



CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

REVISTA INDUSTRIAL 4.0

ISSN-L 2958-0188

Edición Digital
Nro. 12

Noviembre/2025

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



REVISTA INDUSTRIAL 4.0

**EDICIÓN DIGITAL N° 12
NOVIEMBRE - 2025**

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Maria Eugenia Garcia Moreno Ph. D.
Dr. Tito V. Estevez Martini
M.Sc Miguel Angel Calla Carrasco
M.Sc. Ing. Marcelo Ramirez Molina
Mg. Aldo Felipe Vargas Pacheco

Rectora
Vicerrector
Decano Facultad de Ingeniería
Vicedecano Facultad de Ingeniería
Director de Carrera Ingeniería Industrial

Revista Industrial 4.0
Edición Digital N°. 12 - Noviembre 2025
Impresa: ISSN 2958-017X
En Linea: ISSN-L 2958-0188

Comite Editor:

Mario Fermín Zenteno Benítez Ph.D.
Oswaldo Fernando Terán Modregón Ph.D.
M.Sc. Ing. Franz José Zenteno Benítez
M.Sc. Ing. Paula Mónica Lino Humerez
M.Sc. Ing. Lucio Grover Sanchez Eid
M.Sc. Ing. Fernando Floren Sanabria Camacho

Diseño Tapa Versión Impresa & Web:
Ing. Enrique Orosco Crespo

Imagen Tapa:
Universidad Mayor de San Andrés

Imprenta:
ITM LATINOAMÉRICA

Deposito Legal:
4 - 3 - 68 - 2020

Web:
<https://industrial.umsa.bo/revistaindustrial-40>
Email:
revistaindustrial4.0@umsa.bo

Av. Mcal. Santa Cruz N° 1175, Plaza del Obelisco
Mezzanine, Edificio Facultad de Ingeniería
Telf. 2205000-2205067, Int. 1402
Campus Universitario, Cota Cota - calle 30

PROLOGO

Revista "Industrial 4.0"

La producción científica en el campo de la ingeniería industrial ha trascendido la visión clásica de la optimización lineal de procesos para adentrarse en una dimensión de complejidad sistémica. En este volumen de la revista "Industrial 4.0", la Universidad Mayor de San Andrés presenta un conjunto de artículos que muestra, desde una perspectiva analítica, las múltiples facetas de la Ingeniería Industrial. La presente edición no es una mera colección de estudios aislados, sino una demostración de la convergencia necesaria entre la gestión estratégica de la innovación, la excelencia operativa y la sostenibilidad y ambiental.



En un primer nivel de análisis macro, la revista explora la arquitectura de los sistemas de innovación. Se presentan investigaciones que modelan la evolución de los ecosistemas emprendedores universitarios y la transición hacia infraestructuras de alta complejidad tecnológica, así como la conceptualización de la empresa universitaria. Estos trabajos dialogan fluidamente con estudios sobre la complejidad productiva, aportando marcos teóricos fundamentales para comprender las dinámicas de integración económica y el desarrollo de capacidades en entornos competitivos.

Descendiendo hacia la operatividad técnica y la eficiencia de los procesos, se presenta un escrutinio cuantitativo sobre la implementación de metodologías de Lean Six Sigma en el contexto de la Cuarta Revolución Industrial, complementado con evaluaciones financieras críticas sobre el Retorno de la Inversión (ROI) en la automatización. Esta sección se enriquece con análisis econométricos que correlacionan la digitalización de canales comerciales, específicamente en plataformas sociales, con la variabilidad de ingresos en el tejido de la manufactura a pequeña escala (MyPEs), evidenciando la simbiosis entre tecnología y rendimiento económico.

Finalmente, la publicación aborda con rigor científico el imperativo de la sostenibilidad y la economía circular. Se exponen hallazgos significativos en la revalorización de biomasa residual agroindustrial y se plantean revisiones sistemáticas sobre los marcos regulatorios y desafíos técnicos en la gestión de aceites lubricantes usados. De igual manera, se analizan las implicaciones ambientales del uso de biocombustibles en motores de combustión interna y la optimización integral del consumo energético. Estas investigaciones no solo proponen soluciones técnicas, sino que establecen las bases para una ingeniería responsable que responde a las leyes de la termodinámica y a la normativa ambiental vigente.

Así, esta edición de “Industrial 4.0” cumple su función primordial: servir como vehículo de difusión de conocimiento validado, fomentando un debate académico de alto nivel que vincula la teoría avanzada con la práctica ingenieril, consolidando el rol de la academia como generadora de soluciones complejas para una realidad empresarial en constante desarrollo.

