

Una visión sobre el empleo de mezclas etanol-gasolina en motores de combustión interna

A vision on the use of ethanol-gasoline mixtures in internal combustion engines

Ing. Yarian Reyes Suárez, Dr.C. Yanoy Morejón Mesa, Dra.C. Mayra Arteaga Barrueta

Centro de Mecanización Agropecuaria
Facultad de Ciencia Técnicas
Universidad Agraria de La Habana “Fructuoso Rodríguez”

Autores para correspondencia: yarian@unah.edu.cu, ymm@unah.edu.cu, mayra@unah.edu.cu

Resumen

El siguiente trabajo está enfocado en el empleo de los biocombustibles en especial, las mezclas de etanol con gasolina para su uso en los motores de encendido por chispa, se puede apreciar que con el uso indiscriminado de los combustibles fósiles se hace necesario el desarrollo de otras alternativas, ya que estos son altos contaminantes del medio ambiente y son recursos limitados por lo que la propuesta que se expone en este documento es el uso de mezclas de etanol con gasolina las cuales presentan ventajas en cuanto a la emisión de gases de efecto invernadero, la combustión que se realiza en la cámara de compresión, el aspecto corrosivo, entre otras. También se pudo observar cómo se enfoca el uso de esta mezcla en el mundo y cuáles son las principales visiones que existen en este ámbito. Es importante destacar que en cuanto al plano social el uso del etanol es un problema ya que se contrapone a la alimentación de la población, pues los principales productores de este son Estados Unidos y Brasil los cuales utilizan el maíz para su obtención, producto que es muy cotizado por su carácter nutritivo, por lo que una de las propuestas es la obtención de etanol con fines energéticos a través de residuos agroindustriales y/o agrícolas. Otra importante conclusión de este documento es que no se conoce la mezcla óptima entre gasolina y etanol con cierto grado de hidratación y variabilidad en el coeficiente de suministro de aire a fin de garantizar que el motor de combustión interna pueda trabajar con todos los beneficios que brinda esta alternativa sin realizar modificaciones mecánicas.

Abstract

The following work is focused on the use of biofuels, especially ethanol- gasoline blends for use in spark ignition engines, it can be seen that with the indiscriminate use of fossil fuels it is necessary to develop other alternatives, since these are high pollutants of the environment and are limited resources, so the proposal presented in this document is the use of ethanol blends with gasoline which have advantages in terms of the emission of greenhouse gases, the combustion that is carried out in the compression chamber, the corrosive aspect, among others. It's could also observe how the use of this blends is focused on the world and what are the main visions that exist in this area. It is important to highlight that in terms of the social level the use of ethanol is a problem since it is opposed to the population's food, since the main producers of this are the United States and Brazil which use corn to obtain it, a product that is highly valued for its nutritional nature, so one of the proposals is to obtain ethanol for energy purposes through agro industrial and / or agricultural waste. Another important conclusion of this document is that the optimal blend between gasoline and ethanol with some degree of hydration and variability in the air supply coefficient is not known in order to ensure that the internal combustion engine can work with all the benefits it provides this alternative without making mechanical modifications.

Recibido: 5 de diciembre de 2019.

Aprobado: 24 de febrero de 2020.

Introducción

La amenaza del agotamiento de los hidrocarburos fósiles ha sido advertida desde hace más de cuatro décadas por varias organizaciones mundiales. Pero a la vez es minimizada por sus impactos de diversos órdenes, dada la alta dependencia del petróleo en el mundo contemporáneo. En 1956, el geofísico norteamericano Marion Hubbert King pronosticó que la producción petrolera norteamericana haría pico en 1970, y que el pico mundial se originaría después de 1995, y declinaría tan rápido como creció. Subrayando que el factor limitante no era la extracción del producto, sino la energía requerida en el proceso, al sugerir: *“...lo importante no es solamente los costos, sino el gasto de energía que se consume para producir una unidad de energía...”* Muchas entidades científicas afirman que el “pico petrolero” es una realidad inevitable, y lo pronostican para diferentes fechas. Pero lo importante es, que nadie duda que ocurra, y traiga consigo graves consecuencias a la economía mundial (Domínguez, 2011).

Considerándose la amenaza que constituye el agotamiento de los hidrocarburos provenientes del proceso de extracción del petróleo y el cambio climático; a nivel mundial se han establecido normas y técnicas para evitar la dependencia de

Introduction

The threat of the depletion of fossil hydrocarbons has been warned for more than four decades by various world organizations. But at the same time it is minimized by its impacts of various kinds, given the high dependence on oil in the contemporary world. In 1956, the North American geophysicist Marion Hubbert King predicted that North American oil production would peak in 1970, and that the world peak would originate after 1995, and would decline as fast as it grew. Underlining that the limiting factor was not the extraction of the product, but the energy required in the process, by suggesting: *“... the important thing is not only the costs, but the energy expenditure that is consumed to produce a unit of energy...”* Many Scientific entities affirm that the “peak oil” is an inevitable reality, and they forecast it for different dates. But the important thing is that no one doubts that it will happen, and that it will bring serious consequences to the world economy (Domínguez, 2011).

Considering the threat posed by the depletion of hydrocarbons from the oil extraction process and climate change; Standards and techniques have been established worldwide to avoid dependence on these. Some current technological

estos. Algunos desarrollos tecnológicos actuales indican la tendencia a reducir el consumo de los hidrocarburos fósiles, fomentándose paulatinamente el empleo de combustibles alternativos, como es el caso de los biocombustibles (Aguilar, 2007).

Varias han sido las investigaciones desarrolladas sobre el uso racional y la menor dependencia de los hidrocarburos. Algunos de estos resultados han estado sustentados en el empleo del etanol como combustible; siendo este un biocombustible que ha sido empleado en mezclas (etanol-gasolina) para obtener una combustión limpia. Este se produce a partir de la fermentación de medios azucarados hasta lograr un grado alcohólico determinado. En la actualidad, el mismo es ampliamente utilizado por países como: Estados Unidos, Brasil, Japón, Colombia, India y la Unión Europea. Anualmente, millones de litros son agregados a la gasolina, con el propósito de mejorar el rendimiento de los vehículos y reducir la contaminación ambiental (Aguilar, 2007).

El empleo del etanol en motores de encendido por chispa posibilita aumentar el octanaje de la gasolina, y mejorar la calidad de sus emisiones, como es el caso de la mezcla E-10 % (10 % de etanol y 90 % de gasolina). Pero puede ser usado en concentraciones mayores (E-85 %), o en su forma pura (Cabrera *et al.*, 2000).

A nivel mundial los fabricantes de automóviles aprueban el uso de ciertas mezclas de etanol y gasolina

Sobre este tema en particular Ahmed-Melo *et al* (2012) realizaron investigaciones sobre el rendimiento de un motor de encendido por chispa (Lada 1300), empleando mezclas de etanol-gasolina en un 10 %, 20 % y 30 %, obteniendo en sus resultados el comportamiento de los parámetros: torque efectivo, potencia efectiva, consumo específico de combustible y las emisiones de monóxido de carbono. En motores de encendido por chispa en las condiciones de Cuba, las mezclas de etanol anhidro con E-10 % y E-20 %, son las más adecuadas, sin necesidad de realizar modificaciones en el motor.

developments indicate the tendency to reduce the consumption of fossil hydrocarbons, gradually promoting the use of alternative fuels, as is the case of biofuels (Aguilar, 2007).

Various investigations have been carried out on the rational use and less dependence on hydrocarbons. Some of these results have been supported by the use of ethanol as fuel; This being a biofuel that has been used in mixtures (ethanol-gasoline) to obtain clean combustion. This is produced from the fermentation of sugary media until reaching a certain alcoholic degree. At present, it is widely used by countries such as: the United States, Brazil, Japan, Colombia, India and the European Union. Annually, millions of liters are added to gasoline, with the purpose of improving vehicle performance and reducing environmental pollution (Aguilar, 2007).

The use of ethanol in positive ignition engines makes it possible to increase the octane number of gasoline, and improve the quality of its emissions, as is the case with the E-10% mixture (10% ethanol and 90% gasoline). But it can be used in higher concentrations (E-85%), or in its pure form (Cabrera *et al.*, 2000).

Globally, automakers approve the use of certain ethanol-gasoline blends.

On this particular topic Ahmed-Melo *et al* (2012) conducted research on the performance of a spark ignition engine (Lada 1300), using ethanol-gasoline mixtures in 10%, 20% and 30%, obtaining in their results the behavior of the parameters: effective torque, effective power, specific fuel consumption and carbon monoxide emissions. In positive ignition engines in Cuba conditions, anhydrous ethanol mixtures with E-10% and E-20% are the most suitable, without the need for modifications to the engine.

Camarillo (2011) desarrolló investigaciones sobre el proceso de combustión en motores de gasolina, encaminadas al estudio de la combustión en un motor monocilíndrico de ignición AVL, modelo 5401; alimentado el mismo con mezclas gasolina-etanol anhidro e hidratado a distintas concentraciones. Este autor obtuvo entre sus principales resultados en el comportamiento de los parámetros: consumo específico de combustible, temperatura del aire de admisión, temperatura de los gases de escape y la potencia indicada; además determinó las cantidades de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrocarburos no quemados (HC) y óxidos de nitrógeno (NO_x). En sus resultados se evidencia un efecto de empobrecimiento en el combustible, dado por el aumento del contenido de etanol, tanto, anhidro como hidratado. Otro resultado fue una pequeña reducción de la potencia indicada (menor al 2 %), que aumenta considerablemente el consumo de combustible. Se observó además que las mezclas gasolina-etanol, con porcentaje de etanol anhidro al 20 % (E-20 %), y etanol hidratado al 20 % (HE-20 %), presentaron los mejores resultados en el análisis de los gases de escape; reduciendo notablemente las emisiones de CO (4-6 %), HC (3-9 %) y NO_x (8-9 %) respectivamente, manteniendo prácticamente constante la emisión de CO₂ (reducciones menores al 1 %).

De igual forma la tolerancia al agua por parte de la gasolina es proporcional al contenido de etanol en la mezcla, concluyendo que, a una temperatura mayor de 10 °C, no hubo separación de fases para las mezclas de gasolina y el etanol hidratado; mientras que las mezclas con etanol anhidro no presentaron este problema a temperaturas bajas. Li *et al* (2007) abordaron con mayor profundidad los aspectos relacionados con la cinética química de la oxidación del etanol como combustible. Lo que partieron para el desarrollo de sus investigaciones de la selección de presiones constantes (3...12 atm), y temperaturas iniciales de 800...950 K. Validando y comparando los resultados obtenidos en sus investigaciones con los modelos de predicción previamente establecidos por el mismo autor. En sus resultados

Camarillo (2011) developed research on the combustion process in gasoline engines, aimed at studying the combustion in a single-cylinder AVL ignition engine, model 5401; fueled with gasoline-anhydrous and hydrated ethanol mixtures at different concentrations.

This author obtained among his main results in the behavior of the parameters: specific fuel consumption, intake air temperature, exhaust gas temperature and the indicated power; It also determined the amounts of carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO₂), unburned hydrocarbons (HC) and nitrogen oxides (NO_x). Their results show a depletion effect on the fuel, given by the increase in the ethanol content, both anhydrous and hydrated. Another result was a small reduction in the indicated power (less than 2%), which considerably increases fuel consumption. It was also observed that the gasoline-ethanol mixtures, with anhydrous ethanol percentage at 20% (E-20%), and hydrated ethanol at 20% (HE-20%), presented the best results in the analysis of the exhaust gases ; notably reducing the emissions of CO (4-6%), HC (3-9%) and NO_x (8-9%) respectively, keeping the emission of CO₂ practically constant (reductions less than 1%).

In the same way, the tolerance to water by gasoline is proportional to the ethanol content in the mixture, concluding that, at a temperature greater than 10 ° C, there was no phase separation for the gasoline and hydrated ethanol mixtures; while the mixtures with anhydrous ethanol did not present this problem at low temperatures. Li *et al* (2007) addressed in greater depth the aspects related to the chemical kinetics of the oxidation of ethanol as fuel.

