

Artículo de Investigación

Estudio de la variación del grado de octanaje mediante mezclas de gasolinas extra, súper y aditivo mejorador de octanaje en Ecuador

Study of the variation of octane rating by blending extra, super and octane-boosting additive in Ecuador

Grace Morillo Chandi: Universidad Central del Ecuador, Ecuador.

gamorilloc@uce.edu.ec

Morayma Muñoz Borja¹: Universidad de Alicante, España.

mmb127@alu.ua.es

Luis Freire Cárdenas: EP Petroecuador, Ecuador.

miguel.freire@eppetroecuador.ec

Marco Rosero Espín: Universidad Central del Ecuador, Ecuador.

mvrosero@uce.edu.ec

Fecha de Recepción: 11/06/2024

Fecha de Aceptación: 04/09/2024

Fecha de Publicación: 29/01/2025

Cómo citar el artículo:

Morillo Chandi, G., Muñoz Borja, M., Freire Cárdenas, L. y Rosero Espín, M. (2025). Estudio de la variación del grado de octanaje mediante mezclas de gasolinas extra, súper y aditivo mejorador de octanaje en Ecuador [Study of the variation of octane rating by blending extra, super and octane-boosting additive in Ecuador]. *European Public & Social Innovation Review*, 10, 1-18. <https://doi.org/10.31637/epsir-2025-1388>

¹ Autor Correspondiente: Morayma Muñoz Borja. Universidad de Alicante (España).

Resumen:

Introducción: El uso de la gasolina a nivel mundial sigue creciendo, impactando la economía y la geopolítica. En Ecuador, se comercializan gasolinas con diferentes RON: Extra (85), Eco País (87) y Súper (95). Se evaluó la variación del octanaje de mezclas de gasolinas y la adición de aditivos mejoradores de octanaje. **Metodología:** Los experimentos se realizaron en la Refinería Estatal de Esmeraldas utilizando un Octanómetro tipo chispa, se plantearon tres tipos de muestras: mezclas de Extra con Súper, Eco País con Súper, y Extra con aditivos, la información obtenida se añadió a la base de datos del método FTIR para identificar el RON de manera más rápida y precisa. **Resultados:** Los resultados del FTIR fueron consistentes en un 99% con el Octanómetro. Las mezclas de gasolinas mostraron variaciones en el RON, mientras que la adición de aditivos a la gasolina de 85-RON solo incrementó 1.9 el RON en un solo caso. **Discusión:** A pesar de que este trabajo no es comparable a otros, debido a las características de la gasolina en Ecuador, creemos necesario pasar al estudio de las diferentes mezclas midiendo otros parámetros como el MON y compuestos oxigenados. **Conclusiones:** Las mezclas de combustible en diferentes proporciones si representa una alternativa técnica para el consumidor. Además, se mejoró la prueba de análisis rápido con una curva consistente con el método del octanómetro tipo chispa.

Palabras clave: Mezcla de gasolinas; Octanaje; FTIR; Octanómetro; Gasolina 95-RON; Gasolina 85-RON; Gasolina 87-RON; Ecuador.

Abstract:

Introduction: The use of gasoline worldwide continues to grow, impacting the economy and geopolitics. In Ecuador, gasoline is marketed with different RON: Extra (85), Eco País (87) and Super (95). The octane variation of gasoline blends and the addition of octane-enhancing additives were evaluated. **Methodology:** The experiments were conducted at the Esmeraldas State Refinery using a spark type Octanometer, three types of samples were considered: blends of Extra with Super, Eco País with Super, and Extra with additives, the information obtained was added to the database of the FTIR method to identify the RON in a faster and more accurate way. **Results:** The FTIR results were 99% consistent with the Octanometer. Gasoline blends showed variations in RON, while the addition of additives to 85-RON gasoline only increased RON by 1.9 in one case. **Discussion:** Although this work is not comparable to others, due to the characteristics of gasoline in Ecuador, we believe it is necessary to move on to the study of the different blends by measuring other parameters such as MON and oxygenated compounds. **Conclusions:** The fuel blends in different blends provide a technical alternative for the consumer. In addition, the rapid analysis test was improved with a curve consistent with the spark octanometer method.

Keywords: Fuel mixture; Octane; FTIR; Octanometer; 95-RON gasoline; Gasoline 85-RON; Gasoline 87-RON; Ecuador.

1. Introducción

La gasolina es una mezcla de hidrocarburos obtenidos por destilación del petróleo con una gran demanda a nivel mundial, utilizado como combustible para vehículos urbanos de una amplia gama de modelos. Se debe considerar que uno de los parámetros de rendimiento y eficiencia de la gasolina es el número de octano, el cual corresponde a la resistencia que posee el combustible hacia la detonación en un motor de encendido por chispa (Hadi *et al.*, 2020). El octanaje se mide en dos escalas diferentes: RON (Research Octane Number) y MON (Motor Octane Number). El RON mide la resistencia de la gasolina a la detonación en un motor a velocidad constante; es decir, un mayor RON implica la posibilidad de una mayor compresión

del combustible, alcanzando una mayor presión y temperatura dentro del motor, mientras que el MON mide la resistencia a la detonación en un motor de encendido por chispa en condiciones más severas (Demirbas *et al.*, 2015). Con la finalidad de poder cuantificar la calidad de la gasolina, se utiliza un parámetro conocido como el índice de octano (IO), que es el promedio del RON y MON (ASTM International, 2019); de esta manera, si se tiene un IO elevado, se obtiene una gasolina de mejor calidad con una mayor resistencia a la detonación en el motor.

El octanaje es una medida importante de la calidad de combustibles, que determina los esquemas de producción y afecta en el rendimiento del motor y en las emisiones de gases hacia el medio ambiente. Abdul y colaboradores 2018, reportaron que el octanaje requerido en cada vehículo varía de acuerdo con la tecnología del motor, pues, motores que requieran de una mayor relación de compresión y sistemas de inyección avanzados requieren una gasolina con octanaje más elevado para poder funcionar de manera óptima (Abdul-Manan *et al.*, 2018). Por esta razón, actualmente es muy común la mezcla de combustibles y adición de aditivos para mejorar el octanaje.