Mg. Aldo Felipe Vargas Pacheco
DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS

<https://doi.org/10.53287/gvsh4892rs54u>

ALCOHOL EN LA GASOLINA: EFECTOS SOBRE LA EFICIENCIA Y LAS EMISIONES CONTAMINANTES

Nelson Condorena Avila

ORCID 0000-0002-2415-8932

Correo-e: nelsoncondorenaavila@gmail.com

Cel: 60146178

RESUMEN

La política de incrementar la mezcla de Etanol Anhidro en la gasolina, autorizada en Bolivia hasta el 25%, es una estrategia fundamental para reducir la dependencia de las importaciones y mitigar el alto costo de la subvención estatal, considerando que el precio real de la gasolina es significativamente mayor al precio subsidiado. Aunque el etanol posee un poder calorífico inherentemente menor que el de la gasolina, las investigaciones realizadas por la UMSA a la altitud de La Paz (3600 msnm) han demostrado que la presencia de oxígeno en la molécula del etanol compensa esta desventaja, promoviendo una combustión más completa y eficiente que resulta en un mejor rendimiento termodinámico, lo que se refleja en un potencial incremento de la potencia y el torque del motor. Esta combustión más limpia también disminuye la temperatura de operación del motor, minimizando el estrés térmico en los componentes. La academia ha confirmado que el uso de etanol anhidro en estas proporciones no causa daño estructural a los motores, desmintiendo el pánico generalizado. No obstante, el principal reto de la eficiencia se presenta en el consumo específico de combustible, ya que las mezclas elevadas pueden requerir que el motor inyecte un mayor volumen de combustible, afectando la economía del usuario. Por esta razón, la proporción más eficiente recomendada por los expertos es del 15% (E15). En cuanto a los efectos ambientales, el etanol anhidro es altamente beneficioso, ya que su acción oxigenante reduce drásticamente las emisiones de Monóxido de Carbono (CO) y los Hidrocarburos (HC) sin quemar, gases nocivos que contaminan el aire.

Palabras Clave: Etanol, Eficiencia, Emisiones, Poder Calorífico, Combustión.

ABSTRACT

The policy of increasing the anhydrous ethanol blend in gasoline, authorized in Bolivia to 25%, is a fundamental strategy to reduce dependence on imports and mitigate the high cost of the state subsidy, considering that the real price of gasoline is significantly higher than the subsidized price. Although ethanol has an inherently lower calorific value than gasoline, research conducted by UMSA at the altitude of La Paz (3,600 meters above sea level) has shown that the presence of oxygen in the ethanol molecule compensates for this disadvantage, promoting more complete and efficient combustion, resulting in better thermodynamic performance, reflected in a potential increase in engine power and torque. This cleaner combustion also lowers engine operating temperatures, minimizing thermal stress on components. The academy has confirmed that the use of anhydrous ethanol in these proportions does not cause structural damage to engines, refuting the widespread panic. However, the main challenge to efficiency lies in specific fuel consumption, as high fuel consumption may require the engine to inject a larger volume of fuel, impacting fuel economy. For this reason, the most efficient ratio recommended by experts is 15% (E15). Regarding environmental effects, anhydrous ethanol is highly beneficial, as its oxygenating action drastically reduces emissions of carbon monoxide (CO) and unburned hydrocarbons (HC), harmful gases that pollute the air.

Keywords: Ethanol, Efficiency, Emissions, Calorific Value, Combustion.

1. INTRODUCCIÓN

La discusión sobre la mezcla de etanol en la gasolina ha adquirido una relevancia crítica en Bolivia, impulsada por objetivos de soberanía energética y estabilidad macroeconómica. El Gobierno Nacional ha apostado por los biocombustibles de origen vegetal, como el etanol y el biodiésel, como una estrategia para reducir los costos de importación, evitar la fuga de divisas y disminuir la subvención a los combustibles fósiles. Actualmente, el precio de la gasolina subsidiada en Bolivia se mantiene en 3.76 Bs/litro, mientras que sin apoyo estatal podría alcanzar hasta 12Bs/litro, lo que subraya la magnitud de la carga fiscal (Andia-Vargas et al., 2023).

El marco regulatorio se ha fortalecido con la Ley N°1098 de 2018, que habilitó la mezcla de etanol anhidro en la gasolina hasta un veinticinco por ciento (25%).

Recientemente, el Decreto Supremo N°5135 ha ratificado este techo máximo, al tiempo que incorpora el biodiésel. Sin embargo, el porcentaje de mezcla implementado históricamente se mantuvo en 12% debido a estudios técnicos y limitaciones de stock (Estado Plurinacional de Bolivia, 2024).

Dada la controversia por el posible incremento de la mezcla, la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), a través de su Instituto de Investigaciones Mecánicas y Electromecánicas (IIME), ha dedicado seis años de experimentación continua (desde 2018) a evaluar el impacto real del gasohol. Estos estudios son fundamentales porque se realizan en el contexto geográfico único de Bolivia (La Paz), a 3600 metros sobre el nivel del mar (msnm), utilizando un dinamómetro de chasis que es singular por su instalación a esa altitud (Torrez Caviña, 2023).

1.2 OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es analizar cómo la incorporación de etanol anhidro en la gasolina influye en la eficiencia del motor, especialmente en parámetros como potencia, torque y consumo específico de combustible, según estudios locales.