What they started for the development of their investigations of the selection of constant pressures (3... 12 atm), and initial temperatures of 800... 950 K. Validating and comparing the results obtained in their investigations with the

se evidencia que la cinética química de oxidación del etanol se ajusta a los modelos de predicción existentes.

Las mezclas de etanol-gasolina es el coeficiente de exceso de aire y la hidratación del etanol, pues estos influyen directamente en el proceso y calidad de la combustión.

Desarrollo

Estado actual del empleo de mezclas etanol-gasolina en motores de combustión interna

Para producir una combustión óptima en un motor de combustión interna, es necesario la vaporización combustible Kozlov *et al* (2019). Debido a su baja presión de vapor y a su alto calor latente de vaporización las temperaturas de vaporización del etanol puro son muy altas, por lo que es necesario implementar algún sistema de ayuda al encendido. La forma más sencilla es la mezcla con gasolina en diferentes porcentajes según las necesidades (Mantilla *et al.*, 2016).

Los biocombustibles responden a las políticas gubernamentales en cuánto seguridad energética reemplazando estos parcialmente los limitados combustibles fósiles y reduciendo la amenaza al medio ambiente por el escape de emisiones y calentamiento global. El uso de alcoholes, que se consideran formas importantes de biocombustibles, producido a partir de biomasa (por ejemplo, alcohol, biodiésel, bio-queroseno, H₂); mezclado con gasolina como combustible para motores, fue un tema de investigación científica desde 1980 (Gravalos *et al.*, 2011; Guarieiro y Guarieiro, 2013).

El etanol y el metanol son reconocidos como los biocombustibles renovables más adecuados para motores de combustión interna de encendido por chispa entre los diferentes alcoholes (Kumar y Nawab, 2014).

Como combustible el primero para estos motores brinda la posibilidad de producción a partir de fuentes de energía renovables como la caña de azúcar, la yuca, el maíz, la cebada y otros tipos de biomasa que posean bases azucaradas (Sharma y Lal, 2015).

prediction models previously established by the same Author. Their results show that the chemical oxidation kinetics of ethanol conforms to the existing prediction models. The ethanol-gasoline mixtures is the coefficient of excess air and the hydration of ethanol, as these directly influence the process and quality of combustion.

Development

Current status of the use of ethanol-gasoline mixtures in internal combustion engines.

To produce optimal combustion in an internal combustion engine, fuel vaporization Kozlov *et al* (2019) is necessary. Due to its low vapor pressure and its high latent heat of vaporization, the vaporization temperatures of pure ethanol are very high, which is why it is necessary to implement an ignition aid system. The simplest way is to mix it with gasoline in different percentages according to needs (Mantilla *et al.*, 2016).

Biofuels respond to government policies on energy security by partially replacing these limited fossil fuels and reducing the threat to the environment from escaping emissions and global warming. The use of alcohols, which are considered important forms of biofuels, produced from biomass (eg alcohol, biodiesel, bio-kerosene, H₂); mixed with gasoline as motor fuel, it was a subject of scientific research since 1980 (Gravalos *et al.*, 2011; Guarieiro and Guarieiro, 2013).

Ethanol and methanol are recognized as the most suitable renewable biofuels for positive ignition internal combustion engines among the different alcohols (Kumar and Nawab, 2014).

As fuel, the former for these engines offers the possibility of production from renewable energy sources such as sugar cane, cassava, corn, barley and other types of biomass that have sugary bases (Sharma and Lal, 2015). As reported by Al-Hasan (2003), ethanol is currently a prospective

Según lo informado por Al-Hasan (2003), el etanol es actualmente una sustancia prospectiva para su uso en automóviles sustituyendo combustibles a base de petróleo. La razón principal para abogar por el etanol es la posibilidad de producir de productos naturales o materiales de desecho; en comparación con la gasolina, que se produce a partir de recursos naturales no renovables. Además, esta sustancia muestra adecuadas características antidetonantes, sin embargo, los aspectos económicos aún limitan su uso a gran escala, por lo tanto en lugar de etanol puro, etanol-gasolina.

La mezcla de etanol al 85 % con gasolina (E-85), es empleada en Estados Unidos para automóviles. Estos combustibles se utilizan en vehículos de combustible flexible, que pueden quemar gasolina, o mezclas de etanol-gasolina, dependiendo de la disponibilidad del combustible. Estos vehículos requieren de un conjunto de modificaciones respecto a los vehículos de gasolina tradicionales (Tibaquirá *et al.*, 2018).

El uso de mezclas etanol-gasolina con bajo porcentaje de etanol como es el caso del E-5 (5 % etanol, 95 % gasolina), puede utilizarse en cualquier tipo de vehículo de gasolina, sin ninguna modificación mecánica (Kheiralla *et al.*, 2017).

Producción y empleo de etanol en el mundo y Cuba

El aumento del uso de la gasolina se expresa en mayores emisiones de dióxido de carbono y mayores niveles de gases de efecto invernadero a la atmósfera. El transporte puede representar hasta el 20 % de todas las emisiones de carbono (C) al ambiente (Ramos *et al.*, 2016).

En la actualidad se estima que el transporte aéreo emite más de 650 000 000 de toneladas métricas de dióxido de carbono, anualmente - equivalente a la contaminación de 136 000 000 automóviles, haciéndose un mayor uso de biocombustibles sostenibles crítico para reducir su huella de carbono (Ramos *et al.*, 2016).

substance for use in automobiles substituting petroleum-based fuels.

The main reason to advocate for ethanol is the possibility of producing from natural products or waste materials; compared to gasoline, which is produced from non-renewable natural resources. In addition, this substance shows adequate anti-knock characteristics, however, economic aspects still limit its use on a large scale, therefore instead of pure ethanol, ethanol-gasoline.

The mixture of 85% ethanol with gasoline (E-85) is used in the United States for automobiles. These fuels are used in flex-fuel vehicles, which can burn gasoline, or ethanol-gasoline blends, depending on fuel availability. These vehicles require a set of modifications compared to traditional gasoline vehicles (Tibaquirá *et al.*, 2018).

The use of ethanol-gasoline mixtures with a low percentage of ethanol, such as E-5 (5% ethanol, 95% gasoline), can be used in any type of gasoline vehicle, without any mechanical modification (Kheiralla *et al.*, 2017). Production and use of ethanol in the world and Cuba.

The increased use of gasoline is expressed in higher carbon dioxide emissions and higher levels of greenhouse gases into the atmosphere. Transportation can represent up to 20% of all carbon (C) emissions to the environment (Ramos *et al.*, 2016).

It is currently estimated that air transport emits more than 650,000,000 metric tons of carbon dioxide annually - equivalent to the pollution of 136,000,000 automobiles, making greater use of sustainable biofuels critical to reducing its carbon footprint (Ramos *et al.*, 2016).

El consumo de gasolina mezclada con un 10 % de etanol (E10) en el continente americano es de 637 428 300 m³; siendo Estados Unidos (86,2 %), México (6,21 %), Brasil (2,52 %), Venezuela (2,0 %), Colombia (0,7 %) y Argentina (0,7 %) los países que presentan mayor nivel de consumo, mientras que el 1,67 % restante corresponde al resto de países de esta la zona, mientras que la producción de etanol para E10 es de unos 33 623 700 m³; siendo Estados Unidos (16 139 200 m³), Brasil (15 999 200 m³), México (445 200 m³), Colombia (270 000 m³), Argentina (230 000 m³) y Guatemala (144 000 m³) los mayores productores de este producto para estos fines (IICA, 2007).

La preocupación acerca de los altos precios del petróleo y la independencia energética es un factor que afecta el desarrollo de los países. En muchos de estos, representa un potencial para producción de biocombustibles, debido a que los cultivos tropicales y subtropicales utilizados tienen un mejor balance energético y ambiental que los cultivos que crecen en países del Norte del Hemisferio, Tabla 1.1 (IICA, 2007).

The consumption of gasoline mixed with 10% ethanol (E10) in the American continent is 637,428,300 m³; being the United States (86.2%), Mexico (6.21%), Brazil (2.52%), Venezuela (2.0%), Colombia (0.7%) and Argentina (0.7%) the countries with the highest level of consumption, while the remaining 1.67% corresponds to the rest of the countries in this area, while the ethanol production for E10 is about 33 623 700 m³; The United States (16,139,200 m³), Brazil (15,999,200 m³), Mexico (445,200 m³), Colombia (270,000 m³), Argentina (230,000 m³) and Guatemala (144,000 m³) are the largest producers of this product for these purposes (IICA, 2007).

Concern about high oil prices and energy independence is a factor that affects the development of countries. In many of these, it represents a potential for biofuel production, because the tropical and subtropical crops used have a better energy and environmental balance than the crops grown in countries in the Northern Hemisphere, Table 1.1 (IICA, 2007).

Tabla 1.1. Balance energético y ambiental de cultivos tropicales (IICA, 2007)

Table 1.1. Energy and environmental balance of tropical crops (IICA, 2007)

Balances				Etanol		Biodiesel	
Balance energético (Unidad retornada de energía por cada unidad de energía no renovable usada)				Trigo	2	Girasol	3,2
				Remolacha	2	Canola	2,7
				Maíz	1,5	Soya	3
				Caña de azúcar	8,3	Palma	9
Balance ambiental (GHG emisiones por tonelada de petróleo, en toneladas equivalentes de CO2)				Remolacha	2,17	Soya	2,6
				Trigo	1,85	Canola	1,79
				Caña de azúcar	0,41	Palma	1,73
				Paja	0,33	Madera	0,27

Producción de etanol en Estados Unidos

La cantidad de grano usado en Estados Unidos para producir combustible está despuntando rápidamente: la inversión en la producción de agrocombustibles — que una vez fueron dependientes de los subsidios de

Ethanol production in the United States

The amount of grain used in the United States to produce fuel is rapidly emerging: investment in agrofuel production - once dependent on US government subsidies - is now driven by the

gobierno estadounidense—, está ahora impulsada por el continuo aumento de los precios del petróleo desde finales del 2005. Los actuales subsidios aplicados a la conversión del maíz en etanol han generado enormes beneficios económicos, que han traído consigo una explosión de inauguraciones de destilerías de etanol en territorio estadounidense.

George W. Bush en su discurso de State of the Union del 2006 fijó una meta de producción para 2017 de algo más de 130 000 000 000 litros de combustibles alternativos al petróleo Pahissa (2007), dadas las dificultades para producir etanol celulósico aún a un costo competitivo, y la oposición pública al carbón licuificado —mucho más intensivo en carbono que la propia gasolina—, la mayor parte del combustible para satisfacer esta meta deberá provenir del maíz, lo que significa destilar la mayor parte de la cosecha de grano de Estados Unidos, dejando un escaso volumen de maíz para satisfacer las necesidades nacionales, y olvidar los cerca de cien países que actualmente importan maíz estadounidense. La cosecha de maíz de Estados Unidos contabiliza el 40 % de la cosecha mundial y provee el 70 % de las exportaciones de maíz del mundo. El maíz que se necesita para llenar una sola vez un depósito de 95 litros de etanol abastecería a una persona durante un año entero, por lo que unas de las soluciones para que el etanol sea rentable es combinarlo con otros combustibles como la gasolina y obtenerlo de otros productos o de residuos para que no afecte la sustentabilidad humana (Sachs y Santarius, 2007).

Producción de etanol en Brasil

En Brasil la materia prima principal para la producción de etanol es la caña de azúcar Wang *et al* (2016). Varios estudios científicos en el campo microbiológico han sido cruciales para la evolución de la industria del etanol en Brasil, a saber, la mejora y el desarrollo de nuevos procesos de fermentación, la selección de cepas industriales de levadura robustas, mejor control de contaminantes bacterianos, mejora de control químico y microbiológico en las destilerías (Lopes *et al.*, 2016).