Desde esta perspectiva, Demirbas *et al.*, (2015) indican que la mezcla de combustibles consiste en combinar distintos tipos de gasolina, con diferentes octanajes, para obtener un combustible con un octanaje específico, mientras que, en la adición de aditivos estos actúan como inhibidores de corrosión o como lubricantes; además, permiten una disminución en la emisión de gases perjudiciales para los seres vivos y medio ambiente y aumentan la resistencia de la gasolina a detonar en el motor, aumentando su octanaje. Para aumentar el número de octano se pueden utilizar aditivos potenciadores como el tetraetilo de plomo (TEL) y el ferroceno. El TEL es un compuesto utilizado desde 1920; sin embargo, su combustión produce óxido de plomo generando un envenenamiento en los convertidores catalíticos, igualmente es un compuesto contaminante y perjudicial para la salud de los seres vivos. Por otro lado, el ferroceno es una alternativa más conveniente, su desventaja es que los depósitos que contienen hierro formados a partir del ferroceno pueden formar un revestimiento conductor en las superficies de las bujías (Demirbas *et al.*, 2015).

Asimismo, Palencia *et al.* (2013) mencionan que los éteres también son utilizados como aditivos para la gasolina, contando con el éter metil-terbutílico (MTBE), ter-amil metil éter (TAME) y éter etil-terbutílico (ETBE). El MTBE es un líquido volátil, inflamable, incoloro, de baja viscosidad y soluble en agua, dependiendo de la composición en hidrocarburos de la gasolina, un 10% en volumen de MTBE puede suponer una mejora en el octanaje de 1.5 a 3 puntos, permite una reducción en el contenido de compuestos aromáticos; mejorar la combustión y reducir las emisiones de monóxido de carbono (CO).

Entre otros aditivos se encuentra el éter isopropílico, anilina, dietilamina, malonato de dimetilo y p-terbutilfenol. En el estudio realizado por Wen y colaboradores 2022, determinaron que las mínimas emisiones de CO se dan con la adición de anilina (disminuye el CO en un 3.1%), mientras que las máximas se dan con el malonato de dimetilo (aumenta el CO en un 5%); este también, aumenta las emisiones de hidrocarburos totales un 2.5%. Por otro lado, la adición de p-terbutilfenol disminuye las emisiones de NO_x un 13%, mientras que la dietilamina las aumenta un 16%, sin embargo, esta disminuye las emisiones de hidrocarburos totales en un 8.1%. La anilina aumenta las emisiones de CO₂ en un 2.8%, mientras que la dietilamina las disminuye en un 0.12% (Wen *et al.*, 2022).

Particularmente, Szybist *et al.* (2021) indican que el aumento de octanaje de un combustible implica un aumento en su resistencia detonante, dicho aumento permite un incremento en la relación de compresión y en la eficiencia térmica ideal. Una elevada eficiencia térmica ideal, que es posible gracias a un combustible más resistente al golpeteo y una alta relación de compresión, aumenta la potencia del motor si la cilindrada de este se mantiene constante. De esta manera, para poder obtener una potencia específica, el motor puede disminuir su tamaño, afectando a las pérdidas de bombeo y modifica la eficiencia de intercambio de gases para un nivel de torque determinado, también puede influir en la eficiencia mecánica del motor y en el factor de transferencia de calor. Por otro lado, aunque no se incremente la relación de compresión y el motor no reduzca su tamaño, un aumento en la resistencia a la detonación del combustible permite adelantar la sincronización de la chispa para puntos de funcionamiento, que de otra manera estarían limitados por el golpeteo (Szybist *et al.*, 2021). Un RON más alto ayuda a reducir las emisiones asociadas a los motores recalibrados de vehículos ligeros (Muhammed *et al.*, 2023).

El gobierno ecuatoriano mediante el Decreto Ejecutivo 1054, del presidente de la República oficializó que, desde el 20 de mayo de 2020, rige el nuevo Sistema de Comercio de Combustibles a Precios de Mercado, eliminando el subsidio de la gasolina de 95 octanos. Esto provocó una disminución en el consumo de este combustible y una migración a gasolinas de menor precio y octanaje. Uno de los resultados debido a esta medida, es que, el país incrementó su consumo de combustibles en alrededor del 3%, aumentando las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), que es significativamente mayor a la reducción obtenida por un proyecto estratégico gubernamental de generación de energías alternativas (Terneus *et al.*, 2021). Actualmente el precio de combustibles de menor octanaje se encuentra en unas bandas de precio incrementales afectando el gasto en combustibles de los consumidores. Además, los consumidores están limitados al uso de más de dos tipos de gasolinas por región en el Ecuador, donde una es de 95 RON y la otra es de 85 o 87 RON de acuerdo con la región donde se comercializa.

En la práctica, generalmente se hace caso omiso por parte del comprador sobre el octanaje del combustible que requiere su vehículo y valoran en función del dinero a la semana el costo del combustible. Hay quienes creen que se alcanza un mayor rendimiento del motor al emplear gasolinas de alto octanaje, Sayin y sus colaboradores (Sayin *et al.*, 2005), establecen que el uso de gasolina de alto octanaje superiores al requerido por el vehículo no solo disminuye el rendimiento del motor, sino que aumenta las emisiones de escape. Por otro lado, si se utilizan gasolinas de menor octanaje, la detonación será antes al que se generaría con la gasolina de octanaje requerido. Lo que es realmente claro, es que usar gasolina de octanaje correcto es lo mejor para el motor.

La base del presente estudio es el mejoramiento del número de octanaje de investigación (RON) de combustibles de bajo RON, mediante la mezcla con otra gasolina de alto octanaje y, la mezcla de gasolinas de bajo número de octano con aditivos de mejoramiento de octanaje con el fin de obtener combustibles en una amplia gama de RON para que estén disponibles al público y este pueda economizar usando la mezcla adecuada y usar el combustible correcto en su vehículo.

2. Metodología

2.1. Preparación de muestras

Se utilizaron gasolinas comerciales del Ecuador (Extra-85 RON, Eco-país 87 RON, Súper 95 RON) y tres aditivos de aumento de octanaje. Las muestras de las naftas puras fueron preparadas para el estudio. El mejoramiento del combustible se logró a través de la mezcla de la gasolina de 85-RON o la de 87-RON, con una gasolina comercial de 95-RON, así como la adición de aditivos específicos de cuatro proveedores distintos a la gasolina de 85-RON y con la de 87-RON.

Las gasolinas seleccionadas sirvieron como punto de partida para la creación de mezclas con propiedades intermedias, a las cuales se evaluó el RON. Se prepararon mezclas en porcentajes volumétricos proporcionales del 5 y 10 % entre un ensayo y otro, teniendo en total 15 muestras para cada mezcla, cuyas mediciones de analito se replicaron tres veces. Simultáneamente, los aditivos se añadieron en las gasolinas base de acuerdo con la dosis comercial especificada por los proveedores.