Asimismo, se busca evaluar el impacto del etanol en la reducción de emisiones contaminantes, particularmente CO y HC, considerando las condiciones geográficas y energéticas propias del contexto boliviano.

1.3 METODOLOGÍA

El enfoque del presente trabajo es descriptivo–analítico basado en la revisión y comparación de estudios experimentales nacionales e internacionales sobre combustibles mezclados con etanol. Se utilizaron como fuente principal los ensayos realizados por la UMSA en su dinamómetro de chasis a 3600 msnm, analizando datos de rendimiento y emisiones para mezclas entre E10 y E25. Además, se integraron estadísticas oficiales del Estado boliviano y el marco regulatorio vigente para contextualizar los resultados, permitiendo una interpretación técnica articulada con la política energética del país.

2. DESARROLLO

2.1 Propiedades Físicoquímicas y Desempeño Termodinámico en la Altura

El etanol anhidro es un compuesto oxigenado que, al mezclarse con gasolina, altera las propiedades termodinámicas del combustible, lo cual resulta en efectos

complejos en los motores de combustión interna (MCI).

2.1.1. El Impacto Contradictorio del Poder Calorífico y el Oxígeno: El primer punto de análisis es la reducción del poder calorífico (LHV). El bioetanol tiene un poder calorífico de aproximadamente 7,300 a 7,500 kilocalorías por kilogramo equivalente, considerablemente menor al de la gasolina, que es de unas 10,800 kcal/kg (Torrez Caviña, 2023). El poder calorífico de la mezcla disminuye a medida que aumenta el porcentaje de etanol. Una menor densidad energética podría implicar teóricamente una pérdida de potencia y un aumento en el consumo de combustible (Quispe Condori et al., 2025).

Sin embargo, el etanol anhidro ofrece una ventaja decisiva al ser un hidrocarburo oxigenado, conteniendo un radical de oxígeno (oxidrilo) en su fórmula. Este oxígeno adicional mejora la combustión, otorgándole a la mezcla la característica de ser más combustible (Torrez Caviña, 2023). Además, el etanol es un excelente incrementador de octanaje ($RON \approx 111$). El aumento del octanaje en la mezcla reduce la susceptibilidad al fenómeno de detonación (knocking). En el caso colombiano, se registró un aumento de 2 a 3 unidades en el Índice Antidetonante (IAD) con una mezcla del 10% (Cortes Marín, González Sánchez, & Álvarez Mejía, 2008). Una mayor capacidad de compresión con la mezcla gasolina-etanol se correlaciona con un aumento del torque y una disminución del Consumo Específico de Combustible al Freno (BSFC) (Torrez Caviña, 2023).

2.1.2. Eficiencia Termodinámica y el Factor Altura en Bolivia: Las investigaciones realizadas en La Paz han demostrado que, a pesar del menor poder calorífico, en bajas concentraciones de etanol anhidro, la mejora en la calidad de la combustión compensa y supera el rendimiento termodinámico de la mezcla. Un hallazgo crucial en las pruebas a gran altitud es el efecto térmico. Dado que el alcohol libera menos calor, el motor recibe menos calor durante el ciclo de combustión, lo que significa que se calienta menos. Este efecto es beneficioso para la durabilidad del motor, ya que el metal funciona mejor al no sufrir distorsiones térmicas (Torrez Caviña, 2023).

2.1.3. Durabilidad del Motor y Requisitos para la Mezcla: La preocupación en Bolivia sobre el daño a los motores ha sido objeto de debate público. El director del IIME-UMSA, ingeniero Jaime Sanchez, insiste en que el uso de etanol anhidro es ancestral (citando el ciclo Otto y el Ford Modelo T). Las pruebas de la UMSA durante seis años no han reportado ninguna alteración negativa ni falla estructural.

Se considera que la idea de que un lote de 3 millones de vehículos se dañe por culpa de un combustible que todos usan es estadísticamente ilógica (Erbol,2024).

Sin embargo, para garantizar la integridad del motor, es fundamental el uso de etanol estrictamente anhidro (con un máximo de 0.5% de agua en las pruebas académicas). El alcohol anhidro debe tener un contenido de agua inferior a 0.7% en volumen. La presencia de agua es el riesgo principal, ya que el etanol es altamente afín al agua, pudiendo causar separación de fases en el combustible, lo que resulta en una fase acuosa alcohólica altamente corrosiva que puede dañar el sistema de inyección o carburación (Cortes Marín, González Sánchez, & Álvarez Mejía, 2008).

2.2 En el contexto boliviano, la tecnología del motor es un factor diferenciador

2.2.1. Motores con Carburador: Los vehículos más antiguos pueden requerir una regulación manual (cambio de chicler) para ajustar la dosificación de la mezcla de aire y combustible y así optimizar el rendimiento con etanol (Andia-Vargas et al., 2023). La UMSA puso a prueba vehículos a carburador, destacando la necesidad de esta regulación para obtener resultados más óptimos (Torrez Caviña, 2023).