Hoy en día varias destilerías brasileñas están buscando innovaciones tecnológicas para mejorar su rendimiento y garantizar la competitividad de la producción de etanol. La evolución del etanol

continued rise in oil prices since late 2005. The current subsidies applied to the conversion of corn into ethanol have generated enormous economic benefits, which have brought with them an explosion of openings of ethanol distilleries in the United States.

George W. Bush in his 2006 State of the Union speech set a production goal for 2017 of just over 130,000,000,000 liters of alternative fuels to Pahissa oil (2007), given the difficulties in producing cellulosic ethanol even at a low rate. cost competitive, and public opposition to liquefied coal - much more carbon-intensive than gasoline itself - most of the fuel to meet this goal will have to come from corn, which means distilling most of the United States' grain crop. United, leaving a small volume of corn to satisfy national needs, and forgetting the nearly 100 countries that currently import American corn.

The United States corn harvest accounts for 40% of the world harvest and provides 70% of the world's corn exports. The corn that is needed to fill a 95 liter tank of ethanol only once would supply one person for a whole year, so one of the solutions to make ethanol profitable is to combine it with other fuels such as gasoline and obtain it from other products or waste so that it does not affect human sustainability (Sachs and Santarius, 2007).

Ethanol production in Brazil

In Brazil, the main raw material for ethanol production is sugarcane Wang *et al* (2016). Several scientific studies in the microbiological field have been crucial for the evolution of the ethanol industry in Brazil, namely, the improvement and development of new fermentation processes, the selection of robust industrial yeast strains, better control of bacterial contaminants, improvement of chemical and microbiological control in distilleries (Lopes *et al.*, 2016).

Today several Brazilian distilleries are looking for technological innovations to improve their performance and guarantee the competitiveness

de primera y segunda generación depende de nuevas materias primas y de una mejora continua de la microbiología (Amorim *et al.*, 2011).

Aunque la producción de etanol de primera generación ha sido considerada una tecnología madura, existen grandes oportunidades de investigación, desarrollo e innovación para los brasileños Tosi *et al* (2011). Incluye reducción de pérdidas de azúcares, nuevas estrategias para controlar contaminantes bacterianos, selección de nuevas cepas de levadura, tecnologías para la reducción de volúmenes de bagazo y usos alternativos por la industria, ahorro de energía, mejor uso del agua, desarrollo de nuevos procesos de fermentación para materias primas alternativas y biorrefinerías para alto valor agregado de los productos (Lopes *et al.*, 2016).

Además es necesario desarrollar estrategias para la transferencia de nuevas tecnologías a la industria pues son fundamentales para aumentar la eficiencia y reducir costos. Un estudio realizado en 2016 mostró que por cada 1,00 USD invertidos en investigación y desarrollo, hay potencial devolver 17,11 USD solo en términos de reducción de producción costos en destilerías brasileñas. Finalmente, inversiones en desarrollo científico y tecnológico, formación de investigadores y profesionales especializados construirán puentes sólidos entre la ciencia y la industria para el futuro sostenible de la producción de etanol en Brasil (Lopes *et al.*, 2016).

Las políticas nacionales en Brasil apuntan a la sostenibilidad, prevén el uso de materias primas no alimentarias para la producción de biocombustibles minimizando el conflicto "comida versus combustible". De esta manera, los agricultores son "marginados" por el sistema, con respecto al suministro de materia prima, ya que el sector del biodiesel tiende a no evolucionar en términos del uso de tecnologías avanzadas, beneficiándose el sector que utiliza tecnologías avanzadas (Françoise *et al.*, 2017).

Se espera que el gobierno brasileño cree políticas sobre recuperación de residuos y le otorgue a las mismas una importancia igual a la que se le da a

of ethanol production. The evolution of first and second generation ethanol depends on new raw materials and a continuous improvement of microbiology (Amorim *et al.*, 2011).

Although first-generation ethanol production has been considered a mature technology, there are great research, development and innovation opportunities for Brazilians Tosi *et al* (2011). Includes reduction of sugar losses, new strategies to control bacterial contaminants, selection of new yeast strains, technologies to reduce bagasse volumes and alternative uses by industry, energy saving, better use of water, development of new processes of fermentation for alternative raw materials and biorefineries for high added value of the products (Lopes *et al.*, 2016).

Furthermore, it is necessary to develop strategies for the transfer of new technologies to industry, as they are essential to increase efficiency and reduce costs. A study conducted in 2016 showed that for every USD 1.00 invested in research and development, there is potential to return USD 17.11 only in terms of reduced production costs in Brazilian distilleries. Finally, investments in scientific and technological development, training of researchers and specialized professionals will build solid bridges between science and industry for the sustainable future of ethanol production in Brazil (Lopes *et al.*, 2016).

National policies in Brazil aim at sustainability, foresee the use of non-food raw materials for the production of biofuels, minimizing the "food versus fuel" conflict. In this way, farmers are "marginalized" by the system, with respect to the supply of raw materials, since the biodiesel sector tends not to evolve in terms of the use of advanced technologies, benefiting the sector that uses advanced technologies (Françoise *et al.*, 2017).

la producción de materia prima, las posibilidades de avances en este sector son la producción de material para biodiesel entre los que se destaca la colza, que se puede producir en invierno como alternativa para la rotación de cultivos. El gobierno brasileño debería invertir en biotecnología para mejorar los cultivos a fin de aumentar productividad agrícola de forma sostenible y con preservación del medio ambiente; pudiéndose ser utilizadas las herramientas de ingeniería genética para incrementos reales de aceite en granos, de semillas oleaginosas y para conferir resistencia genética a moléculas herbicidas, plagas y enfermedades, directamente relacionado con el desarrollo de cultivares de los principales cultivos oleaginosos (Françoise et al., 2017).

Políticas y tendencias que apoyan el empleo del etanol en Cuba

Cuba no se encuentra ajena a esta situación y dentro de su potencial industrial, la industria azucarera, abre una perspectiva extraordinaria para transformarse en una biorrefinería que emplee integralmente la caña de azúcar como fuente de energía y de productos químicos, como el biodiesel y el bioetanol. (Rivero *et al.*, 2010) plantean que la biorrefinería de la gramínea obliga a la integración de la destilería con la producción del central y la caña de azúcar como materia prima principal, lo que posibilita no sólo el empleo de las mieles finales, sino también de los jugos, mieles intermedias y el uso del bagazo y residuos de cosecha como energéticos, evitando la quema y requema de cañaverales y el necesario manejo agroecológico de dicha planta.

González *et al* (2012) plantearon que para lograr el desarrollo de la industria azucarera en el concepto de biorrefinería es necesario desarrollar y optimizar los esquemas tecnológicos de producciones integradas de azúcar, etanol, electricidad y coproductos químicos derivados de la caña, considerando la incertidumbre en los balances de materiales y energía, la disponibilidad de las instalaciones y la incertidumbre operacional vinculada a los fenómenos de espera.

The Brazilian government is expected to create policies on waste recovery and give them equal importance to that given to the production of raw materials, the possibilities of progress in this sector are the production of material for biodiesel among the Rapeseed stands out, which can be produced in winter as an alternative for crop rotation. The Brazilian government should invest in biotechnology to improve crops in order to increase agricultural productivity in a sustainable way and with preservation of the environment; Genetic engineering tools can be used for real increases of oil in grains, oilseeds and to confer genetic resistance to herbicide molecules, pests and diseases, directly related to the development of cultivars of the main oilseed crops (Françoise et al., 2017).

Policies and trends that support the use of ethanol in Cuba

Cuba is not alien to this situation and within its industrial potential, the sugar industry opens an extraordinary perspective to transform itself into a biorefinery that uses sugar cane as a source of energy and chemical products, such as biodiesel and bioethanol. . (Rivero et al., 2010) state that the grass biorefinery requires the integration of the distillery with the production of the plant and sugar cane as the main raw material, which enables not only the use of the final honeys, but also also of juices, intermediate honeys and the use of bagasse and harvest residues as energy, avoiding the burning and scorching of cane fields and the necessary agroecological management of said plant.

González et al (2012) stated that in order to achieve the development of the sugar industry in the biorefinery concept, it is necessary to develop and optimize the technological schemes for integrated production of sugar, ethanol, electricity and chemical by-products derived from cane, considering the uncertainty in the balances of materials and energy, the availability of the

Cuba ha logrado integrar una industria azucarera en el concepto de biorrefinería dándose la diversificación de sus producciones obteniéndose bioetanol de segunda generación, biodiesel de tercera generación y coproductos como el furfural, aceite de fusel y glicerina que permiten incrementar su rentabilidad, también con el empleo del hidrolizado de bagazo y jugo de los filtros, se ha reducido la compra de miel hasta un 8 % del total a consumir, permitiendo que la destilería se abastezca con la proveniente del central 256 días de los 280 que se planifica la operación anual, logrando alternativas que resultan factibles desde el punto de vista técnico y económico (De Armas *et al.*, 2018).

Otras alternativas que ha utilizado Cuba para la producción de etanol es levadura *Saccharomyces* en la producción de esta, la nación durante el período de 1975 a 1990, con la instalación de 10 fábricas, fue capaz de alcanzar, en conjunto, más de 120 000 toneladas por año (Almazán, 2008), producción que difiere mucho de la situación actual, debido a que en las destilerías, la recuperación de levaduras está limitada al fondaje excedente en los fermentadores ; cuestión que afecta no solo la cantidad de levadura, sino también su calidad.

En la actualidad, se desarrolla un programa para modernizar y aumentar la capacidad de producción del etanol, utilizando el jugo de los filtros y la miel final, aunque, se estudian otros esquemas (Domínguez, 2011).

Este jugo debe ser decantado para su uso posterior como sustrato en la fermentación alcohólica. Así, en algunos trabajos realizados, donde se verifican los parámetros propuestos por el MINAZ para la fermentación alcohólica de mezclas de miel final con jugo de los filtros con vista a futuras pruebas industriales, se concluye que es necesario clarificar previamente los jugos de los filtros; en trabajos realizados posteriormente, se reporta el empleo del jugo de los filtros clarificados en la fermentación alcohólica con similares resultados; evaluándose el jugo de los filtros en la obtención de etanol, llegándose a la conclusión que aunque el consumo de jugo por hectolitro de alcohol referido a las mieles se incrementa debido a la

facilities and the operational uncertainty linked to the waiting phenomena.

Cuba has managed to integrate a sugar industry into the biorefinery concept, diversifying its productions, obtaining second-generation bioethanol, third-generation biodiesel and co-products such as furfural, fusel oil and glycerin that allow increasing its profitability, also with the use of hydrolyzed bagasse and filter juice, the purchase of honey has been reduced to 8% of the total to be consumed, allowing the distillery to be supplied with that from the plant 256 days of the 280 that the annual operation is planned, achieving alternatives that are feasible from a technical and economic point of view (De Armas *et al.*, 2018).

Other alternatives that Cuba has used for the production of ethanol is *Saccharomyces* yeast in the production of this, the nation during the period from 1975 to 1990, with the installation of 10 factories, was able to reach, altogether, more than 120,000 tons per year (Almazán, 2008), production that differs greatly from the current situation, due to the fact that in the distilleries, the recovery of yeasts is limited to the surplus fondage in the fermenters; issue that affects not only the quantity of yeast, but also its quality.

Currently, a program is being developed to modernize and increase the ethanol production capacity, using the juice from the filters and the final honey, although other schemes are being studied (Domínguez, 2011).

This juice must be decanted for later use as a substrate in alcoholic fermentation. Thus, in some works carried out, where the parameters proposed by MINAZ for the alcoholic fermentation of mixtures of final honey with filter juice are verified with a view to future industrial tests, it is concluded that it is necessary to previously clarify the filter juices; In later studies, the use of clarified filter juice in alcoholic fermentation is reported with similar results; evaluating the juice of the filters in obtaining ethanol, reaching the

disminución de azúcar presente en el mismo, su utilización reporta grandes ventajas desde el punto de vista tecnológico y como sustituto de una parte de la miel final que pudiera destinarse a otros usos (Mesa, 2005).