2.2. Técnicas de análisis

2.2.1. Determinación del número de octano en motor de combustible de encendido por chispa (Octanómetro)

Los ensayos se realizaron según la certificación ASTM D2699 en el laboratorio de calidad de la Refinería Estatal de Esmeraldas (REE) de la EPP. Se determinó el número de octano mediante el equipo FT-IR Fuel Analyzer OptiFuel. El equipo es el CFR- Wakesha, el cual consta de un motor de combustión interna que opera a condiciones bajas de velocidad constante de alrededor de 600 rpm, con un detector electrónico con un rango de lectura lineal de 20 a 80 unidades (Compass Instrument, 2019).

El ensayo consiste en quemar la muestra de combustible a una temperatura entre 2°C y 10°C a diferentes niveles de relación aire combustible que va de 0.7 a 1.7 pulgadas (ASTM D 2699, 2021), cada nivel proporciona lecturas de golpeteo, se toma el máximo valor. Se determina las lecturas de máximo golpeteo de los patrones de referencia seleccionados acorde al valor de RON aproximado de la muestra de combustible. Para el análisis de datos mediante el análisis FTIR se aplica la interpolación para estimar el RON de la muestra de combustible a partir de los valores conocidos de los patrones de referencia.

El equipo se calibró mediante el uso de un patrón de estandarización mezcla volumétrica de tolueno, n-heptano e iso-octano, cuya resistencia se compara con patrones primarios de referencia (PRF) preparados en proporciones volumétricas de iso-octano de acuerdo con el RON que corresponde al patrón y se completa el 100 % con n-heptano. La estandarización define las condiciones de operación del motor a las cuales se obtiene el RON del TSF, cuya resistencia a la detonación se conoce por su composición, además establece el estándar de máximo golpeteo, parámetro referencial para el análisis de las muestras.

2.2.2. Determinación del número de octano mediante FTIR (prueba rápida)

Se optó por realizar mediciones contrastantes del número de octano empleando un instrumento de espectroscopía de infrarroja de Transformadas de Fourier, que mediante el espectro de absorción IR y la aplicación de modelos quimiométricos, evalúa el número de octano de investigación, RON (PAC, 2022). Se calibró un modelo activo para un rango de número de octano de 76 a 95 unidades.

La espectrometría FTIR es una técnica espectroscópica versátil, que brinda especificidad y selectividad para el análisis en muestras complejas sin la necesidad de tratamientos complejos previos a la muestra (Katon, 2001). Para llevar a cabo el análisis espectroscópico de las mezclas se tomó 15 mL de muestra de combustible, una vez iniciada la secuencia de medición, automáticamente se realiza un secado inicial del sistema de muestra, posteriormente, el contenedor de muestra se presuriza y transporta el combustible a través de la secuencia de medición donde se mide el espectro, finalmente, el sistema seca la tubería de la línea de muestra y la línea principal (PAC, 2022). Al completar la medición, automáticamente se reflejan los resultados en el monitor, con propiedades cuantificadas entre las que se encuentra el RON.

3. Resultados

3.1. Mezclas de gasolina de 85-RON y 95-RON

Se analizó el número de octano de las muestras de gasolinas puras de 85 y 95 octanos; es decir, sin mezclarlas. Para la gasolina extra sin mezclar, los valores de RON alcanzados son de 85,9 y 86,6 por el método del octanómetro y FTIR, respectivamente. Del mismo modo, para la gasolina súper premium, los valores de RON corresponden a 94,9 y 95 utilizando tanto el método del octanómetro como el FTIR, respectivamente. Los valores de RON, correspondientes a la norma del Instituto Ecuatoriano de Normalización y los correspondientes decretos establecen un valor de 85 octanos para la gasolina extra y 95 para la super.

Los valores de número de octano para las diferentes mezclas de gasolina de 85-RON con 95-RON, se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1.

Valores promedio de octanaje de la mezcla de gasolina de 85-RON y 95-ROM

Porcentaje de Mezcla de gasolinas		Número de octano (RON)	
85-RON	95-RON	Octanómetro	FTIR
100%	0%	85.9	86.6
95%	5%	86.7	87.3
90%	10%	87.2	87.6
85%	15%	87.7	88
80%	20%	88	88.4
75%	25%	88.6	88.9
70%	30%	89.3	89.3
60%	40%	90.1	90.1
50%	50%	90.9	90.9

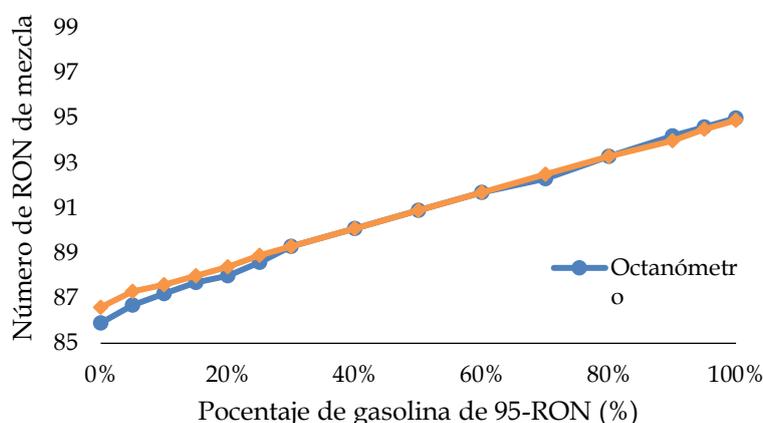
40%	60%	91.7	91.7
30%	70%	92.3	92.5
20%	80%	93.3	93.3
10%	90%	94.2	94
5%	95%	94.6	94.5
0%	100%	95	94.9

Fuente: Elaboración propia (2024).

La Figura 1 presenta la similitud de las curvas al gráficar los números de octano medidos por el FTIR y el octanómetro.

Figura 1.

Curva de variación de octanaje del método FTIR y Octanómetro en función al porcentaje de gasolina de 95-RON



Fuente: Elaboración propia (2024).

Tanto por el método de encendido por chispa (octanómetro) como por el método FTIR, se observa que existe una tendencia consistente de incremento de RON a medida que se incrementa el porcentaje de gasolina de 95-RON añadido en las muestras. Es importante observar que las mediciones llevadas por ambas técnicas muestran ligeras variaciones pero consistentes en los valores obtenidos para demostrar que la mezcla de ambos tipos de combustibles permite obtener gasolinas con un amplio rango de octanajes, las discrepancias se atribuyen al principio de operación de ambos métodos. El octanómetro mide el número de octano a través de la detección del golpeteo resultante de la combustión interna, mientras que el espectrómetro (FTIR) lo determina mediante la medición de la absorbancia de la luz infrarroja, misma que está relacionada directamente con la concentración de los componentes de la muestra y compara con la biblioteca del programa la cuál entre más datos para comparar tendrá una mayor precisión. La diferencia entre la técnica FTIR y el octanómetro es de ± 0.7 , también se obtuvo una mayor repetibilidad y reproducibilidad, esta coincidencia se logra una vez que se añadió los datos experimentales logrados en el medidor de número de octanos por chispa a la base de datos del FTIR o método rápido. También, las diferencias se acortan significativamente al entrar en el rango de los 90 octanos.