2.2.2. Motores de Inyección Directa (GDI): Estudios en Bolivia utilizando mezclas E10 y E12 han reportado problemas de obstrucción de inyectores en motores GDI (como el Toyota Vxi 1AZ-FSE), causados por un sedimento blanco, aunque los motores de inyección convencional (Nissan HR15) solo mostraron deterioro en los sellos de los inyectores (Quispe Condori et al., 2025).

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 El Consumo y el Punto de Equilibrio (BSFC y km/L)

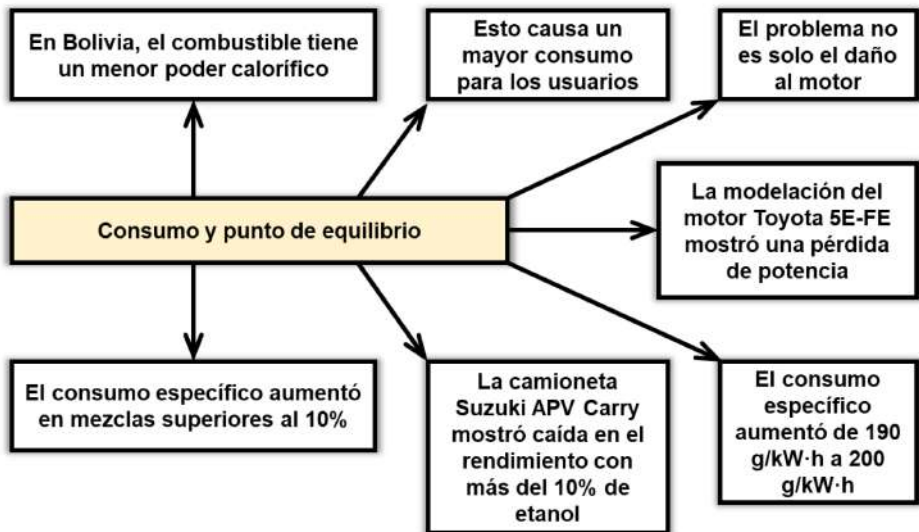
El principal dilema técnico en Bolivia no es el daño al motor, sino el punto en el que el menor poder calorífico supera el efecto oxigenante, resultando en un mayor volumen de combustible para el usuario (Erbol,2024). Esto se mide a través del Consumo Específico de Combustible (BSFC).

3.1.1. Resultados de Modelación y Pruebas Bolivianas: La modelación matemática de un motor (Toyota 5E-FE) con mezcla E12 mostró una disminución de la potencia efectiva (de 68 kW a 65 kW a 5500 rpm) y un aumento en el consumo específico (de 190 g/kW·h a 200 g/kW·h con E12). Esta menor densidad energética se traduce en una pérdida de potencia y un aumento en el consumo (Quispe Condori et al., 2025).

3.1.2. Volumen de Combustible Recorrido (km/L): En pruebas con la camioneta Suzuki APV Carry, se observó que con mezclas mayores al 10% de etanol, se tiene una caída en el rendimiento de kilómetros recorridos. El Consumo Específico también fue mayor en mezclas superiores al 10%. La Unidad de Control del Motor (ECU) compensa el menor poder calorífico inyectando más combustible, lo que explica el mayor consumo específico (Torrez Caviña, 2023).

3.1.3. La Mezcla Óptima (E15): A pesar de los resultados divergentes, el IIME de la UMSA ha determinado que la proporción óptima de mezcla es del 15% (E15), ya que es el punto de equilibrio ideal en términos de consumo de combustible versus economía.

Figura 1: Consumo y punto de equilibrio en el contexto boliviano.

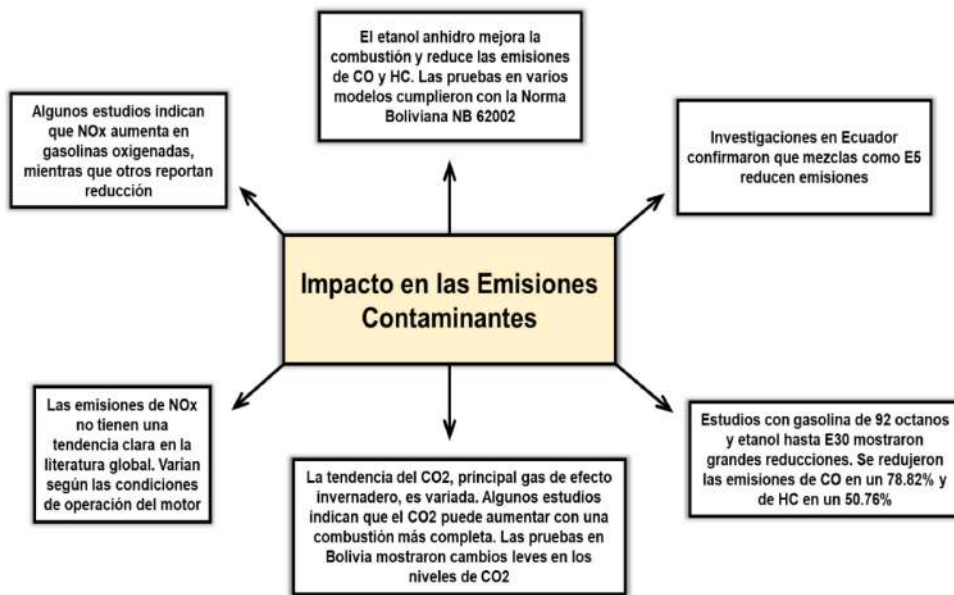


Fuente: Elaboración Propia

3.2. Impacto en las Emisiones Contaminantes

Los estudios de la UMSA, al utilizar un dinamómetro con capacidad para medir gases de escape, han permitido evaluar el impacto ambiental de las mezclas en Bolivia.

