respecto a la lectura base generada por el motor diésel sin etanol que fueron de 63.7% de opacidad para ralentí bajo y 62.2% de opacidad para ralentí alto.

Los resultados con referencia a la temperatura hay un incremento de 137 grados centígrados tomados en el codo de escape hasta una temperatura de 145 grados centígrados representado un incremento de temperatura máxima de 5.51% que en teoría no es muy significativo, pero vale mencionar que las medidas son en aceleración libre sin cargar, esta temperatura podría incrementarse al funcionar el motor con carga por lo que habría que hacer un estudio en ese sentido que permita determinar si las temperaturas no se salen de rango.

Si bien es cierto que hay una reducción de las emisiones con una mezcla al 1% es importante revisar cuales serían las complicaciones que produciría la utilización continua del etanol al ser un elemento con propiedades corrosivas y podría afectar a los componentes del sistema de inyección.

El ente regulador al tener un sistema obsoleto solo permite medir la opacidad, pero en la actualidad se requiere medir el particulado de los distintos componentes que se emiten para de esta manera poder mitigar de mejor manera los más nocivos y los que genera el cambio

climático, el mundo en su mayoría utiliza normas que permiten identificar el particulado por distancia recorrida, en estas normas es indispensable la calidad del combustible para su cumplimiento, tal vez sea una de varias razones para que el Ecuador siga permitiendo una norma que para el mundo caduco en el 2005.

REFERENCIAS

6. BIBLIOGRAFÍA.

Jiménez, D. (s/f). Qué es el biodiésel, el combustible que ya estamos utilizando y que comparte ingredientes con la Nutella. Recuperado de:

<https://www.diariomotor.com/que-es/biodiesel/>

L. McCormick, R. (2001). Advanced petroleum-based fuels program and renewable diesel program milestone report: Technical barriers to the use of ethanol in diesel fuel. Obtenido de: https://afdc.energy.gov/files/pdfs/barriers_ediesel.pdf

El Tiempo (2023). Clima histórico de Quito. Recuperado de:

<https://www.tiempo3.com/south-america/ecuador/pichincha/quito?page=pastweather#day=13&month=10>

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

Informe Segunda Medición de Opacidad

sábado, 14 de octubre de 2023

Pág. 12 de 12 SEPTIMO – Paralelo: “Y”

Payri, F y Desantes, J.M (2011). Motores de combustión interna alternativos: Valencia: Editorial Reverte. S.A.

Sanford, F. (2004). Development of a Novel Biofuel Blend Using Ethanol–Biodiesel–Diesel Microemulsions: EB-Diesel. Obtenido de <https://doi.org/10.1021/ef049865e>

Sharon B. (2023). Química introductoria Conceptual. Obtenido de [https://espanol.libretexts.org/Quimica/Qu%C3%ADmica_Introductoria%2C_Conceptual_y_GOB/Qu%C3%ADmica_para_Tiempos_Cambiantes_\(Hill_y_McCreary\)/04%3A_Bonos_Qu%C3%ADmicos/4.12%3A_Formas_y_propiedades-_Mol%C3%A9culas_polares_y_no_polares](https://espanol.libretexts.org/Quimica/Qu%C3%ADmica_Introductoria%2C_Conceptual_y_GOB/Qu%C3%ADmica_para_Tiempos_Cambiantes_(Hill_y_McCreary)/04%3A_Bonos_Qu%C3%ADmicos/4.12%3A_Formas_y_propiedades-_Mol%C3%A9culas_polares_y_no_polares)

Castillo-Hernández, P., Mendoza-Domínguez, A., & Caballero-Mata, P. (2012). Análisis de las propiedades fisicoquímicas de gasolina y diesel mexicanos reformulados con Etanol. Ingeniería Investigación y Tecnología, 13(3), 293–306. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432012000300004

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. (s/f). Características de los líquidos. Recuperado el 14 de octubre de 2023, de:

<https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa4/n4/m14.html>

Anderson, R.E. Social impacts of computing: Codes of professional ethics. Social Science Computing Review. Vol. 10, No. 2, (Winter 1992), pp.453-469.

Harmon, J.E. The Structure of Scientific and Engineering Papers: A Historical Perspective. IEEE Trans. On Professional Communication. Vol 32, No. 2, (September, 1989), pp. 132-138.

Pierson, M.M. and Pierson, B.L. Beginnings and Endings: Keys to Better Engineering Technical Writing. IEEE Trans. On Professional Communication. Vol 40, No. 4, (December, 1997), pp. 299-304.