3.2. Mezclas de gasolina de 87-RON y 95-RON

Al evaluar las especificaciones para gasolina ecopaís sin mezcla, se ha obtenido un valor de RON de 87.1 en la medición de encendido por chispa y 87 por el método de espectroscopía infrarroja de Transformadas de Fourie (FTIR). Los mínimos y máximos de RON para esta gasolina se sitúan entre 87.1 y 95, el promedio de los resultados de las mediciones se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2.

Valores promedio de octanaje de la mezcla de gasolina de 87-RON y 95-ROM

Porcentaje de Mezcla de gasolinas		Número de octano (RON)	
87-RON	95-RON	Octanómetro	FTIR
100%	0%	87.1	87
95%	5%	87.6	87.5
90%	10%	88.1	87.9
85%	15%	88.5	88.3
80%	20%	88.7	88.7
75%	25%	89.1	89.1
70%	30%	89.3	89.4
60%	40%	90.3	90.2
50%	50%	90.9	90.9
40%	60%	91.8	91.6
30%	70%	92.5	92.3
20%	80%	93.2	93.1
10%	90%	93.9	93.9
5%	95%	94.3	94.3
0%	100%	95	94.9

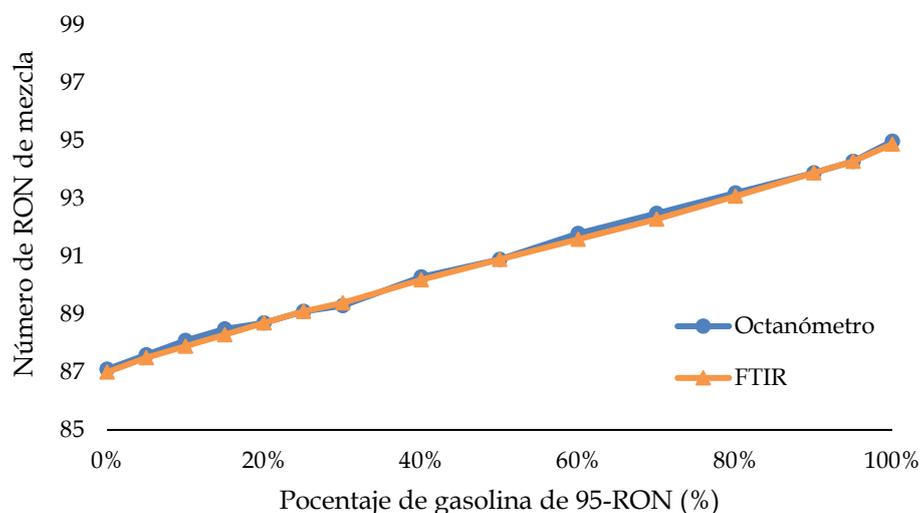
Fuente: Elaboración propia (2024).

La Figura 2.

Curva de variación de octanaje del método FTIR y Octanómetro en función al porcentaje de gasolina de 95-RON. La Figura 2, presenta las curvas para ambas técnicas de las mezclas de gasolinas de 87-RON y 95-RON, para las dos técnicas se obtienen valores muy similares, con una diferencia de ± 0.2 , lo que garantiza la repetibilidad y reproducibilidad en ambos mecanismos.

Figura 2.

Curva de variación de octanaje del método FTIR y Octanómetro en función al porcentaje de gasolina de 95-RON



Fuente: Elaboración propia (2024).

Al comparar los resultados obtenidos para las mezclas de gasolina extra (85 RON) y gasolina súper premium (95 RON) con las mezclas de gasolina Eco-país (87 RON) y gasolina súper premium (95 RON), se observa una tendencia similar en el aumento del número de octano (RON) a medida que aumenta el porcentaje de gasolina súper premium en ambas tablas. Sin embargo, la gasolina Eco-país (87 RON) presenta un mejor comportamiento inicial, partiendo de valores de RON más altos (87.1 en el octanómetro y 87.0 en FTIR) comparado con la gasolina extra (85.9 en el octanómetro y 86.6 en FTIR). Esto sugiere que, aunque ambas mezclas alcanzan valores finales de RON similares, la gasolina regular tiene una ventaja inicial en términos de octanaje, lo que podría ser beneficioso para aplicaciones que requieren un rendimiento más elevado desde el inicio. Además, los valores medidos por el octanómetro y el FTIR son consistentes en ambas tablas, mostrando una alta correlación, lo que valida la fiabilidad de ambos métodos de medición en la evaluación del octanaje de las mezclas de gasolina.

3.3. Mejora de octanaje de gasolina extra y eco país con aditivos comerciales

Se analizó las muestras de gasolina extra y Eco-país dosificadas con cuatro tipos de aditivos comerciales para resaltar la relación entre el uso de estos y el consecuente incremento en la resistencia detonante de las gasolinas de bajo octanaje. De las mediciones tanto por el método de encendido por chispa como por espectroscopía infrarroja FTIR, se obtuvo los resultados mostrados en las Tablas 3 y 4, donde se observan los promedios de las mediciones de RON para los ensayos preparados, así mismo, se observa en las figuras 3 y 4 una representación visual más clara de los resultados obtenidos mediante una gráfica de puntos que permite comparar de manera efectiva los efectos de cada aditivo en la variación del octanaje.

Tabla 3.

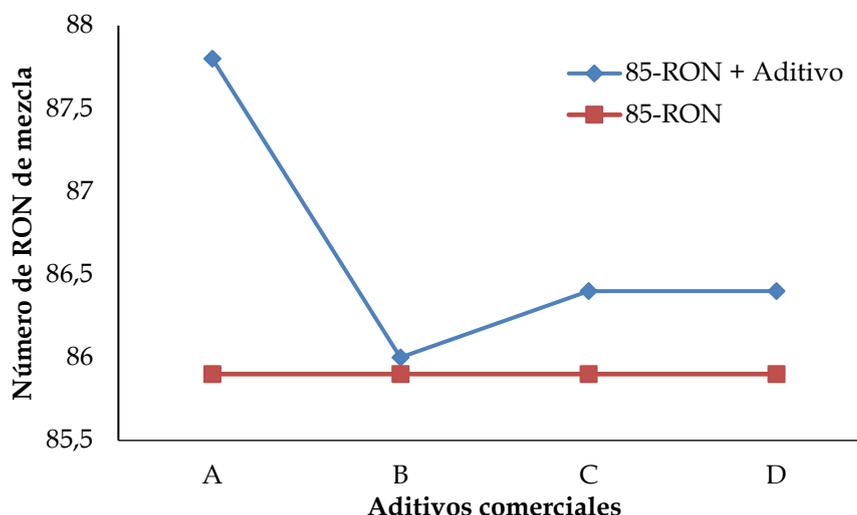
Valores promedio de octanaje de la mezcla de gasolina de 85-RON con aditivos de mejoramiento de octanaje determinados mediante el octanómetro y el método FTIR

Aditivos	RON por Octanómetro	
	85-RON	85-RON + Aditivo
A	85.9	87.8
B	85.9	86.0
C	85.9	86.4
D	85.9	86.4

Fuente: Elaboración propia (2024).