Figura 2: Impacto en las Emisiones Contaminantes.



Fuente: Elaboración Propia

3.2.1. Reducción de CO y HC: El efecto oxigenante del etanol anhidro produce una combustión más completa, lo que lleva a una reducción significativa de las emisiones de Monóxido de Carbono (CO) y de Hidrocarburos no quemados (HC). En general, las pruebas en varios modelos (Suzuki APV Carry, VW Gol, GAC GS4, Suzuki Jimny) mostraron que todas las mezclas (hasta E25) cumplen con la Norma Boliviana NB 62002 y presentan una gran disminución de HC respecto a la gasolina pura. En el caso del VW Gol, las mezclas de etanol mostraron una disminución muy considerable de HC, a excepción de la gasolina E0 (0% etanol) (Torrez Caviña, 2023).

3.2.2. Resultados de Laboratorio: Investigaciones ecuatorianas (similar región andina) confirmaron que mezclas como E5 producen una clara reducción de emisiones contaminantes. Estudios con gasolina de 92 octanos y etanol hasta E30 redujeron las emisiones de CO en un 78.82% y las de HC en un 50.76% (Sanisaca, 2025).

3.2.3. Dióxido de Carbono (CO₂): La tendencia del CO₂, el principal gas de efecto invernadero, es variada. Algunos estudios internacionales indican que el CO₂ puede aumentar debido a una combustión más completa (García Mariaca, Cendales Ladino, & Eslava Sarmiento, 2016). Sin embargo, las pruebas bolivianas en varios vehículos mostraron leves cambios o que el CO₂ se mantiene prácticamente invariante o con leve descenso en comparación con el combustible sin etanol (Torrez Caviña, 2023). Esto contrasta con el argumento internacional de que, aunque se libera CO₂ al quemarse el etanol, el uso de este puede resultar en una reducción neta de los niveles atmosféricos de CO₂ debido a que proviene de una fuente renovable (ciclo de vida) (Cortes Marín, González Sánchez, & Álvarez Mejía, 2008).

3.2.4. Óxidos de Nitrógeno (NOx): Las emisiones de NOx (precursores del smog fotoquímico) no presentan una tendencia clara en la literatura global, variando según las condiciones de operación del motor (García Mariaca, Cendales Ladino, & Eslava Sarmiento, 2016). Algunos estudios reportan que las emisiones de NOx aumentan en gasolinas oxigenadas comparadas con gasolinas puras (Ocampo Duque, 2006), mientras que otros observan una reducción (Muñiz-Ramireza et al., 2021).

3.3. Consideraciones Ambientales y Técnicas Adicionales

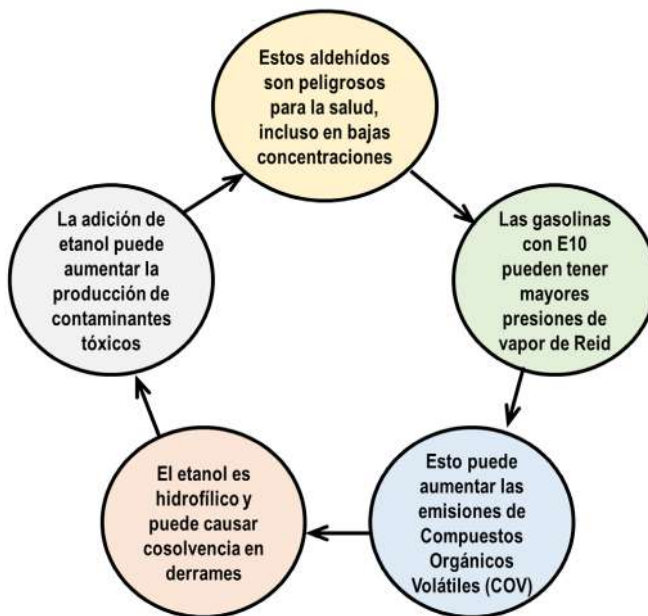
El uso del etanol, si bien resuelve problemas de emisiones reguladas (CO, HC), presenta otros desafíos:

3.3.1. Contaminantes No Regulados y Tóxicos: La adición de etanol puede incrementar la producción de contaminantes altamente tóxicos y no regulados, como el acetaldehído y el formaldehído. Estos aldehídos son muy peligrosos para la salud humana, incluso a bajas concentraciones (Ocampo Duque, 2006).