La extracción del jugo de los filtros del proceso azucarero permite mejorar la calidad del azúcar producido, garantizar materias primas para otras producciones (miel y bagazo), así como obtener esquemas operacionales más económicos. La implantación del esquema de producción donde los jugos se emplean para la producción de etanol trae beneficios económicos debido a que disminuyen los costos de producción. Desde el punto de vista económico la inversión a realizar en la destilería es viable, ya que el período de recuperación se encuentra por debajo de los 4 años y se obtienen indicadores económicos positivos (Ibáñez *et al.*, 2018).

Estudios realizados por Zumalacárregui *et al* (2015) plantean que producir etanol por hidrólisis del bagazo ocasiona una pérdida de las potencialidades de producción de electricidad entre 45 % y 64 % (en dependencia de si se considera el etanol producido a partir de celulosas y hemicelulosas o solamente de celulosas) cuando se compara con la electricidad producida quemando el bagazo húmedo (50 %). Si se utiliza la lignina contenida en el bagazo y se produce biogás a partir de las vinazas de destilería esta pérdida de potencialidades energéticas se reduce 35 %.

Por otra parte, las emisiones de CO₂ disminuyen si se produce etanol a partir del bagazo, aun cuando se queme la lignina y el biogás para producir mayor cantidad de energía, observándose que la alternativa de producción de etanol a partir del bagazo es beneficiosa desde el punto de vista ambiental. Por consiguiente, la decisión de proceder a producir etanol o electricidad a partir de bagazo dependerá de la eficiencia en la transformación de las celulosas y hemicelulosas contenidas en el bagazo que hasta hoy son bajas lo que no hace competitiva la producción de bioetanol a partir de materiales

conclusion that although the consumption of juice per hectoliter of alcohol referred to honeys increases due to the decrease in sugar present in it, its use reports great advantages from the technological point of view and as a substitute for a part of the final honey that could be used for other uses (Mesa, 2005).

The extraction of the juice from the filters of the sugar process makes it possible to improve the quality of the sugar produced, guarantee raw materials for other productions (honey and bagasse), as well as obtain more economical operational schemes. The implementation of the production scheme where the juices are used for the production of ethanol brings economic benefits due to the reduction in production costs. From the economic point of view, the investment to be made in the distillery is viable, since the recovery period is below 4 years and positive economic indicators are obtained (Ibáñez *et al.*, 2018).

Studies carried out by Zumalacárregui *et al* (2015) suggest that producing ethanol by hydrolysis of bagasse causes a loss of electricity production potential between 45% and 64% (depending on whether ethanol produced from celluloses and hemicelluloses or cellulosic only) when compared to electricity produced by burning wet bagasse (50%). If the lignin contained in the bagasse is used and biogas is produced from distillery stillage, this loss of energy potential is reduced by 35%.

On the other hand, CO₂ emissions decrease if ethanol is produced from bagasse, even when lignin and biogas are burned to produce a greater amount of energy, observing that the alternative of ethanol production from bagasse is beneficial from the beginning. environmental point of view. Consequently, the decision to proceed to produce ethanol or electricity from bagasse will depend on the efficiency in the transformation of the celluloses and hemicelluloses contained in the bagasse, which until today are low, which does not make the production of bioethanol from

lignocelulósicos en comparación con la producción de electricidad en algunos países.

Ventajas y desventajas del empleo de etanol como combustible en motores de combustión

En términos de expulsión de CO₂ al medio ambiente, la producción y uso de la mezcla E-85, evita la emisión de este gas contaminante en 170 g/km recorrido en comparación con la producción y uso de la gasolina, lo que supone un 90 % de ahorro. En la Figura.1.1 se muestra la masa de CO₂ equivalentes por kilómetro recorridos, en función de la composición porcentual de etanol, en mezclas de etanol-gasolina.

materials competitive. lignocellulosics compared to electricity production in some countries.

Advantages and disadvantages of using ethanol as fuel in combustion engines

In terms of the expulsion of CO₂ to the environment, the production and use of the E-85 mixture, avoids the emission of this polluting gas in 170 g / km traveled compared to the production and use of gasoline, which represents a 90 % saving. Figure 1.1 shows the mass of CO₂ equivalents per kilometer traveled, as a function of the percentage composition of ethanol, in ethanol-gasoline mixtures.

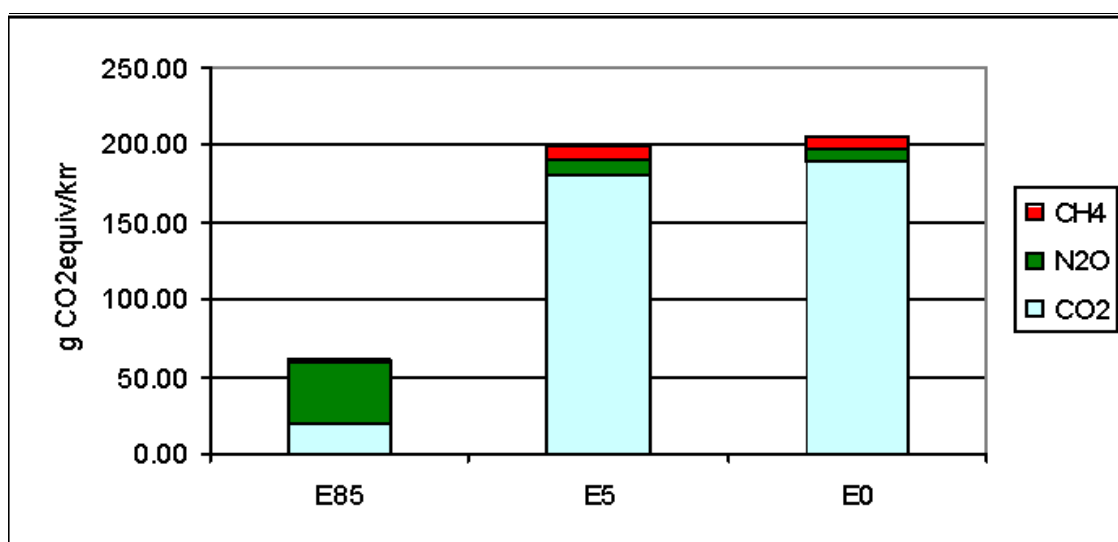


Figura.1.1. Emisiones de gases de efecto invernadero por kilómetro recorrido en función del porcentaje de etanol en la mezcla gasolina-etanol.

Figure 1.1. Greenhouse gas emissions per kilometer traveled as a function of the percentage of ethanol in the gasoline-ethanol mixture.

Si se tienen en cuenta las emisiones de todos los gases de efecto invernadero, se obtiene, que la producción y uso del etanol (E-85), reduce la emisión de CO₂ en 144 g por cada km recorrido en comparación con la producción y uso de etanol al 5 % (E-5), lo que supone una reducción de un 70 % (Lechón *et al.*,2005).

If the emissions of all greenhouse gases are taken into account, it is obtained that the production and use of ethanol (E-85) reduces CO₂ emissions by 144 g per km traveled compared to production and use. of 5% ethanol (E-5), which represents a reduction of 70% (Lechón *et al.*, 2005).

Ventajas del uso del etanol como combustible en motores de combustión interna

Entre las principales ventajas del uso del etanol como biocombustible se encuentran:

- ✓ Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, disminución de la contaminación en el aire (Vladan y Milovan, 2015).
- ✓ Disminuir la dependencia de las importaciones de petróleo crudo (Vladan y Milovan, 2015);
- ✓ Alto poder calorífico, menor presión de vapor, menor calor de vaporización y no hay problemas con el agua en el combustible (Hönig, 2014);
- ✓ Alto índice de octano y alto calor latente de evaporación, aumentando su eficiencia (Jeuland *et al.*, 2004);
- ✓ Este combustible puede ser producido a partir de biomasa residuales de procesos industriales (Jeuland *et al.*, 2004);
- ✓ Es biodegradable y renovable, es decir, potencialmente inagotable, siempre que se practique una buena gestión en los cultivos de los cuales proviene (Kozak, 2019);
- ✓ Al emplearse el etanol como sustituto de la gasolina, se ahorra la toxicidad de CO, los hidrocarburos volátiles, los compuestos aromáticos, el azufre, y el plomo (Kozak, 2019; Días *et al.*, 2007);
- ✓ Elimina el riesgo inherente de las fuentes energéticas convencionales, especialmente, ante la manipulación inadecuada, las fugas accidentales, por el hecho de que proviene de cultivos energéticos (Kozak, 2019);
- ✓ Contribuyen a superar la dependencia del petróleo, el cual está localizado en zonas muy concretas del planeta, que históricamente han estado en conflictos sociopolíticos (Kozak, 2019);
- ✓ El etanol actúa como un anticongelante en los motores, mejorando el arranque del motor en frío y previniendo el congelamiento (ICA, 2007);
- ✓ Al ser un aditivo oxigenante, el etanol también reemplaza a aditivos nocivos para la salud humana, como el plomo y el metil ter-butyl éter (MTBE), los cuales han causado el incremento del porcentaje de personas afectadas por cáncer y

Advantages of using ethanol as fuel in internal combustion engines

Among the main advantages of using ethanol as a biofuel are:

- ✓ Reduction of greenhouse gas emissions, reduction of air pollution (Vladan and Milovan, 2015).
- ✓ Decrease dependence on crude oil imports (Vladan and Milovan, 2015);
- ✓ High calorific value, lower vapor pressure, lower heat of vaporization and there are no problems with water in the fuel (Hönig, 2014);
- ✓ High octane number and high latent heat of evaporation, increasing its efficiency (Jeuland *et al.*, 2004);
- ✓ This fuel can be produced from residual biomass from industrial processes (Jeuland *et al.*, 2004);
- ✓ It is biodegradable and renewable, that is, potentially inexhaustible, as long as good management is practiced in the crops from which it comes (Kozak, 2019);
- ✓ By using ethanol as a substitute for gasoline, the toxicity of CO, volatile hydrocarbons, aromatic compounds, sulfur, and lead are saved (Kozak, 2019; Dias *et al.*, 2007);
- ✓ Eliminates the inherent risk of conventional energy sources, especially, in the face of improper handling, accidental leaks, due to the fact that it comes from energy crops (Kozak, 2019);
- ✓ They contribute to overcoming dependence on oil, which is located in very specific areas of the planet, which have historically been in socio-political conflicts (Kozak, 2019);
- ✓ Ethanol acts as an antifreeze in engines, improving cold engine starting and preventing freezing (ICA, 2007);
- ✓ Being an oxygenating additive, ethanol also replaces additives harmful to human health, such as lead and methyl tert-butyl ether (MTBE), which have caused an increase in the percentage of people affected by cancer and a decrease in mental abilities, especially in children (ICA, 2007);

la disminución de capacidades mentales, especialmente en niños (ICA, 2007);

- ✓ Aumenta el valor de los productos agrícolas de los que procede, mejorando así los ingresos de los habitantes rurales y, por ende, elevando su nivel de vida (ICA, 2007).

Desventajas del uso del etanol como combustible en motores de combustión interna

Entre las principales desventajas del uso del etanol como biocombustible se encuentran:

- ✓ El etanol se consume de un 25 % a un 30 % más rápidamente que la gasolina; para ser competitivo, por tanto, debe tener un menor precio por galón (ICA, 2007);
- ✓ Cuando es producido a partir de caña de azúcar, en muchos lugares se continúa con la práctica de quemar la caña antes de la cosecha, lo que libera grandes cantidades de metano y óxido nitroso, dos gases que agravan el calentamiento global. Esto se solucionaría mecanizando el proceso de cosecha, pero disminuiría el empleo rural (ICA, 2007);
- ✓ Cuando el etanol se produce a partir de maíz, durante el proceso de elaboración se utiliza gas natural o carbón para producir vapor, a su vez en el proceso de cultivo se emplean fertilizantes nitrogenados, herbicidas de origen fósil y maquinaria agrícola pesada. Esto podría solucionarse mediante el uso de sistemas de producción agrícola orgánicos o por lo menos ecológicos. También es posible utilizar el CO₂ proveniente de las destilerías para la producción de algas (que a su vez se pueden usar para producir biocombustibles) y en caso de que haya ganaderías cercanas, se puede emplear el metano del estiércol para producir vapor (en esencia este equivale a usar biogás para producir biocombustible) (ICA, 2007);
- ✓ Al ser el maíz el cultivo más utilizado para la producción de etanol con fines energéticos, esto ocasiona déficits de este producto para fines alimenticios, lo cual genera un problema social (Françoise *et al.*, 2017).