Figura 3.

Curva de variación de octanaje del método octanómetro en función al porcentaje de gasolina de 85-RON



Fuente: Elaboración propia (2024).

El rendimiento de los aditivos en el mejoramiento de octano depende de la composición química y la concentración del aditivo recomendada por el fabricante, cada uno puede componerse de diferentes grupos funcionales que actúan selectivamente con los hidrocarburos para mejorar la capacidad antidetonante del combustible (Sharif, 2010). Los resultados de este análisis según la técnica del encendido por chispa muestran que, efectivamente el mejoramiento de octano sobre el combustible extra varía en cada tipo de aditivo, el aditivo A representa el mejor rendimiento con una mejora de 1.9 unidades de RON, el aditivo C y D mejoran levemente con 0.5 unidades de RON, mientras que el aditivo B incrementa en 0.1 unidades.

Tabla 4.

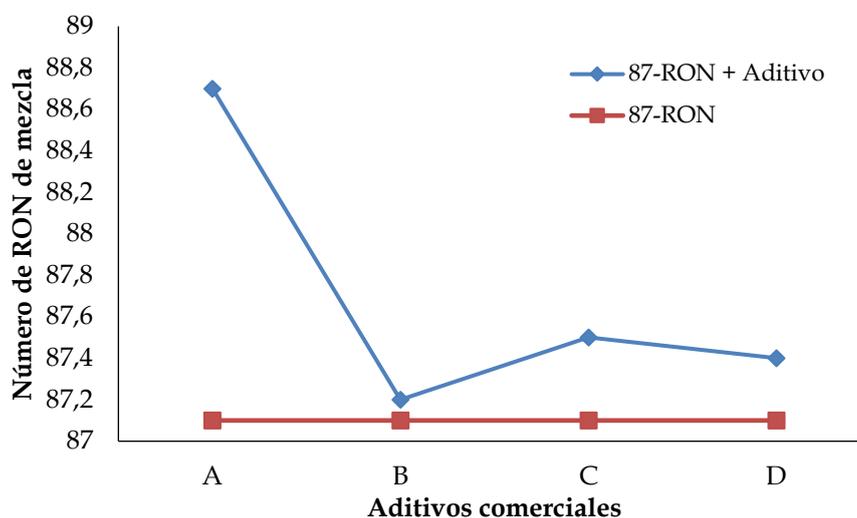
Valores promedio de octanaje de la mezcla de gasolina de 87-RON con aditivos de mejoramiento de octanaje determinados mediante el octanómetro y el método FTIR

Aditivos	RON por Octanómetro	
	87-RON	87-RON + Aditivo
A	87,1	88.7
B	87.1	87.2
C	87.1	87.5
D	87.1	87.4

Fuente: Elaboración propia (2024).

Figura 4.

Curva de variación de octanaje del método octanómetro en función al porcentaje de gasolina de 87-RON



Fuente: Elaboración propia (2024).

Al comparar los resultados obtenidos para la adición de diferentes aditivos en gasolina extra (85 RON) y gasolina regular (87 RON), se observa que el aditivo A muestra una mejora en el número de octano (RON) medido por el octanómetro en ambas gasolinas, elevando el RON de 85.9 a 87.8. Los otros aditivos (B, C, y D) también incrementan el RON, pero en menor medida, el aditivo B muestra la menor mejora en ambos casos.

4. Discusión

La medición tradicional del octanaje utilizando un motor de la Cooperative Fuel Research (CFR), según las normas ASTM D2699 (RON) y ASTM D2700 (MON) sigue siendo el método de referencia para determinar el octanaje de los combustibles como la gasolina. El método del octanómetro mide el número de octano mediante la detección del golpeteo resultante de la combustión interna, y el espectrómetro FTIR, que determina el octanaje a través de la absorbancia de la luz infrarroja, presentan una diferencia máxima de ± 0.7 unidades de RON, lo que se considera aceptable y demuestra la reproducibilidad y repetibilidad de ambos

métodos. Por lo que, la espectroscopia FTIR es un método que pueden utilizarse como alternativa a los métodos tradicionales de laboratorio para la determinación rápida y simultánea de varias propiedades de la gasolina, incluido el octanaje (RON y MON), permitiendo tener una medida cercana a la real y optimizar tanto costos y tiempo en los laboratorios de control de calidad. Varios estudios han utilizado métodos basados en FTIR, los cuales proporcionaron datos con una precisión aceptable comparado con los métodos de prueba ASTM estándar (Benavides *et al.*, 2023), (Díaz, 2008), (Saleh y Al-Azzawi, 2023).

En el análisis espectral, uno de los factores que influye en las mediciones de los espectros de absorción es; la composición y concentración de los componentes del combustible (Castillo Rivera *et al.*, 2019), (Dago-Morales *et al.*, 2006). Además, el estudio realizado por (Díaz, 2008), destaca que para obtener resultados coherentes, se debe construir un modelo de calibración seleccionando un grupo de muestras suficientemente numerosas y que posean todos los compuestos que generalmente estén presentes en la muestra de estudio. Teniendo en cuenta estos factores y asociando al estudio, al adicionar nuevos componentes como los aditivos en el combustible, estos pueden generar interacciones negativas con la absorción infrarroja, lo que explica las mediciones del número de octano inferiores a las de las gasolinas aditivadas (Díaz, 2008). Las mediciones de FTIR, en mezclas gasolinas-aditivo presentan valores erróneos debido a que se realizaron con modelos de calibración basados en gasolinas puras; sin embargo, se podría mejorar si los patrones de calibración se hicieran sobre un modelo de gasolinas mezcladas con aditivos, estas discrepancias llevan a una medición incorrecta del número de octano por esta técnicas y explica la reducción del número de octano de la mezcla gasolinas aditivos.