3.3.2. Emisiones Evaporativas (COV): Las gasolinas con bajas concentraciones de etanol (E10) pueden tener mayores presiones de vapor de Reid (PVR), lo que potencialmente aumenta las emisiones evaporativas de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) (Ortiz, 2010). Esto incrementa el potencial de formación de ozono troposférico (Ocampo Duque, 2006).

3.3.3. Riesgo de Contaminación de Aguas Subterráneas: El etanol, al ser hidrofílico, en caso de derrames (accidentales o provocados), puede causar el fenómeno de cosolencia, incrementando la solubilidad de compuestos tóxicos de la gasolina (BTEX) en el agua, facilitando su flujo hacia los acuíferos (Ocampo Duque, 2006).

Figura 3: Consideraciones ambientales y técnicas.



Fuente: Elaboración Propia

4. CONCLUSIONES

La alternativa en Bolivia de incrementar el techo de mezcla de etanol anhidro en la gasolina, respaldada por la Ley N° 1098 y el D.S. N° 5135, es una medida política y económica estratégica. No obstante, su implementación exitosa en el contexto boliviano de alta altitud requiere una integración de la ciencia y la cautela regulatoria.

4.1. Eficiencia y Desempeño Termodinámico: La decisión boliviana de ampliar el uso de etanol anhidro se alinea con tendencias internacionales adoptadas en países como Brasil, Estados Unidos y la Unión Europea, donde las mezclas etanol–gasolina se han consolidado por sus beneficios energéticos. En Bolivia, las pruebas del IIME–UMSA confirman que el etanol mejora la combustión por su mayor octanaje y contenido de oxígeno, favoreciendo el torque y reduciendo la temperatura de operación del motor. Sin embargo, al igual que en otros países de gran altitud (Perú, México), el menor poder calorífico del etanol incrementa el BSFC en mezclas superiores a E10, exigiendo mayor inyección de combustible por parte de la ECU.

4.2. La Proporción Estratégica Boliviana: Aunque el marco legal permite hasta el 25%, los estudios preliminares de la UMSA han determinado que la proporción más eficiente y óptima para la economía del usuario es el 15% (E15). La implementación de porcentajes superiores se realizará de forma gradual y sujeta a estudios técnicos bianuales que consideren la evolución dinámica del parque automotor.

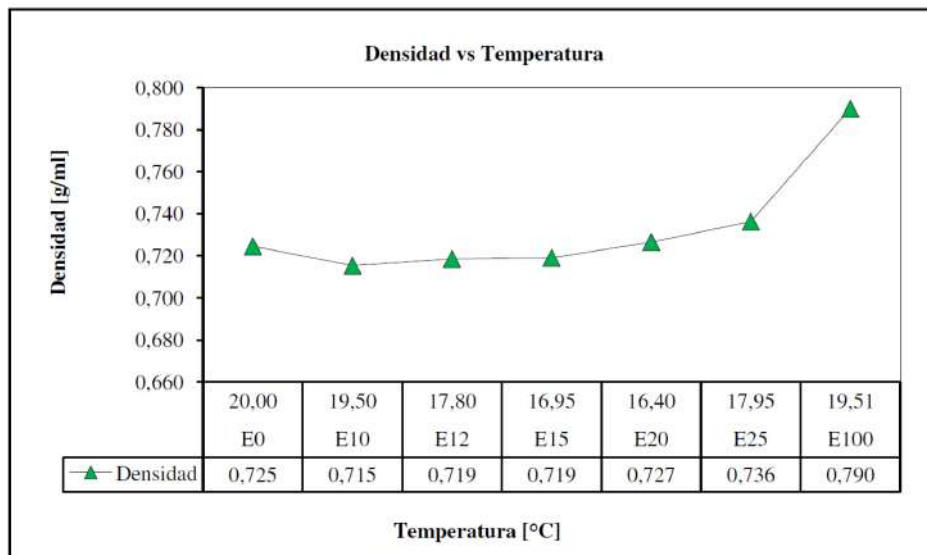
4.3. Beneficios Ambientales de las Emisiones Reguladas: La reducción de CO y HC observada en Bolivia es consistente con estudios globales que confirman la capacidad del etanol para mejorar la calidad de la combustión y disminuir contaminantes regulados en motores de encendido por chispa. En el contexto boliviano, estas mejoras permiten cumplir la NB 62002, mientras que el CO₂ muestra variaciones mínimas, fenómeno también reportado en países con programas de etanol más maduros como Brasil y Colombia.

4.4. Implicaciones Económicas y Logísticas: El programa está diseñado para impulsar el empresariado boliviano (sector cañero) y reducir la erogación de divisas. El incremento de la mezcla al 15% representa un ahorro proyectado de 45 a 50 millones de dólares USD anuales en la importación de gasolina. Es esencial garantizar la producción suficiente de etanol anhidro para evitar tener que importarlo, lo cual resultaría en una nueva fuga de divisas.