- ✓ It increases the value of agricultural products from which it comes, thus improving the income of rural inhabitants and, therefore, raising their standard of living (ICA, 2007).

Disadvantages of using ethanol as fuel in internal combustion engines

Among the main disadvantages of using ethanol as a biofuel are:

- ✓ Ethanol is consumed 25% to 30% faster than gasoline; to be competitive, therefore, it must have a lower price per gallon (ICA, 2007);
- ✓ When it is produced from sugar cane, in many places the practice of burning the cane before harvest continues, which releases large amounts of methane and nitrous oxide, two gases that aggravate global warming. This would be solved by mechanizing the harvesting process, but rural employment would decrease (ICA, 2007);
- ✓ When ethanol is produced from corn, during the manufacturing process natural gas or coal is used to produce steam, in turn nitrogen fertilizers, fossil herbicides and heavy agricultural machinery are used in the cultivation process. This could be solved by using organic or at least ecological agricultural production systems. It is also possible to use CO₂ from distilleries for the production of algae (which in turn can be used to produce biofuels) and if there are nearby farms, the methane from manure can be used to produce steam (essentially this it is equivalent to using biogas to produce biofuel) (ICA, 2007).
- ✓ As corn is the crop most used for the production of ethanol for energy purposes, this causes deficits of this product for food purposes, which generates a social problem (Françoise *et al.*, 2017).

Análisis de investigaciones sobre el tema objeto de estudio

Varios autores han realizado investigaciones sobre el proceso de combustión en los motores de combustión interna. Ejemplo de ello, es la investigación desarrollada por Marimón *et al* (2013). La misma, se desarrolló empleando ómnibus utilizados para el transporte urbano; algunos de estos autobuses, contaban con motores remotorizados, y otros no; considerándose esta diferencia, se realizó una evaluación del índice de consumo en cada uno de los casos. Obteniéndose como resultado, una diferencia de consumo, a la cual, se le calculó el porcentaje de los gases contaminantes que contribuían al efecto invernadero, sin omitir, los beneficios económicos por la disminución en los gastos de combustible. Como resultados principales, se obtuvo que la emisión a la atmósfera de dióxido de carbono, de hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono, y óxidos nitrosos, era mayor en los motores que se encontraban sin remotorizar.

Del mismo modo, muchos países buscan reducir su dependencia energética, reducir sus emisiones de dióxido de carbono y mejorar la calidad del aire en sus ciudades. Sin embargo, en general no incluyen el uso de bioetanol mezclado con gasolina como una alternativa, levantando barreras que protegen medios poco eficientes y sostenibles. En ese sentido, es posible afirmar que existe falta de información y un limitado conocimiento del potencial del bioetanol de caña de azúcar, incluso por parte de las autoridades en temas energéticos y ambientales (Horta, 2008).

Según Kozak (2019) el alcohol etílico se ha utilizado durante muchos años como un aditivo a la gasolina normal por lo que en Polonia y la mayoría de los demás países de Europa, el mercado de vehículos alimentados con etanol puro o mezclas con un alto contenido de etanol no se desarrollan, teniendo una cuota de mercado significativa.

Las tecnologías para la producción de etanol a partir de materias primas no alimentarias, principalmente a partir de complejos lignocelulósicos, todavía no han tenido un

Analysis of research on the subject under study

Several authors have conducted research on the combustion process in internal combustion engines. An example of this is the research developed by Marimón *et al* (2013). It was developed using buses used for urban transport; some of these buses had remote motors, and others did not; Considering this difference, an evaluation of the consumption index was carried out in each of the cases. Obtaining as a result, a difference in consumption, to which the percentage of polluting gases that contributed to the greenhouse effect was calculated, without omitting the economic benefits due to the reduction in fuel costs. As main results, it was obtained that the emission to the atmosphere of carbon dioxide, unburned hydrocarbons, carbon monoxide, and nitrous oxides, was higher in engines that were not remotorized.

Similarly, many countries seek to reduce their energy dependence, reduce their carbon dioxide emissions, and improve air quality in their cities. However, in general they do not include the use of bioethanol mixed with gasoline as an alternative, raising barriers that protect inefficient and sustainable means. In this sense, it is possible to affirm that there is a lack of information and limited knowledge of the potential of sugarcane bioethanol, even on the part of the authorities in energy and environmental issues (Horta, 2008).

According to Kozak (2019), ethyl alcohol has been used for many years as an additive to normal gasoline, which is why in Poland and most other countries in Europe, the market for vehicles fueled by pure ethanol or mixtures with a high content ethanol are not developed, having a significant market share.

Technologies for the production of ethanol from non-food raw materials, mainly from lignocellulosic complexes, have not yet had a

impacto significativo en este mercado de producción de combustible. Aunque el etanol continúa siendo un componente muy importante para motores de encendido por chispa.

El etanol tiene un gran impacto debido a sus propiedades físicas y químicas, dado que contiene oxígeno, lo cual propicia efectos obvios en la oxidación de las partículas, en el caso de la presión en un motor de combustión interna con etanol mezclado con gasolina es un 36 % superior a los alcanzados con sólo esta última, el proceso de combustión se acorta con el aumento del etanol y hace que el proceso de combustión sea más corto, acercándose esta combustión a una combustión ideal a volumen constante, el aumento de proporción de etanol puede suprimir la formación y emisión de acumulación de partículas, con un 100 % de etanol el aumento del régimen del motor puede reducir la acumulación de partículas hasta en un 72 % no siendo afectada esta con el aumento de la velocidad, mientras que con el aumento de la gasolina en la mezcla la acumulación de partícula aumenta bruscamente.

Por otro lado, el avance de la sincronización de la inyección directa puede reducir efectivamente el número total de partículas y los efectos de la inyección directa temprana sobre la disminución de partículas son más obvios a altas temperaturas en la velocidad del motor, a baja velocidad, el retraso en el tiempo de ignición hace que las partículas disminuyan (Sun *et al.*, 2019).

El motor de inyección combinado, está totalmente cualificado para la inyección de etanol y gasolina, también puede controlar la relación de los dos combustibles en tiempo real y obtener un buen rendimiento del motor para cumplir los requisitos de ahorro de energía y de reducción de emisiones. Para la producción de un motor de este tipo, se añade un conjunto de dispositivos de inyección de combustible (Sun *et al.*, 2019).

García *et al* (2016) plantean que el uso de etanol mezclado con gasolina en porcentajes mayores al 20 % no representa una disminución del rendimiento del motor; además, esta adición genera una disminución en las emisiones de CO, CO₂ y HC, también resaltan que los procesos de combustión mejoran con el uso de mezclas etanol-gasolina; este comportamiento es causado

significant impact on this fuel production market. Although ethanol continues to be a very important component for positive ignition engines.

Ethanol has a great impact due to its physical and chemical properties, since it contains oxygen, which leads to obvious effects on the oxidation of the particles, in the case of pressure in an internal combustion engine with ethanol mixed with gasoline it is a 36% higher than those achieved with only the latter, the combustion process shortens with the increase in ethanol and makes the combustion process shorter, this combustion approaching an ideal combustion at constant volume, the increase in the proportion of ethanol can suppress the formation and emission of particle accumulation, with 100% ethanol increasing the engine speed can reduce the accumulation of particles by up to 72%, this being not affected with increasing speed, while with increasing of gasoline in the mixture the accumulation of particles increases sharply.

On the other hand, the advance of direct injection timing can effectively reduce the total number of particles, and the effects of early direct injection on particle decrease are more obvious at high temperatures at engine speed, at low speed, the delay in ignition time causes the particles to decrease (Sun *et al.*, 2019).

The combined injection engine, which is fully qualified for ethanol and gasoline injection, can also monitor the ratio of the two fuels in real time and obtain good engine performance to meet energy saving and emission reduction requirements. For the production of such an engine, a set of fuel injection devices is added (Sun *et al.*, 2019). García *et al* (2016) state that the use of ethanol mixed with gasoline in percentages greater than 20% does not represent a decrease in engine performance; Furthermore, this addition generates a decrease in CO, CO₂ and HC emissions.

principalmente por la mayor cantidad de oxígeno disponible en la mezcla aire-combustible.

Por otro lado, se encontró que el etanol genera más energía térmica dentro del cilindro durante la combustión, exponiéndose que existe un gran interés en la determinación de las mezclas óptimas de gasolina y etanol, con el fin de alcanzar el mejor desempeño de los vehículos, al mismo tiempo que se desea lograr una reducción significativa de las emisiones contaminantes.

En el ámbito internacional, varios autores han realizado investigaciones relacionadas con el etanol como combustible alternativo. Entre ellos, se puede citar a Pikūnas *et al* (2003) determinaron la influencia de la composición de las mezclas etanol-gasolina, sobre los parámetros de los motores de combustión interna, basándose, en el desarrollo de una investigación experimental, orientada en la comparación de los parámetros de funcionamiento de los motores de combustión interna, y la emisión de gases contaminantes. Para ello, emplearon diferentes mezclas de etanol- gasolina y gasolina pura.

Entre los principales resultados, se obtuvo que, al adicionarse etanol, el calor desprendido por las mezclas etanol-gasolina disminuye. Sin embargo, se observa que el grado de octanaje aumenta. Por otro lado, se evidenció que al emplearse mezclas etanol-gasolina, los valores de la potencia, y el consumo específico de combustible, se incrementan ligeramente, no comportándose así las emisiones de CO y CH, las cuales disminuyen sustancialmente. En cambio, las emisiones de CO₂ se incrementan debido al mejoramiento en la combustión, ocasionado fundamentalmente por el aumento del octanaje. Este autor, realiza una investigación bien fundamentada en cuanto al ámbito ambiental. Sin embargo, no valora si el uso del etanol como combustible alternativo, es una vía económicamente viable.

Por su parte Domínguez (2011), incursionó en la temática del empleo del etanol como combustible alternativo. Sin embargo, este no profundizó en la factibilidad económica del empleo de dicho biocombustible.

En investigaciones realizadas por Hernández (2011), se plantean las causas por las cuales se considera el empleo del etanol una alternativa

They also highlight that the combustion processes improve with the use of ethanol-gasoline mixtures; this behavior is mainly caused by the higher amount of oxygen available in the air-fuel mixture.

On the other hand, it was found that ethanol generates more thermal energy inside the cylinder during combustion, stating that there is great interest in determining the optimal mixtures of gasoline and ethanol, in order to achieve the best performance of vehicles, at the same time that it is desired to achieve a significant reduction in polluting emissions. At the international level, several authors have conducted research related to ethanol as an alternative fuel. Among them, we can cite Pikūnas *et al* (2003) determined the influence of the composition of ethanol-gasoline mixtures on the parameters of internal combustion engines, based, on the development of an experimental research, oriented in the comparison of the operating parameters of internal combustion engines, and the emission of polluting gases. For this, they used different mixtures of ethanol-gasoline and pure gasoline. Among the main results, it was obtained that, when adding ethanol, the heat released by the ethanol-gasoline mixtures decreases. However, it is observed that the octane rating increases.

On the other hand, it was evidenced that when ethanol-gasoline mixtures are used, the power values, and the specific fuel consumption, increase slightly, thus not behaving the CO and CH emissions, which decrease substantially. On the other hand, CO₂ emissions increase due to the improvement in combustion, caused mainly by the increase in octane number.

This author conducts well-founded research in the environmental field. However, it does not assess whether the use of ethanol as an alternative fuel is an economically viable route. For his part, Domínguez (2011), ventured into the issue of the use of ethanol as an alternative fuel. However, it did not delve into the economic feasibility of using said biofuel.

como combustible. El autor, parte de los altos precios de los hidrocarburos, la problemática ambiental, y el incremento sostenido de las importaciones de hidrocarburos. La investigación muestra los resultados de la caracterización físico-química de las mezclas de gasolina y diésel con un 10 % y 15 % de etanol anhidro, evidenciándose las ventajas ambientales que representa el uso del etanol en dichas mezclas. Sin embargo, no se consideran los aspectos económicos que responden al empleo del biocombustible antes mencionado.

Otra investigación relacionada con la utilización de mezclas etanol-gasolina, fue la realizada por Mosquera *et al* (2011), esta investigación se realizó con el objetivo, de determinar la viabilidad mecánica, ecológica y económica de la conversión de motores de combustión interna, a sistemas Flex Fuel; demostrándose, la factibilidad mecánica y ecológica del uso del etanol. A su vez se evidencian las ventajas de las mezclas etanol-gasolina, respecto a la gasolina pura. Sin embargo, resulta poco rentable económicamente el empleo de esta, debido fundamentalmente a dos factores: la baja diferencia que tiene el precio del etanol respecto al precio de la gasolina, y el incremento en consumo volumétrico del combustible.

Otro autor que desarrolló investigaciones fue Curtis *et al* (2008), quien determinó el efecto de las mezclas etanol-gasolina, sobre el encendido en motores de combustión interna de cuatro tiempos. Para ello se plantearon como base experimental, el empleo de gasolina pura, y mezclas con etanol al 10 % y 20 %; entre los principales resultados se obtuvo, que para mezclas de etanol al 10 %, no se evidencian cambios estructurales que afecten el principio de funcionamiento de los motores, conservándose la eficiencia térmica del combustible y lográndose una reducción considerable de las emisiones de CO. En el caso de la mezcla de etanol al 20 %, se observó que disminuye la eficiencia térmica del combustible, y la potencia, pero permanecen las reducciones de emisiones de CO.

Por otro lado Sharma y Lal (2015), demostraron que el etanol puede utilizarse como combustible alternativo o aditivo en motores de encendido por

In research carried out by Hernández (2011), the causes for which the use of ethanol is considered an alternative as a fuel are raised. The author, part of the high prices of hydrocarbons, environmental problems, and the sustained increase in imports of hydrocarbons.

The research shows the results of the physical-chemical characterization of gasoline and diesel mixtures with 10% and 15% anhydrous ethanol, showing the environmental advantages that the use of ethanol represents in said mixtures. However, the economic aspects that respond to the use of the aforementioned biofuel are not considered. Another research related to the use of ethanol-gasoline mixtures was carried out by Mosquera *et al* (2011), this research was carried out with the objective of determining the mechanical, ecological and economic viability of the conversion of internal combustion engines, to Flex Fuel systems; demonstrating the mechanical and ecological feasibility of using ethanol.

At the same time, the advantages of ethanol-gasoline mixtures are evident, compared to pure gasoline. However, the use of this is not economically profitable, mainly due to two factors: the low difference between the price of ethanol and the price of gasoline, and the increase in volumetric fuel consumption.

Another author who developed research was Curtis *et al* (2008), who determined the effect of ethanol-gasoline mixtures on ignition in four-stroke internal combustion engines. For this, the use of pure gasoline and mixtures with ethanol at 10% and 20% were proposed as an experimental basis; Among the main results, it was obtained that for 10% ethanol mixtures, there are no structural changes that affect the operating principle of the engines, conserving the thermal efficiency of the fuel and achieving a considerable reduction in CO emissions. In the case of the 20% ethanol mixture, it was observed that the thermal efficiency of the fuel and the power decrease, but the reductions in CO emissions remain.

On the other hand, Sharma and Lal (2015), demonstrated that ethanol can be used as an

chispa, en su investigación los autores establecieron cuatro variantes de mezclas E5, E10, E15 y E20, a partir de las cuales, analizaron el rendimiento térmico y las emisiones de gases de efecto invernadero y encontraron que las mezclas de E5 y E10 eran las mezclas más efectivas, dado que mejoraba el rendimiento y reducía las emisiones, además llegaron a la conclusión de que las mezclas de E5 y E10 mejoran la eficiencia térmica de los frenos y el par de frenado redujo el consumo de combustible específico de los frenos en comparación con la gasolina. Además, ambas mezclas también redujeron las emisiones de CO₂, CO, HC y NO_x en comparación con la gasolina.

De Simio *et al* (2012), validaron en sus estudios, la importancia del uso del bioetanol en el sector del transporte, dado que se puede reducir considerablemente la emisión de gases de efecto invernadero. Con los resultados obtenidos por estos autores, se demostró el efecto ambiental que producen las diferentes mezclas de etanol-gasolina. Así como el comportamiento de la eficiencia térmica de los motores, y el consumo específico de combustible.

Según Shrivastava (2014), en motores de encendido por chispa de dos cilindros, al emplear mezclas de etanol-gasolina, con E-10; E-20 y E-30, es posible obtener resultados con diferencias significativas, entre los parámetros de eficiencia térmica, y consumo específico de combustible.

Por otro lado, Sundaram *et al* (2014), determinaron la respuesta de un motor diésel al emplearse diferentes mezclas de etanol y bioaceites. Específicamente, mezclas de etanol-diésel; diésel-aceite vegetal; etanol-aceite vegetal, y etanol -diésel-aceite vegetal. Las mezclas antes mencionadas, pueden ser utilizadas en motores de combustión interna, remplazándose así el hidrocarburo. En la investigación desarrollada por estos autores, se evaluó el funcionamiento de un motor; empleándose para ello, diferentes proporciones de mezclas de etanol y bioaceites; estos últimos provenientes de la planta de arroz. Dicha mezcla se comparó con el diésel, obteniendo como resultado que, al incrementar el grado de etanol en las mezclas, disminuyen considerablemente las emisiones de gases

alternative fuel or additive in spark ignition engines, in their research the authors established four variants of mixtures E5, E10, E15 and E20, based on the which analyzed the thermal performance and greenhouse gas emissions and found that the E5 and E10 mixtures were the most effective mixtures, since it improved performance and reduced emissions, and also concluded that the E5 mixtures and E10 improve the thermal efficiency of the brakes and the braking torque reduced the specific fuel consumption of the brakes compared to gasoline. Additionally, both blends also reduced CO₂, CO, HC, and NO_x emissions compared to gasoline.

De Simio *et al* (2012), validated in their studies, the importance of the use of bioethanol in the transport sector, since the emission of greenhouse gases can be considerably reduced. With the results obtained by these authors, the environmental effect produced by the different ethanol-gasoline mixtures was demonstrated. As well as the behavior of the thermal efficiency of the engines, and the specific fuel consumption.

According to Shrivastava (2014), in two-cylinder spark ignition engines, when using ethanol-gasoline mixtures, with E-10; E-20 and E-30, it is possible to obtain results with significant differences between the parameters of thermal efficiency and specific fuel consumption.

On the other hand, Sundaram *et al* (2014) determined the response of a diesel engine when using different mixtures of ethanol and bio-oils. Specifically, ethanol-diesel blends; diesel-vegetable oil; ethanol-vegetable oil, and ethanol-diesel-vegetable oil. The aforementioned mixtures can be used in internal combustion engines, thus replacing the hydrocarbon. In the research developed by these authors, the operation of a motor was evaluated; using for this, different proportions of ethanol and bio-oil mixtures; the latter from the rice plant. This mixture was compared with diesel, obtaining as a result that, by increasing the degree of ethanol in the mixtures, greenhouse gas emissions

invernaderos, y la potencia efectiva se comporta de forma similar en cada una de las proporciones consideradas en el experimento.

Salinas y Gasca (2009) plantean que los biocombustibles de primera generación presentan mayores desventajas en relación a los biocombustibles de segunda generación; sin embargo, para los países en vías de desarrollo, los biocombustibles de segunda generación representan un mayor reto, que es generar las tecnologías adecuadas para explotarlos racionalmente. Por lo pronto son los países desarrollados los que están impulsando en forma más consistente la producción de biocombustibles segunda generación.

Para los países en vías de desarrollo resultaría más rentable producir biocombustibles de primera generación, pero en la medida en que no tienen resuelto ni el problema alimentario ni el nivel de empleo suficiente, y con la globalización, la desintegración de la comunidad campesina y la migración, han hecho perder la autosuficiencia alimentaria. Es riesgoso socialmente sustituir alimentos por biocombustibles.

En investigaciones desarrolladas por varios autores: Al-Hasan (2003); Cruz *et al* (2005); Agarwal (2007); Eyidogan *et al*, (2010); Daniel *et al* (2011), validan las ventajas técnico, económicas y ambientales del empleo de las mezclas de etanol-hidrocarburos, al determinar el comportamiento de los principales parámetros de funcionamiento de los motores de combustión interna.

Daniel *et al* (2011) demostraron que al emplearse mezclas de butanol o 2,5-dimethylfuran (DMF) en motores de encendido por chispa, el comportamiento de los principales parámetros que determinan la calidad del proceso de combustión, es similar a los obtenidos cuando se emplean mezclas de etanol. Además, se reducen considerablemente las emisiones de hidrocarburos (HC) y óxidos de nitrógeno (NO_x). Melo *et al* (2012) expone que existe una tendencia al aumento del torque efectivo y la potencia efectiva para las mezclas E10 y E20 en comparación a E0, siendo E10 la que mejores resultados obtiene, sin embargo, para la mezcla E30 el momento efectivo es menor a E0, mientras

considerably decrease, and the effective power behaves similarly in each of the proportions considered in the experiment.

Salinas and Gasca (2009) state that first generation biofuels present greater disadvantages in relation to second generation biofuels; however, for developing countries, second generation biofuels represent a greater challenge, which is to generate the appropriate technologies to exploit them rationally. For now, it is the developed countries that are promoting the production of second generation biofuels more consistently. For developing countries, it would be more profitable to produce first generation biofuels, but to the extent that neither the food problem nor the sufficient level of employment have been solved, and with globalization, the disintegration of the peasant community and migration have made them lose food self-sufficiency. It is socially risky to substitute food for biofuels. In research developed by various authors: Al-Hasan (2003); Cruz *et al* (2005); Agarwal (2007); Eyidogan *et al*, (2010); Daniel *et al* (2011), validate the technical, economic and environmental advantages of the use of ethanol-hydrocarbon mixtures, by determining the behavior of the main operating parameters of internal combustion engines.

Daniel *et al* (2011) showed that when mixtures of butanol or 2,5-dimethylfuran (DMF) are used in positive ignition engines, the behavior of the main parameters that determine the quality of the combustion process is similar to those obtained when ethanol mixtures are used. Furthermore, hydrocarbon emissions (HC) and nitrogen oxides (NO_x) are considerably reduced.

Melo *et al* (2012) state that there is a tendency to increase the effective torque and effective power for the E10 and E20 mixtures compared to E0, with E10 being the one that obtains the best results, however, for the E30 mixture the effective moment is less than E0, while the specific fuel

que el consumo de combustible específico para las mezclas E10 y E20 es inferior al E0, obteniendo los menores valores con E10, también explica que a medida que aumenta el porcentaje de etanol en la mezcla con gasolina, el consumo de combustible aumenta, mientras que disminuyen el porcentaje de emisiones de monóxido de carbono, logrando en E30 la de mejores resultados. Según el autor las mezclas E10 y E20 de etanol anhidro-gasolina regular pueden ser usadas como combustible en motores Lada 1300, ya que ambas disminuyen las emisiones de monóxido de carbono, además no producen deterioro significativo de las prestaciones del motor, por el contrario, mejoran su rendimiento.

Otro aspecto a tener en cuenta en el empleo de mezclas combustibles en motores de combustión interna es el coeficiente de exceso de aire que según Martín *et al* (2008), sus valores idóneos oscilan entre 0,82, 0,84, 0,88, 0,92, 0,97 y 1;01, lográndose que en las mezclas más ricas ocurra un aumento de la presión y la velocidad del proceso de combustión disminuye, aumentando progresivamente cuando la riqueza de la mezcla alcanza su valor teórico; también observó la fluctuación del proceso de combustión a través de la masa quemada de forma instantánea, evidenciándose que la fluctuación aumentó, cuando el motor empleó mezclas pobres; lo cual indica que el efecto combinado de la dispersión cíclica de presión y el funcionamiento del motor con mezclas pobres es causa del elevado deterioro del aprovechamiento de energía en el cilindro del motor.

Según García *et al* (2015) si se mantienen el adecuado control de la relación aire-combustible, se tienen impactos favorables en el aprovechamiento energético de la utilización del etanol-gasolina hasta el punto de lograr sustituir al combustible fósil desde un 6 % hasta un 20 %, dependiendo de las condiciones de manejo del vehículo, lo que implica que aún se pueden lograr ahorros considerables en el consumo del combustible gasolina sin necesidad de realizar modificaciones en los motores de combustión interna actuales.

consumption for the E10 and E20 mixtures is lower than E0, obtaining the lowest values with E10, it also explains that as the percentage of ethanol in the mixture with gasoline increases, the fuel consumption increases, while reducing the percentage of carbon monoxide emissions, achieving the best results in E30. According to the author, the E10 and E20 mixtures of anhydrous ethanol-regular gasoline can be used as fuel in Lada 1300 engines, since both reduce carbon monoxide emissions, and do not cause significant deterioration of engine performance, on the contrary, improve their performance.

Another aspect to take into account in the use of fuel mixtures in internal combustion engines is the excess air coefficient, which according to Martín *et al* (2008), its ideal values range between 0.82, 0.84, 0.88, 0.92, 0.97 and 1; 01, achieving that in richer mixtures an increase in pressure occurs and the speed of the combustion process decreases, increasing progressively when the richness of the mixture reaches its theoretical value; He also observed the fluctuation of the combustion process through the burned mass instantaneously, showing that the fluctuation increased when the engine used lean mixtures; which indicates that the combined effect of cyclical pressure dispersion and engine operation with lean mixtures is the cause of the high deterioration of energy use in the engine cylinder.

According to García *et al* (2015), if adequate control of the air-fuel ratio is maintained, there will be favorable impacts on the energy use of the use of ethanol-gasoline to the point of being able to substitute fossil fuel from 6% to a 20%, depending on the driving conditions of the vehicle, which implies that considerable savings in gasoline fuel consumption can still be achieved without the need for modifications to current internal combustion engines.

Rajan and Saniee (1983) explain that, at normal ambient temperatures, a water-ethanol-gasoline

Rajan y Saniee (1983) explican que, a temperaturas ambiente normales, una mezcla de agua-etanol-gasolina que contenga hasta un 6 % de agua en el etanol constituye un combustible deseable con características de potencia similares a las de la gasolina base; para reducir la emisión de gases efecto invernadero, como los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos no quemados. Por su parte (Uyazán *et al.*, 2004) plantea que dada la importancia que tiene producir alcohol para adicionarlo a las gasolinas, es necesario tener un conocimiento lo más completo posible de las diferentes tecnologías de deshidratación del etanol. Este autor en su investigación logra realizar una revisión de los aspectos teóricos y prácticos de los procesos de deshidratación, en la misma se lograron identificar las principales ventajas y desventajas de cada uno de ellos, información que sirve como base para establecer criterios de selección en el momento de implementar un sistema para la obtención de alcohol anhidro, sin mencionar el estado de hidratación que debería presentar el etanol para su mezcla con la gasolina.

Rondón *et al* (2015) realiza un análisis de la solubilidad de la mezcla gasolina-etanol-agua a diferentes presiones y temperaturas sin obtener variación de está usando desde un 2 % hasta un 6 % de H₂O en la mezcla, aunque expone que a medida que aumenta el por ciento de etanol en la mezcla esta es capaz de tolerar más el contenido de H₂O.

Conclusiones

Como resultado del estudio de la bibliografía publicada puede concluirse:

1. La mezcla etanol-gasolina es una de las variantes del empleo de biocombustibles más usadas a nivel mundial.
2. El uso del etanol como biocombustible puede propiciar un impacto alimenticio negativo, por lo que se propone obtener este de residuos agrícolas o agroindustriales.
3. La mezcla etanol-gasolina presenta: menor emisión de gases de efecto invernadero, menor efecto corrosivo en la cámara de combustión, acelera el proceso de

mixture containing up to 6% water in the ethanol constitutes a desirable fuel with power characteristics similar to those of base gasoline; to reduce the emission of greenhouse gases, such as nitrogen oxides and unburned hydrocarbons. On the other hand (Uyazán *et al.*, 2004) states that given the importance of producing alcohol to add it to gasoline, it is necessary to have as complete a knowledge as possible of the different ethanol dehydration technologies. This author in his research manages to carry out a review of the theoretical and practical aspects of the dehydration processes, in which it was possible to identify the main advantages and disadvantages of each of them, information that serves as a basis to establish selection criteria in the moment of implementing a system to obtain anhydrous alcohol, not to mention the state of hydration that ethanol should present for its mixture with gasoline.

Rondón *et al* (2015) carried out an analysis of the solubility of the gasoline-ethanol-water mixture at different pressures and temperatures without obtaining variation in the use of from 2% to 6% of H₂O in the mixture, although it states that as that increases the percent of ethanol in the mixture it is able to tolerate more the H₂O content.

Conclusions

As a result of the study of the published bibliography, it can be concluded:

1. The ethanol-gasoline mixture is one of the most widely used variants of biofuel use worldwide.
2. The use of ethanol as a biofuel can lead to a negative nutritional impact, which is why it is proposed to obtain this from agricultural or agro-industrial waste.
3. The ethanol-gasoline mixture has: lower greenhouse gas emissions, less corrosive effect in the combustion chamber, accelerates the combustion process and is capable of carrying out this process with a moderate water content in the mixture.

- combustión y es capaz de realizar este proceso con un moderado contenido de agua en la mezcla.
4. Es posible el uso de mezclas etanol-gasolina en concentraciones menores al 30 % de etanol en motores de encendido por chispa sin realizar modificaciones mecánicas en la estructura de los mismos.
 5. No se evidencian referencias que profundicen en la importancia e influencia económica y ambiental del uso de mezcla etanol-gasolina en motores de combustión interna función del coeficiente de exceso de aire y el porcentaje de hidratación del etanol.
4. It is possible to use ethanol-gasoline mixtures in concentrations lower than 30% ethanol in positive ignition engines without making mechanical modifications to their structure.
 5. There are no references that delve into the importance and economic and environmental influence of the use of ethanol-gasoline mixture in internal combustion engines as a function of the excess air coefficient and the percentage of hydration of ethanol.

Bibliografía / References

- Agarwal, A.K. 2007. "Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines", *Journal Progress in Energy and Combustion Science*, ISSN 0360-1285. 20, Vol. 33 (3): 233–271 pp.
- Aguilar, N. 2007. "Bioetanol de la caña de azúcar", *Revista Avances en Investigación Agropecuaria*, ISSN 0188789-0, Vol. 11 (3): 25-39 pp.
- Ahmed-Melo, E.; Sánchez, Y.; Ferrer, N.; Ferrer, N. 2012. "Evaluación de un motor de encendido por chispa trabajando con mezclas etanol-gasolina", *Revista Ingeniería Energética*, ISSN: 1815-5901, Vol. 33 (2): 94-102 pp.
- Al-Hasan, M. 2003. "Effect of ethanol–unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emission", *Energy Conversion and Management*, ISSN-0196-8904, vol. 44: 1547–1561 pp.
- Almazán, O.A. 2008. "Historia de las levaduras en", Las levaduras y sus productos derivados como ingredientes en la industria de alimentos". Universidad Nacional de Quilmes, Serie Nuevos Enfoques en Ciencia y Tecnología, ISBN 978-987-558-156-2.
- Amorim, H. V.; Lucio, M.; Velasco, J.; Buckeridge, M. S.; Goldman, G. H. 2011. "Scientific challenges of bioethanol production in Brazil", *Appl Microbiol Biotechnol*, ISSN: 0175-7598 (Print), ISSN: 1432-0614 (Online), Vol. 91(5): 1267–1275 pp.
- Becken, S.: "Analyzing international transit flow to estimate energy use associated to air travel", *Journal of Sustainable Tourism*, ISSN-0966-9582, Vol. 10: 114–131, 2002.
- Cabrera, S. L.; Gómez, A. A.; Martínez, A. y Quintero, R. 2000. Biocombustibles a partir de recursos lignocelulósicos: estudio del caso, bagazo de caña en México. Centro de Investigación en Biotecnología-UAEM, Instituto Mexicano del Petróleo, Instituto de Biotecnología-UNAM. 21 p.
- Camarillo, J.A. 2011. Estudio de la combustión de un motor monocilíndrico de ignición alimentado con mezclas gasolina-etanol anhidro e hidratado a distintas concentraciones. Tesis de Maestría en Ingeniería Energética. Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica. Universidad de Veracruz. México.
- Cruz, J.; Llovera J.; Piloto, R. 2005. "Determinación de la estabilidad en mezclas de gasolina y alcohol", *Revista Ecosolar*, ISSN 1028-6004, Vol. 14(4). 2 .
- Curtis. S.; Owen. M.; Hess. T.; Egan. S. 2008. "Effect of Ethanol Blends on a Spark Ignition, 4-Stroke, Internal Combustion Engine", Brigham Young University Provo, Utah, December.
- Daniel, R.; Tian, G.; Xu, H.; Wyszynski, M.L.; Wu, X.; and Huang, Z. 2011. "Effect of Spark Timing and Load on a DISI Engine Fuelled with 2,5-Dimethylfuran", *Fuel*, ISSN: 0016-2361, Vol. 90(2): 449-458 pp.
- De Armas, A.C.; Morales M.; Albornas, Y.; González, E. 2018. "Alternativas para convertir una fábrica azucarera cubana en una industria biorefinera", ISSN: 2223- 4861, Centro Azúcar, Vol. 45 (3): 65-77 pp.
- De Simio.L; Gambino. M.; Iannacone. S. 2012. "Effect of ethanol content on thermal efficiency of a spark-ignition light-duty engine", *ISRN Renewable Energy*, ISSN: 2090-7451, Vol. 2012, Article ID 219703, 8p.
- Dias, M. E.; Vaughan, B. E.; Rykiel, E.J. 2007. "Ethanol as Fuel: Energy, Carbon Dioxide Balances, and Ecological Footprint", *BioScience*, ISSN 0006-3568, EISSN 1525-3244, Vol. 55 (7): 593-602 pp.

- Domínguez, F.2011. “La agroindustria de la caña de azúcar en Cuba: retos y amenazas en el nuevo siglo”, ATAC, ISSN: 0138-7553, No.2: 33-38, 2011.
- Eyidogan, M.; Ozsezen, A. N.; Canakci, M.; Turkcan, A. 2010. “Impact of alcohol–gasoline fuel blends on the performance and combustion characteristics of an SI engine”, *Journal Fuel*, ISSN: 0016-2361, Vol. 89 (10): 2713-2720 pp.
- Françoise, B.; Assis, P. F.; Finco, A.2017. “Development of Brazilian Biodiesel Sector from the Perspective of Stakeholders”, *Energies*, ISSN-1996-1073, Vol. 10: 399-413 pp.
- García, J.; Escobar, R. F.; García, C. D.; Adam, M.; Reyes, J.2015. “Estimación de la potencia de un motor de combustión interna empleando múltiples combustibles (etanol gasolina e hidrógeno)”, *Memorias del XXXVI Encuentro Nacional de la AMIDIQ*, ISBN 978-607-95593-3-5, pp. 3299-3304, Cancún, Quintana Roo, México.
- García, A.; Cendales, E. D.; Eslava, A. F. 2016. “Motores de combustión interna (MCI) operando con mezclas de etanol gasolina: revisión”, *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, ISSN: 0124-8170, e-ISSN: 1909-7735, Vol. 26(1): 75-96 pp.
- González, E.; Concepción, D.; Mesa, L.; Morales, M.; Ramos, F.; Moya, M.; Castro, E. 2012: “Aspectos técnico-económicos de los estudios previos inversionistas para la producción de etanol de azúcar”, ISBN: 9788484397434 Editorial Universidad de Jaén, España.69-75 pp.
- Gravalos, I.; Moshou, D.; Gialamas, T.; Xyradakis, P.; Kateris, D.; Tsiropoulos, Z. 2011. “Performance and Emission Characteristics of Spark Ignition Engine Fuelled with Ethanol and Methanol Gasoline Blended Fuels”, *Alternative Fuel*, Chapter 14, Edited by Maximino Manzanera, ISBN: 978-953-307-372-9, pp. 155-175.
- Guarheiro, L.L.N.; Guarheiro, A.L.N.2013. “Vehicle Emissions: What Will Change with Use of Biofuel? ”, *Biofuels - Economy, Environment and Sustainability*, Chapter 14, Edited by Zhen Fang, ISBN 978-953-51-0950-1, pp. 357-386.
- Hernández. P.; Domínguez. A.; Mata. P. 2012. “Análisis de las propiedades físico-química de gasolina y diésel mexicano reformulados con etanol”, *Ingeniería Investigación y Tecnología*, ISSN: 1405-7743, Vol.8 (3): 294-306 pp.
- Hönig, V.; Kotek, M.; Mařík, J. 2014. “Use of butanol as a fuel for internal combustion engines”, *Agronomy Research*, ISSN: 2639-3166, Vol. 12(2): 333–340 pp.
- Horta, L. A.; Abel, J. E.; Best, G.; Lima, M. R.; Khaled, M. 2008. “Una visión de futuro del bioetanol como combustible”, *Bioetanol de caña de azúcar: energía para el desarrollo sostenible*, BN: 978-85-87545-26-8, pp. 273-283, Editorial: NDES y CGEE, Rio de Janeiro,.
- Ibáñez, M.; Saura, G.; Pérez, I.; Pérez, O.; Zumalacárregui, L.2018. “Análisis de alternativas para la producción de etanol a partir de jugos de los filtros y jugos secundarios”, *Revista sobre los derivados de la caña de azúcar*, ISSN: 0138-6204, Vol. 52 (1): 21-29 pp.
- ICA.2007.: “¿Cuáles son las ventajas y las desventajas de usar etanol en lugar de gasolina?”, *Preguntas y respuestas más frecuentes sobre biocombustibles*, ISBN13: 978-92-9039-850-9, pp. 5-6, San José, Costa Rica.
- IICA. 2007. “Consumo de gasolina y área agrícola necesaria para producir el E-10”, *Atlas de la agroenergía y los biocombustibles en las américas*, ISBN13: 978-92-9039-807-3, 10-14 pp.
- Jeuland, N.; Montagne, X.; Gautrot, X. 2004. “Potentiality of Ethanol as a Fuel for Dedicated Engine”, *Rev. IFP*, ISSN : 1953-8189, Vol. 59 (6): 559-570 pp.
- Kheiralla, A. F.; Tola, E.; Bakhit, J. M. 2017.“Performance of ethanol-gasoline blends of up to E35 as alternative Automotive fuels”, *Advances in Bioresearch*, Print ISSN-0976-4585, Online ISSN-2277-1573, Vol. 8 (5): 130-140.
- Kozak, M.2019. “Ethyl alcohol as a fuel for contemporary internal combustion engines”, *Diagnostyka*, ISSN 1641-6414, e-ISSN 2449-5220, Vol. 20 (2): 27-32.
- Kozlov, A.; Grinev, V.; Terenchenko, A.; Kornilov, G. 2019. “An Investigation of the Effect of Fuel Supply Parameter on Combustion Process of the Heavy-Duty Dual-Fuel Diesel Ignited Gas Engine”, *Energies*, ISSN-1996-1073, Vol. 12: 2280-2300.
- Kumar, S.; Nawab M. 2014. “A Study of Spark Ignition Engine Fueled with Methanol and Ethanol Fuel Blends with Iso-Octane”, *International Journal of Thermal and Environmental Engineering*, ISSN-1923-7316, Vol. 8 (1): 25-31.

- Lechón, Y.; Cabal, H; Lago, C.; de la Rúa, C.; Sáez, R.; Fernández, M. 2005. Análisis del ciclo de vida de combustibles alternativos para el transporte. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas. Edita: Centro de Publicaciones; Secretaría General Técnica; Ministerio de Medio Ambiente. ISBN: 84-8320-312. España.
- Li, J.; Kazakov A, Chaos, M.; Dryer, L.F. 2007.. “Chemical kinetics of ethanol oxidation”, *5th US Combustion Meeting*, ISBN:9781604238112, pp. 1361-1377, Volume 4, Session C5: Kinetics, University of California, San Diego.
- Lopes, M.; Cristina de Lima, S.; Godoy, A.; Rudimar, A.; Salmeron, M.; Carvalho, F. H.; Domingos, C.; Berbert, H.; Vianna, H. 2016. “Ethanol production in Brazil: a bridge between science and industry”, *Brazilian Journal of Microbiology*, ISSN: 1517-8382, Vol.47: 64–76.
- Mantilla, J.; Galeano, C.; Muñoz, A. 2016. “Mezclas gasolina-etanol en motores de combustión interna en Colombia”, *MUTIS*, ISSN-2422-1498, Vol. 6 (1): 41-53.
- Marimón. M.; Hernández. L.R.; Aguiar. L.; Serradet. Y. 2013. “Contaminación del medio ambiente y remotorización”. *Revista Científica*, ISSN: 1562-3297, Vol.15 (2).
- Martín, M.; Fygueroa, S.; Villamar, C. 2008. “Estudio de la combustión en un motor de gasolina”, *Revista Ciencia e Ingeniería*, ISSN: 1316-7081, Vol. 29 (1): 55-64 pp.
- Melo, E.A.; Sánchez, Y.; Ferrer, N.; Ferrer, N.2012.: “Evaluación de un motor de encendido por chispa trabajando con mezclas etanol-gasolina”, *Ingeniería Energética*, Vol. 33 (2): 94 – 102, ISSN: 1815 – 5901 pp.
- Mesa, L.; González, E.; González, M.; Agüero, G. 2005. “La producción de etanol. alternativas de materias primas”, *Revista Cubana de Química*, ISSN: 0258-5995, Vol. 18 (1): 129-137 pp.
- Mosquera. J.; Ortiz Gil. Ch.; Fernández. S.; Mosquera. J. 2011. “Viabilidad económica y mecánica para la conversión de motores de combustión interna a sistemas Flex fuel”, *Producción + Limpia. Enero - Junio*, ISSN: 1909-0455, ISSN (en línea): 2323-0703, Vol.6 (1): 85-95 pp.
- Pahissa, M. 2007. “La fiebre del etanol en Estados Unidos”, *ecología política*, ISSN: 1130-6378, vol. 38: 73-76 pp.
- Pikūnas. A.; Pukalskas. S.; Grabys; J. 2003. “Influence of composition of gasoline– ethanol blends on parameters of internal combustion engines”, *Journal of Kones Internal Combustion Engines*, ISSN: 2354-0133, 1231-4005, Vol. 10,3-4 pp.
- Rajan, S.; Saniee, F.1983. “Water—ethanol—gasoline blends as spark ignition engine fuels”, *Fuel*, ISSN: 0016-2361, Vol. 62 (1): 117-121 pp.
- Ramos, J. L.; Valdivia, M.; García, F.; Segura, A. 2016. “Benefits and perspectives on the use of biofuels”, *Microbial Biotchnology*, ISSN-1751-7915, Vol. 9: 436-440.
- Rivero, J.C.S.; Romero, G.; Rodríguez, E.C.; Pech, E.; Rosete, S.B. 2010. “Diagnóstico del desarrollo de biorrefinerías en México”, *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, ISSN 1665-2738, Vol. 9, No 3, 261-283 pp.
- Rondón M.F.; Mantilla J.M.; Muñoz A. 2015.“Análisis de la solubilidad de la mezcla gasolina-etanol-agua a diferentes presiones y temperaturas”, *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, ISSN: 0124-8170, e-ISSN: 1909-7735, Vol. 25 (1): 61 – 75 pp.
- Sachs W.; Santarius T. 2009. “Un bienestar compatible con la justicia”, *Un futuro justo recursos limitados y justicia global*, ISBN 978-84-7426-951-2.. 191-287 pp, 2007.
- Salinas, E.; Gasca V.2009. “Los biocombustibles”, *El Cotidiano*, ISSN: 0186-1840, Vol. 157: 75-78 pp.
- Sharma, G.; Lal, H. 2015. “Effects of Ethanol-Gasoline Blends on Engine Performance and Exhaust Emissions in a Spark Ignition”, *International Journal on Emerging Technologies*, Print ISSN-0975-8364, Online ISSN-2249-3255, Vol. 6(2): 184-188.
- Shrivastava. N. 2014. “Experimental investigation of ethanol blends with gasoline on SI engine”, *Journal of Engineering Research and Applications*, ISSN: 2248-9622, Vol. 4 Issue10 (Part - 5): 108-114 pp.
- Sun, P.; Liu, Z.; Dong, W; Yang, S. 2019. “Comparative Study on the Effects of Ethanol Proportion on the Particle Numbers Emissions in a Combined Injection Engine”, *Energies*, ISSN-1996-1073, Vol. 12: 1708-1728 pp.
- Sundaram. P; Singh. J; Bhattacharya. T; Patel. S. 2014. “Response of an Engine to Biofuel Ethanol Blends”, *International Journal of Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*, ISSN 0084-5841, Vol.45 (3).
- Tibaquirá, J. E.; Huertas, J. I.; Ospina, S.; Quirama, L. F.; Niño, J. E. 2018. “The Effect of Using Ethanol-Gasoline Blends on the Mechanical, Energy and Environmental Performance of In-Use Vehicles”, *Energies*, ISSN-1996-1073, Vol. 11: 221-238.

- Tosi, A.; Gaya, M. I.; Barbosa, L. A. 2011. "The Brazilian sugarcane innovation system", *Energy Policy*, ISSN: 0301-4215, Vol. 39: 156–166 pp.
- Uyazán, A.M.; Gil, I.D.; Aguilar, J.L.; Rodríguez, G.; Caicedo, L.A. 2004. "Deshidratación del etanol", *Ingeniería e Investigación*, ISSN: 0120-5609, vol. 24 (3): 49-59 pp.
- Vladan, M.; Milovan, J. 2015. "Bioethanol as fuel for internal combustion engines", *Zastita Materijala*, ISSN: 0351-9465, E-ISSN: 2466-2585, Vol. 56 (4): 403-408 pp.
- Wang, F.; Jiang, Y.; Guo, W.; Niu, K.; Zhang, R.; Hou, S.; Wang, M.; Yi, Y.; Zhu, C.; Jia, C.; Fang, X. 2016. "An environmentally friendly and productive process for bioethanol production from potato waste", *Biotechnology for Biofuels*, ISSN: 1754-6834, Vol. 9 (50).
- Zumalacárregui, L.M.; Pérez, O.; Rodríguez, P.A.; Lombardi, G. 2015. "Potencialidades del bagazo para la obtención de etanol frente a la generación de electricidad", *Ingeniería Investigación y Tecnología*, ISSN 1405-7743, Vol. 16 (3): 407-418 pp.