De manera análoga la mezcla de gasolina de 85-RON con la de 95-RON, y las mezclas de gasolina de 87-RON con la de 95-RON, presenta un incremento de RON a medida que aumenta el porcentaje de gasolina de 95-RON, este comportamiento se observa con las dos técnicas de análisis.

Las mezclas con gasolina de 87-RON, la cual contiene un 5% en etanol, no presentan una combustión igual a las mezclas con gasolina de 85-RON, el etanol ayuda a acercarse más a una combustión completa por su contenido de oxígeno, la velocidad de llama laminar mejora la combustión y reduce la tendencia a la detonación. (Wang *et al.*, 2017), estos efectos dependen del contenido de alcohol en la base de la mezcla, para este estudio, a medida que el contenido de gasolina súper premio se incrementa, la composición de etanol disminuye, por lo que, aquellas variaciones se pueden ver reflejadas en las primeras muestras más que en las últimas donde predomina la gasolina enriquecedora de octano. Tomando como referencia la investigación del rendimiento dinámico en los motores (Díaz, 2008), una mezcla equivolúmica entre ecopaís y súper mejora en 3.8 unidades, que es aproximadamente la mitad del rango de octanaje de las gasolinas ecopaís y súper premium, estos resultados están mas cercanos a una estimación lineal RON a partir de las proporciones volumétricas de los componentes.

Aunque el enfoque principal es el RON, existen otras características que también se ven favorecidas por la mezcla de combustibles; como, la presión de vapor REID y la disminución de emisión de gases contaminantes como el CO, CO₂, NO_x, entre otros (Guzmán *et al.*, 2018). Investigadores locales como Guzman han desarrollado estudios centrados en el rendimiento dinámico del motor al mezclar ambos tipos de combustibles, el octanaje mejora dependiendo del porcentaje de volumen utilizado para cada mezcla, una mezcla equivolúmica entre un combustible de 85.4 y uno de 92-RON, mejora en 3.3 unidades el RON, es decir, la mitad del rango de octanaje de las gasolinas, aludiendo a una predicción de tal propiedad a partir de una media volumétrica de los números de octano de los componentes. Este comportamiento

se presenta también en nuestro estudio, el cual amplía la gama de mezcla permitiendo conocer al consumidor la mezcla más adecuada para su vehículo, en

Tabla 1 se observa que el número de RON aumenta conforme aumenta el porcentaje de gasolina de 95-RON, al comparar las mezclas equivolúmetrica, mezcla de gasolina de 95-RON con gasolina de 85-RON alcanza, se logra mejorar en 5 unidades el RON, que no es exactamente la mitad del rango del octanaje de las gasolinas extra y súper premium, existe una diferencia si la estimación del octanaje se desarrollara a partir de la media volumétrica concluida en la investigación referenciada (Guzmán *et al.*, 2018). Cualquier mezcla de combustible compuesta íntegramente por alcanos suele tener un RON que es la suma de los RON de cada componente multiplicada por sus respectivas fracciones en volumen, por lo que presenta un comportamiento de mezcla de la mayoría de los alcanos parezca lineal (Shankar *et al.*, 2021). La resistencia detonante de la mezcla presenta un ajuste ligeramente lineal, esto se debe a que la calidad de las gasolinas que se comercializan en Ecuador puede variar, no todas las gasolinas son de sustancias únicas, es una mezcla compleja de componentes, que varían mucho en sus propiedades físicas y químicas (Demirbas *et al.*, 2015). Por lo que el número de octano de la mezcla puede ser mayor, igual o menor que el calculado a partir del promedio volumétrico de los números de octano de las gasolinas que la componen, las diferencias se deben a interacciones binarias de los componentes, hidrocarburos individuales (Twu y Coon, 1999) y (Dauphin *et al.*, 2019).

En cualquier caso, el RON resultante es siempre menor que el de la gasolina super. Este comportamiento es similar a los resultados de estudios donde se mezclan gasolina con alcohol anhídrido (Eco país 87-RON) o con aditivos. El octanaje de la gasolina súper mejoró de 90 a 92 entre 2012 y 2018, lo que se tradujo en un menor consumo de gasolina de 95-RON. Las pruebas dinámicas, la gasolina de 95-RON y mezclas con mayor proporción de súper mostraron mejor rendimiento en par motor y potencia que la gasolina de 85-RON (Beltrán, 2020).

En nuestro estudio se observa un aumento RON de alrededor de dos puntos para el aditivo A, y un ligero incremento para los aditivos C y D, sin embargo, el aumento no es significativo, varios estudios indican que ciertos aditivos potenciadores de octanaje pueden elevar ligeramente el índice de la gasolina extra, por ejemplo del 85 al 86.3 con el aditivo, pero no lo suficiente para alcanzar el octanaje de la 95-RON (Arboleda y Hernández, 2023).

5. Conclusión

La técnica del octanómetro es confiable para la medición del número de octano y sus datos permitieron corregir la curva de calibración como el FTIR. El FTIR debidamente calibrado es una alternativa rápida y eficaz para un ensayo con menores costos para los laboratorios de control de calidad de gasolinas a lo largo del país. Los resultados de este estudio demuestran que las mezclas de gasolinas de 85-RON con la de 95-RON y la de gasolina de 87-RON con la de 95-RON permite obtener una amplia gama de octanajes que cubre los variados requerimientos técnicos del parque automotor que circula en Ecuador. Las mezclas propuestas ofrecen una opción para economizar de forma técnica el gasto mensual en gasolina por los usuarios en el Ecuador y un punto de partida para el debate sobre que grado de octanaje es el adecuado para importar. Los aditivos en mezclas con la gasolina extra estudiados no alcanzan el requerimiento mínimo de RON de la mayoría de los vehículos que circulan en Ecuador; sin embargo, algunos de estos ofertan otras características adicionales, por lo que su selección queda a criterio del consumidor.

6. Referencias

- Abdul-Manan, A. F. N., Kalghatgi, G. y Babiker, H. (2018). Exploring Alternative Octane Specification Methods for Improved Gasoline Knock Resistance in Spark-Ignition Engines. *Frontiers in Mechanical Engineering*, 4(20), 1-13. <https://doi.org/10.3389/fmech.2018.00020>
- Arboleda, M. y Hernández, M. (2023). *Análisis del nivel de octanaje en combustibles comercializados en Ecuador y su repercusión en el desempeño del MCI* [Tesis de grado]. <https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/14054/1/04%20MAUT%20232%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- Astm, D. (2019). *D2700-19: Standard Test Method for Research Octane Number of Spark-Ignition Engine Fuel*. Book of Standards Volume: 05.05, 05.05(C), pp. 1-51.
- Astm, D. (2021). *D2699-21 standard test method for research octane number of spark-ignition engine fuel*. American Society for Testing and Materials (ASTM).
- Beltrán, R. J. A. (2020). Análisis del uso de diferentes tipos de gasolinas y aditivos en la vida útil de algunos elementos de un motor de combustión interna. *ISTCT / Revista Investigación Tecnológica*, 2(1), 1-9. https://www.investigacionistct.ec/ojs/index.php/investigacion_tecnologica/article/view/35/51
- Benavides, A., Zapata, C., Benjumea, P., Franco, C. A., Cortés, F. B. y Ruiz, M. A. (2023). Predicting Octane Number of Petroleum-Derived Gasoline Fuels from MIR Spectra, GC-MS, and Routine Test Data. *Processes*, 11(5), 1-15. <https://doi.org/10.3390/pr11051437>
- Castillo Rivera, E., Mora Díaz, L., Gutiérrez Gualotuña, E., Martínez Valdéz, O., Tafur Escanta, P., Soria Amancha, A., Villavicencio Poveda, Á., Torres Rodríguez, G. y Baldeón López, R. (2019). Análisis, estudio y modelamiento matemático para la caracterización energética de las gasolinas comerciales en función de los parámetros de calidad referentes a las normas ASTM. *Aporte Santiaguino*, 12(1), 122-137. <https://doi.org/10.32911/as.2019.v12.n1.612>
- Compass Instrument. (2019). *Waukesha CFR F1/F2 Octane Taring Engine with XCP technology*. CFR. <https://cfrengines.com/wp-content/uploads/2019/08/FORM-C625-CFR-F12-brochure-7-23-19.pdf>
- Dago-Morales, A., Fernández, R. F., Martínez, M. D. R., Moure, M. B., Noa, M. L., Echavarría, J. E. R., de Zayas, M. O. y Armada, L. S. (2006). La espectroscopia infrarroja y el método de calibración multivariada de mínimos cuadrados parciales en la predicción del índice de octano experimental de gasolinas. *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, 37(1), 3-7. <https://doi.org/http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181620524001>
- Dauphin, R., Obiols, J., Serrano, D., Fenard, Y., Comandini, A., Starck, L. y Chaumeix, N. (2019). *Using RON synergistic effects to formulate fuels for better fuel economy and lower CO2 emissions* (No. 2019-01-2155). SAE Technical Paper. <https://doi.org/10.4271/2019-01-2155>

- Demirbas, A., Balubaid, M. A., Basahel, A. M., Ahmad, W. y Sheikh, M. H. (2015). Octane Rating of Gasoline and Octane Booster Additives. *Petroleum Science and Technology*, 33(11), 1190-1197. <https://doi.org/10.1080/10916466.2015.1050506>
- Díaz, C. J. (2015). *Aplicación de la técnica de análisis de espectroscopía infrarrojo por transformada de Fourier para la determinación de los valores de RON y MON en naftas* [Tesis de licenciatura, Universidad de Belgrano]. <http://repositorio.ub.edu.ar/handle/123456789/6083>
- Guzmán, A. R., Cueva, E., Peralvo, A., Revelo, M. y Armas, A. (2018). Estudio del rendimiento dinámico de un motor Otto al utilizar mezclas de dos tipos de gasolinas: “Extra” y “Súper”. *Enfoque UTE*, 9(4), 208-220. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n4.335>
- Hadi, A. S., Ahmed, O. K. y Ali, O. M. (2020). *Enhancement of Gasoline Fuel Quality with Commercial Additives to Improve Engine Performance*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 745(012065), pp. 1-11. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/745/1/012065>
- Katon, J. E. (2001). Book Reviews: Fourier Transform Infrared Spectroscopy. Vol 1. Applications to Chemical Systems. En *Journal of Herpetological Medicine and Surgery*, 11(2), 34-34. <https://doi.org/10.5818/1529-9651.11.2.34>
- Muhammed, T., Tokay, B. y Conradie, A. (2023). Raising the Research Octane Number using an optimized Simulated Moving Bed technology towards greater sustainability and economic return. *Fuel*, 337, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.126864>
- Nepas Guanulema, B.E., Felix Pacheco, O. R., Guanulema Nepas, A. R. y Reyes Campaña, G. G. (2023). Estudio de consumo usando mezclas de aditivos y combustibles locales en ciclos combinados a 2800 msnm. *Business and Entrepreneurial Studies*, 7(2), 65-79. <https://doi.org/10.37956/jbes.v7i2.332>
- PAC. (2017). *OptiFuel: Precision and portability in a top-of-the-line FTIR Fuel Analyzer*. <https://www.paclp.com/tenants/pac/documents/optifuel%20brochure%20a4%20rev%205.pdf>
- Palencia, Z. F. D., Folgueras Díaz, M. B. y Gómez Cuenca, F. (2013). *Influencia de los Aditivos Oxigenados sobre las Propiedades de las Gasolinas* [Tesis de grado, Universidad de Oviedo]. <http://hdl.handle.net/10651/27919>
- Saleh, S. M. y Al-Azzawi, A. G. S. (2023). Optimizing Bioethanol Production for High Octane Bioethanol-Gasoline Blended Fuel through Fermentation. *Journal of the Turkish Chemical Society, Section A: Chemistry*, 10(2), 475-486. <https://doi.org/10.18596/jotcsa.1250955>
- Sayin, C., Kilicaslan, I., Canakci, M. y Ozsezen, N. (2005). An experimental study of the effect of octane number higher than engine requirement on the engine performance and emissions. *Applied Thermal Engineering*, 25(8-9), 1315-1324. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2004.07.009>
- Shankar, V. S. B., Li, Y., Singh, E. y Sarathy, S. M. (2021). *Understanding the synergistic blending octane behavior of 2-methylfuran*. *Proceedings of the Combustion Institute*, 38(4), 5625-5633. <https://doi.org/10.1016/j.proci.2020.06.277>

- Sharif, A. (2010). Selective Additives for Improvement of Gasoline Octane Number. *Tikrit Journal of Engineering Sciences*, 17(2), 22-35. <https://doi.org/10.25130/tjes.17.2.03>
- Szybist, J. P., Busch, S., McCormick, R. L., Pihl, J. A., Splitter, D. A., Ratcliff, M. A., Kolodziej, C. P., Storey, J. M. E., Moses-DeBusk, M., Vuilleumier, D., Sjöberg, M., Sluder, C. S., Rockstroh, T. y Miles, P. (2021). What fuel properties enable higher thermal efficiency in spark-ignited engines? *Progress in Energy and Combustion Science*, 82(100876), 1-54. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2020.100876>
- Terneus Páez, C.F., Cabrera Mera, A.G. y Grandes Villamarín, R.D. (2021). Impact Analysis of Migration from Súper Gasoline to Others of Lower Octane Number in Ecuador. En M. Botto Tobar, H. Cruz y A. Díaz Cadena (Eds.), *Recent Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy. CIT 2020* (Vol. 763). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-72212-8_8
- Twu, C. H., y Coon, J. E. (1998). A generalized interaction method for the prediction of octane numbers for gasoline blends. *Simulation Sciences Inc*, 601. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:16465119>
- Wang, C., Zeraati-Rezaei, S., Xiang, L. y Xu, H. (2017). Ethanol blends in spark ignition engines: RON, octane-added value, cooling effect, compression ratio, and potential engine efficiency gain. *Applied Energy*, 191, 603-619. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.01.081>
- Wen, M., Yin, Z., Zheng, Z., Liu, H., Zhang, C., Cui, Y., Ming, Z., Feng, L., Yue, Z. y Yao, M. (2022). Effects of Different Gasoline Additives on Fuel Consumption and Emissions in a Vehicle Equipped With the GDI Engine. *Frontiers in Mechanical Engineering*, 8, 1-10. <https://doi.org/10.3389/fmech.2022.924505>

CONTRIBUCIONES DE AUTORES/AS, FINANCIACIÓN Y AGRADECIMIENTOS

Contribuciones de los/as autores/as:

Conceptualización: Rosero Espín, Marco Vinicio **Validación:** Morillo Chandi, Grace Alexandra **Análisis formal:** Muñoz Borja, Morayma Angelica; Rosero Espín, Marco Vinicio **Curación de datos:** Morillo Chandi, Grace Alexandra; Freire Cárdenas, Luis Miguel **Redacción-Preparación del borrador original:** Muñoz Borja, Morayma Angelica; Morillo Chandi, Grace Alexandra **Redacción-Revisión y Edición:** Rosero Espín, Marco Vinicio **Visualización:** Morillo Chandi, Grace Alexandra; Freire Cárdenas, Luis Miguel **Supervisión:** Rosero Espín, Marco Vinicio; **Administración de proyectos:** Freire Cárdenas, Luis Miguel **Todos los/as autores/as han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito:** Morillo Chandi, Grace Alexandra; Muñoz Borja, Morayma Angelica; Freire Cárdenas, Luis Miguel; Rosero Espín, Marco Vinicio.

Financiación: Esta investigación no recibió financiamiento externo.

Agradecimientos: El presente texto nace en el marco de un proyecto interinstitucional REF-EVOFUEL-23 del Grupo de Investigación GIIP (Grupo de Investigación de Ingeniería de Procesos) de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador y la Empresa Pública de Hidrocarburos EP PETROECUADOR, “Estudio de la variación del grado de octanaje mediante mezclas (blending) de gasolina extra, súper premium y aditivo de mejoramiento-[EVOFUEL]”.

Conflicto de intereses: Ninguno.

AUTORES:

Grace Morillo Chandi:

Universidad Central de Ecuador, Facultad de Ingeniería Química.

Empresa Pública de Hidrocarburos del Ecuador, Gerencia de Refinación, Departamento de Gestión Técnica de Operaciones.

Ingeniera Química con más de diez años de experiencia en la industria petrolera, especializada en áreas de operaciones, producción, calidad y gestión de la cadena de suministro. Ha ocupado cargos como Subgerente de Operaciones de Refinación y Especialista de Planificación y Programación de la Producción en EP-Petroecuador. Actualmente, es docente en la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador. Posee una Maestría en Administración y Gerencia Organizacional y está cursando un Doctorado en Educación e Innovación. Ha completado diversos cursos de formación continua, incluyendo Design Thinking y Transformación Digital, y posee habilidades en resolución de problemas técnicos y administrativos, liderazgo y ejecución de proyectos de inversión.

gamorilloc@uce.edu.ec

Orcid ID: <https://orcid.org/0009-0009-0703-2666>

Morayma Muñoz Borja:

Universidad de Alicante.

Ingeniera Química con maestría en Ingeniería Química por la Universidad de Alicante y estudiante de doctorado en la misma Universidad. Laboralmente ha trabajado en una oficina con más de catorce proyectos de ingeniería química desde el 2018, también como docente de Fenómenos de Transporte en la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador, ha participado en tres proyectos de investigación de la Universidad. Como investigador ha estudiado el uso de la pirólisis analítica para la caracterización de materias primas secundarias de residuos agroindustriales, y la análisis y estudio del SBA y P123 mediante diferentes técnicas; estudios cinéticos de reacciones térmicas mediante modelos cinéticos, explorando el potencial de estos materiales como materias de valor añadido.

mmb127@alu.ua.es

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0003-0728-618X>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Morayma-Munoz>

Academia.edu: <https://independent.academia.edu/MoraymaMu%C3%B1oz>

Luis Miguel Freire Cárdenas:

Empresa de Hidrocarburos del Ecuador – EP Petroecuador.

Ingeniero Químico, Magíster en Seguridad, Higiene Industrial y Ambiental con 11 años de experiencia en la industria, su carrera abarca la cadena de valor de hidrocarburos y la generación de energía. Ha liderado equipos de trabajo en operaciones de centros de refinación, planeación estratégica empresarial, evaluación de costos y control financiero. Entre sus logros, ha supervisado proyectos de implementación de evaluaciones de desempeño comparativo y benchmarking, evaluando el rendimiento de organizaciones y el impacto de proyectos según metodologías internacionales. Su pasión por la investigación técnica lo ha llevado a especializarse en diseño experimental y análisis de datos. Está comprometido con la innovación y la optimización de procesos para asegurar el cumplimiento de los más altos estándares de calidad.

luis_mfreire@hotmail.com

Marco Rosero Espín:

Universidad Central del Ecuador.

Ingeniero Químico con maestría en Ingeniería Química por la Politécnica de Madrid, ha entregado la tesis doctoral previo a la obtención del título de Doctor en Ingeniería Química por la Universidad de Alicante. Ha sido Director de Carrera de la Carrera de Ingeniería Química y Subdecano de la de la misma Facultad, actualmente es Director del grupo de investigación GIIP. Ha escrito tres libros, cuatro artículos científicos, tiene dos registro de patentes, cuatro derechos de autor, dirigido dos proyecto de investigación y ganador del segundo y tercer lugar del premio Universidad Central años 2020 y 2021. Laboralmente trabajo para EP Petroecuador del 2008 al 2015, también dirige una oficina con más de catorce proyectos de ingeniería química desde el 2010.

mvrosero@uce.edu.ec

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0003-4060-4397>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Marco-Espin>