4.5. Riesgos y Recomendaciones Técnicas: Se recomienda encarecidamente la realización de estudios continuos y seriados (anuales, con análisis de lubricantes) para medir el impacto a largo plazo en los elastoméricos y el desgaste del motor. Se debe prestar especial atención a los motores con inyección directa (GDI), que han mostrado susceptibilidad a la obstrucción de inyectores en las pruebas bolivianas, y a la necesidad de regular mecánicamente los motores a carburador.

ANEXOS

Anexo 1: Suzuki APV Carry

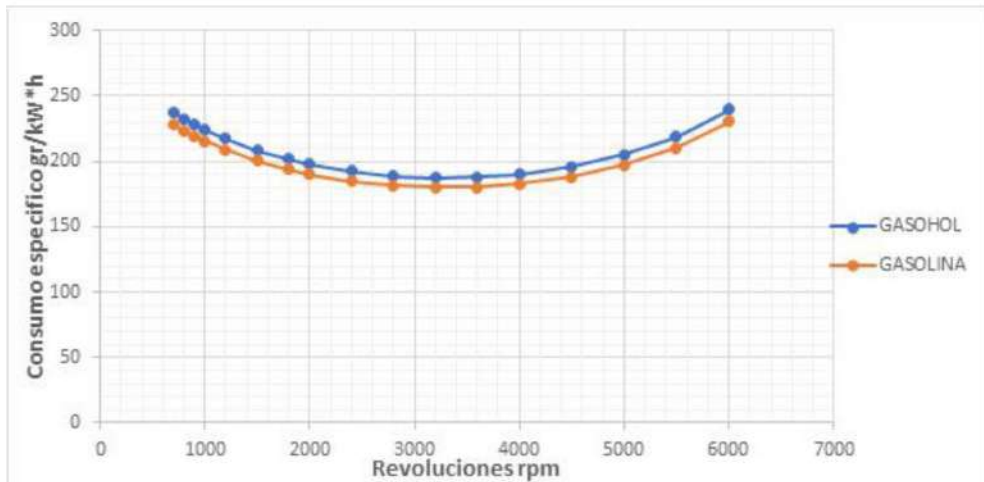
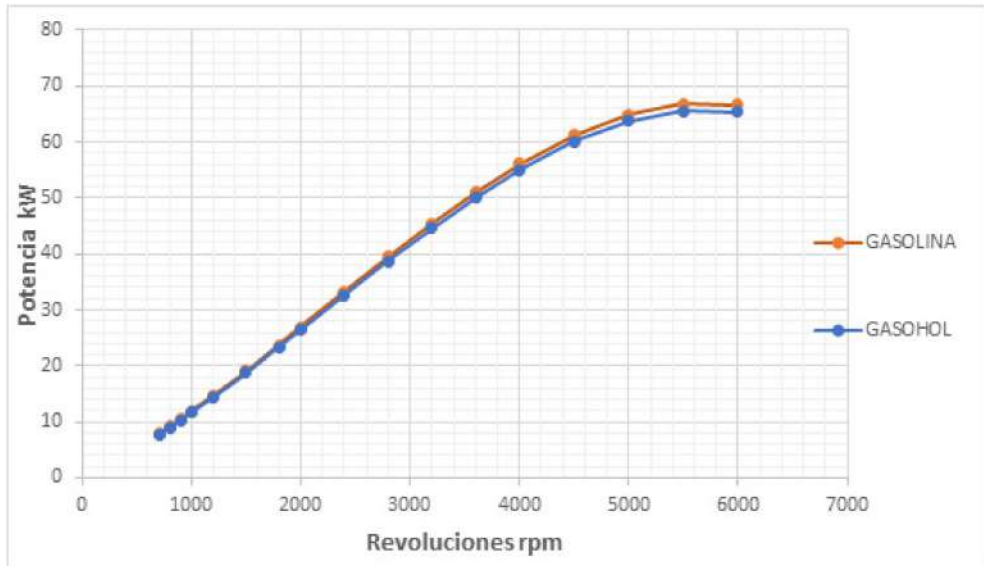


Combustible	Potencia Motor [kw]	Revoluciones [rpm]
E0	37,4	5236
E10	38,1	5225
E12	37,7	5228
E15	38,1	5236
E20	37,1	5235
E25	38,2	5242

Combustible	CO [% Vol.]	CO2 [% Vol.]	O2 [% Vol.]	HC [ppm]	Lambda	RPM
E0	0,01	15,20	0,09	29	1,002	700
E10	0,01	14,80	0,00	23	0,998	700
E12	0,00	14,90	0,00	9	0,999	700
E15	0,01	14,70	0,04	11	1,001	700
E20	0,01	14,80	0,00	19	0,999	700
E25	0,01	14,80	0,00	12	0,999	700

Fuente: Pruebas con diferentes porcentajes de etanol anhidro, rendimiento y emisiones.
 (Torrez Caviña, 2023)

Anexo 2: Potencia efectiva y consumo específico



Fuente: Potencia efectiva y consumo específico de un motor operando con gasolina y gasohol.
 (Quispe Condori et al., 2025)

REFERENCIAS

- Andia-Vargas, J. M., Salinas-Rojas, M., Orellana Lafuente, R., & Sempértégui-Tapia, D. F. (2023). Estado del arte sobre la influencia de mezclas etanol-gasolina en el desempeño de motores de combustión interna. Centro de Investigaciones Ópticas y Energías (CIOE), Universidad Privada Boliviana.
- Arce Catacora, L. A. (Presidente Constitucional del Estado Plurinacional de Bolivia). (2024). Decreto Supremo N° 5135. Gaceta Oficial del Estado Plurinacional de Bolivia.
- Asamblea Legislativa Plurinacional de Bolivia. (2018). Ley N° 1098: Ley de Aditivos de Origen Vegetal.
- Cortes Marín, E., González Sánchez, H., & Álvarez Mejía, F. (2008). Colombia en la era del alcohol carburante. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 3(2), 120–132.
- Delius, C. E. (2008). Producción de etanol: Una oportunidad para Bolivia. *Revista Virtual REDESMA*, 1(2), 43–54.
- García Mariaca, A., Cendales Ladino, E. D., & Eslava Sarmiento, A. F. (2016). Motores de combustión interna (MCI) operando con mezclas de etanol gasolina: Revisión. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 26(1), 75–96. <https://doi.org/10.18359/rcin.1626>
- Granada Aguirre, L. F. (2005). El alcohol carburante: Un proyecto con un futuro ambiental, económico y social incierto. *Entramado*, 1(1), 26–39.
- Iñiguez Izquierdo, J. F., Reyes Campaña, G. G., Rivera Rivera, C. A., & Vera Orbe, E. S. (2017). Estudio de emisiones contaminantes producidas por un motor Otto con el uso de gasolina y un combustible a base de 95% de gasolina y 5% de etanol. *INNOVA Research Journal*, 2(12), 11–18. ISSN 2477-9024.
- Kothare, C. B., & Kongre, S. (2016). Experimental Investigation of Effect of Gasoline-Higher Alcohol Blend on Performance Characteristic of Four Stroke Spark Ignition Engine at Variable Compression Ratio. 2016 International Conference on Research and Innovations in Science, Engineering & Technology (ICRISET). (ISBN 978-1-4673-9939-5/16). IEEE.

- Medinaceli Monrroy, S. M., & Velázquez Bilbao La Vieja, M. G. (2024). Precios y subsidios a los hidrocarburos en Bolivia 1986-2025 (Development Research Working Paper Series, No. 01/2024). Institute for Advanced Development Studies (INESAD).
- Muñiz-Ramirez, N. B., Rua-Mojica, L. F., Ley-Tomas, S., Hernández-Altamirano, R., Mederos-Nieto, F. S., & Martínez-Martínez, S. (2021). Estudio experimental de emisiones contaminantes generadas en un motor de relación de compresión variable tipo CFR alimentado con mezclas gasolina-etanol. Memorias del XXVII Congreso Internacional Anual de la SOMIM.
- Ocampo Duque, W. A. (2006). ¿Es la biogasolina una alternativa ambiental en Colombia? Revista Facultad de Ingeniería, 38, 7–19.
- Puma Corbacho, S. E. (2021). Uso de las mezclas diésel-biodiésel-etanol y sus efectos sobre el proceso de combustión, desempeño energético y emisiones contaminantes de un motor de encendido por compresión de 240 Kw. [Tesis].
- Quispe Condori, B., Murillo Coca, G., Terán Ballesteros, R. U., Guerreros Colque, J., Chungara Santillán, H., & Villafuerte Garabito, J. (2025). Simulación del performance de motores de combustión interna con mezcla gasolina-etanol en el contexto boliviano. Recites, 3(1). <https://doi.org/10.70598/vbvr3010ei12t>
- Sanisaca Brito, C. V. (2025). Análisis de los efectos de la concentración de etanol en combustibles de 82 y 92 octanos para reducir emisiones de gases contaminantes: Pruebas en vacío y carga en un vehículo de combustión interna de 2000 cc. [Tesis]
- Torrez Caviña, M. A. (2023). Evaluación del impacto de diferentes mezclas de etanol anhidro y gasolina en vehículos equipados con motores ciclo Otto convencionales a 3600 msnm [Tesis de Maestría Terminal, Universidad Mayor de San Andrés].
- Erbol (2024). Académico de la UMSA asegura que no se ha reportado daños en vehículos por la mezcla de alcohol anhidro en la gasolina. Recuperado de: <https://erbol.com.bo/nacional/acad%C3%A9mico-de-la-umsa-asegura-que-no-se-ha-reportado-da%C3%B1os-en-veh%C3%ADculos-por-la-mezcla-de>



Carrera de Ingeniería Industrial 86 Años

**Facultad de Ingeniería
Universidad Mayor de San Andrés**

UMSA
UNIVERSIDAD DEL BICENTENARIO



CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS