



# SAMPLE A

Asignatura del Programa del Diploma en la que se ha inscrito la monografía: Química

(En el caso de una monografía en lenguas, señale si se trata del Grupo 1 o el Grupo 2.)

Título de la monografía: Determinación de la viabilidad del etanol como sustituto de la gasolina mediante la comparación de eficacia en reacción de combustión y menor contaminación por la misma cantidad de energía producida en un motor de combustión interna a través de mediciones cuantitativas.

## Declaración del alumno

*La monografía no se evaluará si la declaración no está firmada por el alumno.*

Confirmando que soy el autor de este trabajo y que no he recibido más ayuda que la permitida por el Bachillerato Internacional.

He citado debidamente las palabras, ideas o gráficos de otra persona, se hayan expresado estos de forma escrita, oral o visual.

Sé que el máximo de palabras permitido para las monografías es 4.000, y que a los examinadores no se les pide que lean monografías que superen ese límite.

Esta es la versión final de mi monografía.

Firma del alumno: \_\_\_\_\_ Fecha: 2 de Marzo de 2009

## Informe del supervisor

Los supervisores deben llenar esta página y luego entregar esta portada junto con la versión final de la monografía al coordinador del Programa del Diploma del IB. Si el supervisor no firma este informe, la monografía no se evaluará y puede que sea devuelta al colegio.

Nombre y apellido(s) del supervisor [MAYÚSCULAS]: \_\_\_\_\_

## Comentarios

Si lo considera adecuado, escriba algunos comentarios sobre el contexto en que el alumno desarrolló la investigación, las dificultades que encontró y cómo las ha superado (ver página 13 de la guía para la monografía). La entrevista final con el alumno puede ofrecer información útil. Estos comentarios pueden ayudar al examinador a conceder un nivel de logro para el criterio K (valoración global). No escriba comentarios sobre circunstancias adversas personales que puedan haber afectado al alumno. En el caso en que el número de horas dedicadas a la discusión de la monografía con el alumno sea cero, debe explicarse este hecho indicando cómo se ha podido garantizar la autoría original del alumno. Puede adjuntar una hoja adicional si necesita más espacio para escribir sus comentarios.

El alumno llevó a cabo su investigación satisfactoriamente, se tuvo dificultad para realizar el experimento debido al equipo que se requería y que no se tiene en nuestra institución educativa, se logró conseguirlo y pudo realizar su experimento sin ningún problema.

Durante la realización del Experimento el alumno se dio cuenta que la hipótesis propuesta no se cumpliría por tal motivo la modificó y enfocó su experimento en la obtención de resultados que pudieran corroborarla.

Considero que su investigación cumple satisfactoriamente

He leído la versión final de la monografía, la cual será entregada al examinador.

A mi leal saber y entender, la monografía es el trabajo auténtico del alumno.

He dedicado  horas a discutir con el alumno su progreso en la realización de la monografía.

Firma del supervisor: \_\_\_\_\_

Fecha: Marzo 4/2009



### Formulario de evaluación (para uso exclusivo del examinador)

Número de convocatoria del alumno	0	0	
-----------------------------------	---	---	--

Criterios de evaluación		Nivel de logro		
		Primer examinador	Máximo	Segundo examinador
A	Formulación del problema de investigación	2	2	<input type="checkbox"/>
B	Introducción	2	2	<input type="checkbox"/>
C	Investigación	3	4	<input type="checkbox"/>
D	Conocimiento y comprensión del tema	2	4	<input type="checkbox"/>
E	Argumento razonado	3	4	<input type="checkbox"/>
F	Aplicación de habilidades de análisis y evaluación apropiadas para la asignatura	2	4	<input type="checkbox"/>
G	Uso de un lenguaje apropiado para la asignatura	2	4	<input type="checkbox"/>
H	Conclusión	2	2	<input type="checkbox"/>
I	Presentación formal	2	4	<input type="checkbox"/>
J	Resumen	0	2	<input type="checkbox"/>
K	Valoración global	2	4	<input type="checkbox"/>
Total (máximo 36)		20		<input type="checkbox"/>

Nombre y apellido(s) del primer examinador: \_\_\_\_\_  
[MAYÚSCULAS]

Número de examinador: 5323

Nombre y apellido(s) del Segundo examinador: \_\_\_\_\_  
[MAYÚSCULAS]

Número de examinador: \_\_\_\_\_

**Título de Monografía: "Determinación de la viabilidad del etanol como sustituto de la gasolina mediante la comparación de eficacia en reacción de combustión y menor contaminación por la misma cantidad de energía producida en un motor de combustión interna a través de mediciones cuantitativas."**

**Asignatura: Química**

Total de Palabras: 3987  
2 de Marzo de 2009

## Resumen

En la actualidad, es necesario buscar nuevas formas de energía que puedan suprimir la escasez de combustibles derivados del petróleo. Henry Ford vio al etanol como una posibilidad de combustible para su Modelo T y ahora las armadoras de autos como los gobiernos ven un gran futuro para este alcohol por su supuesta menor contaminación y mayor eficacia. Pero ¿Realmente el etanol mejora la eficacia y disminuye la contaminación del combustible en comparación con la gasolina en un motor de combustión interna para producir la misma cantidad de energía ?

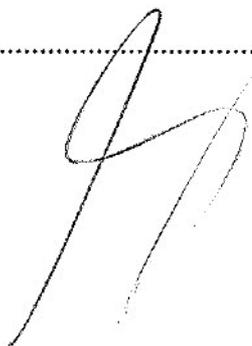
A simple vista, la reacción de combustión del etanol produce menos dióxido de carbono por mol que la reacción de la gasolina. Pero al momento de hacer el estudio a partir de una misma energía generada por medio de entalpías de combustión se encuentra que ambos producen prácticamente la misma cantidad de este gas y se necesita una mayor cantidad de etanol para producir la misma cantidad de energía. Entonces, teóricamente el etanol no tendría esa supuesta eficacia y en cuanto a  $\text{CO}_2$  produciría la misma cantidad que la gasolina. Sin embargo, experimentalmente se encontraría que no produce CO porque su reacción se lleva a cabo completamente debido a su carácter oxigenado y tampoco produciría NOX e hidrocarburos. Pero aún así será necesario una mayor cantidad de etanol para producir la misma energía, lo cual encarecería a este proceso hasta que se tenga una producción en masa, además de que prácticamente se estaría contaminando lo mismo a partir de  $\text{CO}_2$  por lo que sería más factible encontrar una fuente energética eficaz y que no contamine en vez de seguir con el etanol. Esta investigación se limita al alcance de los contaminantes producidos por el etanol y la gasolina y la energía que producen cuantitativamente.

**Total de Palabras: 293.**

*No indica el  
procedimiento seguido,  
solo el propósito de la  
tesis y la conclusión*

## Índice

Introducción.....	1
Objetivos.....	3
Hipótesis.....	4
Desarrollo .....	4
Propiedades Químicas Etanol vs Gasolina .....	4
Estudio Teórico Cuantitativo.....	6
Diseño Experimental .....	9
Obtención de Datos .....	12
Análisis de Datos .....	14
Conclusión.....	16
Anexos.....	17
Bibliografía.....	18



Determinación de la viabilidad del etanol como sustituto de la gasolina mediante la comparación de eficacia en reacción de combustión y menor contaminación por la misma cantidad de energía producida en un motor de combustión interna a través de mediciones cuantitativas.

## **Introducción**

En la actualidad, la energía utilizada en la mayoría de los procesos productivos se obtiene a través de la quema de combustibles derivados del petróleo. Estas fuentes son no renovables y la creciente demanda energética implica el rápido agotamiento de las reservas del planeta, como lo indica Daniel Deudney en *Renewable Energy: The power to choose* (1984). Diversos países tienen en estos momentos un déficit en su producción de petróleo como México que sus reservas solamente alcanzarían para los próximos 10 años, según Jorge Luis Aguilar en *Combustibles alternativos convenientes para México* (2007). Además, la quema de dichas fuentes energéticas crea una alta cantidad de contaminación ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  y  $\text{CO}$ ) lo que contribuye al efecto invernadero y así al proceso de calentamiento global.

A causa de esto es necesario buscar fuentes alternativas de energía que sustituyan el déficit y ayuden a disminuir la contaminación para evitar un cambio climático. Por ello se ha seleccionado el estudio del etanol como fuente alternativa de energía ya que es renovable, muestra una posible menor contaminación y mayor eficiencia en la rapidez y totalidad en la reacción de combustión. Asimismo, se examinará este combustible porque hay una obligación de agregar a las gasolinas de octanaje 85 y 90 (uso común) un porcentaje de este producto químico según las leyes de diferentes naciones como México y Estados Unidos. Como lo indica Jorge Ceceña en *La Ley de Energía*, EUA tenía la

necesidad de tener combustibles alternativos y se propuso ante el Congreso estadounidense el agregar 20% de etanol a las gasolinas aunque actualmente ya se les agrega 10%. También se están generando automóviles que puedan funcionar con etanol y se han concebido diversas combinaciones de etanol (E85 Y E10) con gasolina para poder utilizarlo en los vehículos.

Desde tiempo atrás, el etanol se consideraba como un combustible para vehículos, como lo indica Shelley D Minter en *Ethanol Blends: E10 and E-Diesel* (2006). El modelo T de Henry Ford fue diseñado para trabajar con etanol en el año de 1908. En la actualidad, se hacen mezclas de etanol con combustibles tradicionales para mejorar su eficacia y reducir las emisiones de contaminación tales como el E10 (10 % etanol) y el E-Diesel( Combinación de etanol con Diesel). Entonces, el etanol ya en un contexto mundial está siendo utilizado por sus diversas propiedades que serán puestas a prueba como auxiliares en una mejor combustión durante esta investigación. Actualmente existe un combustible basado en etanol conocido como E85 ya que tiene 85% de etanol y el otro 15% de gasolina.

Existen diversos estudios acerca de éste y muestran las distintas propiedades del etanol en un motor de combustión interna. El etanol es producido de una derivación de biomasa que, como indica Gregory Davis en *Using E85 in Vehicles* (2006), reduce la producción de dióxido y monóxido de carbono. De la misma forma, existen algunos estudios de la U.S. Environmental Protection Agency (EPA), que menciona Davis, que demuestran la menor polución por parte del etanol. Primero, estos estudios muestran emisiones de hidrocarburos con una menor reactividad. Además indica una importante reducción de 35% en monóxido de carbono y un 60% en material particulado.

Entonces, como se ha demostrado, en la actualidad ya se ve al etanol como un posible sustituto para la gasolina ya que existen diversos estudios como el de la EPA que

muestran una menor contaminación por parte del mismo y una mayor efectividad en cuanto a producción de CO y material particulado. Asimismo, en un contexto actual ya se pide el etanol como parte de las gasolinas para poder "oxigenarlas" y así producir menos contaminantes. Pero si se busca sustituir a gasolina con etanol puro, puede que para generar la misma cantidad de energía, el etanol produzca los mismos contaminantes debido a las entalpías de combustión de ambas sustancias que serán estudiadas más adelante. Entonces, si se ve al etanol como un combustible alternativo es necesario ponerlo a prueba estudiando el comportamiento del etanol en comparación con la gasolina al momento de hacer combustión en un motor y así cuestionarse: ¿Realmente el etanol mejora la eficacia y disminuye la contaminación (del) combustible en comparación con la gasolina en un motor de combustión interna para producir la misma cantidad de energía?

### Objetivos

Se encontrarán las diferencias cuantitativas entre los productos de combustión y energía de gasolina y etanol. Para lo anterior será necesario encontrar la entalpía de combustión de cada una de estas sustancias y <sup>?</sup> así obtener la cantidad de dióxido de carbono desprendido por la gasolina y el etanol para la misma cantidad de energía producida. Se realizará a través de un estudio cuantitativo de forma teórica con las fórmulas de los compuestos y se determinarán sus composiciones a través de un analizador de gases de rayos infrarrojos para obtener los contaminantes expedidos por cada combustible. Se relacionará la composición de cada sustancia con sus efectos contaminantes, además de que se relacionará el octanaje y otras propiedades con la eficacia en cuanto al uso de oxígeno por parte del combustible.

Res: el ana-  
misca

2m  
m  
el  
ye  
po  
te  
de  
to  
l

## Hipótesis

Al tener una cuarta parte del valor en cuanto a la densidad de energía o entalpía que la gasolina, lo más probable es que el etanol producirá la misma cantidad de  $\text{CO}_2$  que la gasolina por la misma energía producida al momento de la reacción, esto sucederá porque para producir estequiometricamente la misma energía y al tener una cuarta parte en cuanto a entalpía, la reacción prácticamente será cuadruplicada en sus productos y reactivos por lo que se generará más  $\text{CO}_2$  por energía. Además será necesario más etanol para generar la misma cantidad de energía. Pero aún así el etanol mostrará una menor producción de CO y NOX ya que tiene una estructura oxigenada que permite tener una combustión completa y evitar la producción de estos contaminantes. Asimismo, al etanol tener un mayor octanaje será menos probable que detone prematuramente que la gasolina y así creará una menor probabilidad de que la combustión no se lleve a cabo completamente con todos los oxígenos necesarios. En consecuencia la gasolina si produciría CO y NOX mientras que el etanol no.

Se predice que a mayor cantidad de oxígeno en la composición del combustible habrá menor contaminación en cuanto a partículas por falta de combustión completa pero en cuanto a  $\text{CO}_2$  esto dependerá de la entalpía del combustible. Entonces, la hipótesis de esta investigación es que el etanol no mejora la eficacia en cuanto a la generación de energía y solamente disminuye la contaminación en los gases de combustión no ideal (CO, NOX e Hidrocarburos).

## Propiedades químicas Etanol vs Gasolina

La producción de energía de la gasolina y el etanol puede ser comparada a través de sus entalpías de combustión de cada uno de estas sustancias. La entalpía del etanol es  $\Delta H = -1368 \text{ kJmol}^{-1}$  mientras que la de la gasolina es de  $\Delta H = -5471 \text{ kJmol}^{-1}$  por lo que se puede

(fuente?)

observar que por la misma cantidad de etanol (mols) que de gasolina se obtiene un cuarto de energía que la producida por ésta. Entonces, esto afectaría en cuanto a la producción de  $\text{CO}_2$  porque éste técnicamente se cuadruplicaría en la reacción de etanol para producir la misma cantidad de energía que la gasolina. Además la eficacia en cuanto a la producción de energía se vería afectada porque más etanol sería necesario para generar la misma energía. *masa? moles? volumen? Hay que pre*

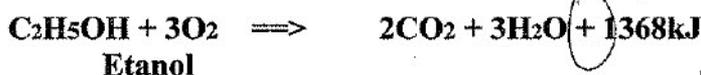
Por otro lado, el etanol perfecciona el desempeño en cuanto a la gasolina en un motor de combustión interna porque mejora la oxigenación y el octanaje (la resistencia de un combustible a detonar prematuramente). El etanol tiene un octanaje de 105-110 mientras que la gasolina de 89-95. Estas dos últimas propiedades ocurren porque el etanol ( $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{OH}$ ) en su molécula presenta un grupo funcional hidroxilo el cual está constituido por un oxígeno y un hidrogeno mientras que las gasolinas presentan una estructura solamente de carbón e hidrogeno. Como se sabe, la combustión es la reacción entre los hidrocarburos y el oxígeno [por lo que la gasolina al estar sólo formada por hidrocarburos no complementa la reacción con más oxígeno mientras que el etanol sí con el grupo hidroxilo]. Entonces con la gasolina cabe la posibilidad de que la reacción no se lleve a cabo completamente por la falta de oxígeno y así se genere CO y una combinación de oxígeno con nitrógeno NOX que son dañinos para el medio ambiente mientras que el etanol con por su estructura oxigenada ayudaría a no generarlos porque se estaría agregando oxígeno a la reacción además del ya presente en el ambiente de combustión. [De la misma forma, otra emisión que se da por no tener un ambiente ideal en la combustión es la de los hidrocarburos que es básicamente combustible que no reaccionó debido a la falta de oxígeno, el cual el etanol supliría con su grupo hidroxilo. *esto no es claro*]. *¿qué quiere decir? (Confuso!)*

También, como denota Davis en *Using E85 in Vehicles* (2006), un estudio independiente dio a conocer que el etanol producía 1.34 BTU de energía por cada 1 BTU *vehículo dice qué signific*

que se utilizaba al momento de fabricarlo. En contraste, la gasolina provee de 0.8 BTU por cada 1 BTU que se utiliza. Lo anterior significa una mayor eficacia energética de producción por parte del etanol. Pero aún así las materias primas para la generación de este producto son más caras lo que hace más caro el proceso de fabricación de etanol. Pero, actualmente, los precios del petróleo han sido muy volátiles debido a la crisis económica pero aún así conforme éste va disminuyendo, al finalizar la crisis y el control de costos, su precio va a aumentar por lo cual va a hacer más factible la producción de etanol de forma económica para un futuro. Conforme se utilice más etanol su producción va a ser más barata por una simple ley de oferta y demanda.

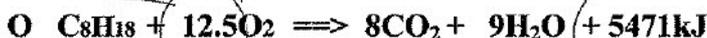
### Estudio Teórico Cuantitativo (Cantidad dióxido de carbono)

Primero, es necesario expresar la reacción de combustión del etanol con su respectiva entalpía :



$\Delta H = - \dots$   
*esta molación es incorrecta*

En cuanto a la composición exacta de la gasolina, ésta es diferente dependiendo de qué proceso de refinación tenga (su contenido puede presentar azufre, nitrógeno, oxígeno y algunos metales alcalinos). La estructura química promedio de la gasolina se le puede comparar con la del octano. Teóricamente, su reacción de combustión es la siguiente:



$\frac{25}{2}$

Se podría realizar una comparación de dióxido de carbono expedido observando directamente a estas reacciones y se podría decir que el etanol produce mucho menos CO<sub>2</sub> por mol en reacción. Pero esta comparación tendría una base falsa ya que es necesario comparar los productos de reacción con una misma energía producida ya que al momento

de poner en un motor de combustión interna para poder acelerarlo la energía tendría que ser la energía producida por ambas sustancias tendría que ser la misma. Por ello es necesario balancear la ecuación del etanol de tal forma que genere la misma energía que la gasolina:



A partir de esta ecuación se puede observar que para generar la misma energía que una molécula de gasolina se necesitan 4 moléculas de etanol lo que demuestra una menor efectividad en cuanto a generación de energía por parte del etanol. Asimismo prácticamente necesita la misma cantidad de moléculas de oxígeno para poder tener una reacción completa pero aún así por su estructura oxigenada es más probable que el etanol la tenga que la gasolina. También la generación de CO<sub>2</sub> es la misma ya que en ambas reacciones se producen 8 moléculas de este gas. Por ello en este aspecto se les podría considerar a ambas sustancias como igual de contaminantes. Para poder observar esta información de forma más precisa en gramos a continuación se muestra la siguiente tabla realizada por medio de un balance de materia:

Reactivo	Cantidad de CO <sub>2</sub> producida	Necesidad de O <sub>2</sub> para combustión completa
Etanol	352 gr.	384 gr.
Gasolina	352 gr.	400 gr.

Tabla 1.1: CO<sub>2</sub> producido y necesidad de O<sub>2</sub> para reacción de cada reactivo en combustión que genere 5471 kJ de energía. Esta tabla se realizó con un balance de materia y energía.

Simplemente se puede observar que los valores de CO<sub>2</sub> son iguales para ambas sustancias lo que demuestra que en este aspecto tienen la misma contaminación. Pero aún así las propiedades del etanol y su estructura oxigenada ayudan a que la reacción de

*Entonces, la combustión de un poco de etanol con atomos de oxígeno genera la misma cantidad de energía que la combustión de gasolina.*

combustión siempre se de forma completa por lo que por ello no se produce CO ni NOX en cambio con la gasolina sí y por ello en este aspecto el etanol sería menos contaminante aunque también sería menos eficaz en la generación de energía.

Este estudio sugiere el uso de etanol puro como combustible alternativo, pero como ya se mencionó actualmente en casi todas las naciones del mundo se utiliza la mezcla E10 y E85, como lo indica Minter en *Ethanol Blends: E10 and E-Diesel* (2006), las cuales hay que examinar por su uso actual. Pero para ello también es necesario mostrar cómo cambia la composición química de la gasolina y así modifica su reacción ya que prácticamente con esta mezcla se crea una “gasolina oxigenada”. Su reacción de combustión al modificarse crea un cambio en las condiciones ideales del proceso:

Los resultados estequiométricos para la gasolina oxigenada E10 serían los siguientes:

Valor	Nombre
45565	MolsProd
0.150	%Volumen CO <sub>2</sub>
0.850	%Volumen N <sub>2</sub>
7170	k-mol/kg.H <sub>2</sub> O
14140	Kg-aire

Tabla 1.2: Obtenida de *Desempeño de motor utilizando como combustible mezcla de etanol anhidro y gasolina en relación de 10% en volumen E10* por Oscar Piamba y Oscar Arias.

En cuanto a la mezcla E85 la reacción de combustión sería como la del etanol solamente que el 15% gasolina permite que las piezas de los automóviles no sean corroídas pero la reacción de combustión se ve afectada de forma mínima. Pero como se observó con la mezcla de E10 al “inyectar oxígeno a la gasolina” se incrementa la cantidad de dióxido de carbono producida ya que no habría una reacción incompleta por la falta de oxígeno por lo que se dejaría de producir CO en la reacción e incrementaría la producción de CO<sub>2</sub>.

## Diseño Experimental

Para poder probar lo mencionado en la teoría es necesario poner a prueba cada combustible y ver sus productos de combustión. Además así se podrá comprobar que la estructura oxigenada del etanol ayuda a que la reacción sea completa y por ende no se produzca CO ni NOX.

Materiales:

- Analizador de 4 gases de combustión (PXA gas analyzer, ver anexos)  
A través de este analizador se obtiene %CO, %CO<sub>2</sub>, %O<sub>2</sub>, p.p.m HC, p.p.m NOx con un error de lectura de  $\pm 0.1$  %.
- Cilindro 1lt. de inyección de combustible
- Probeta
- Un motor de combustión interna.
- E10 (10% etanol 90% gasolina)
- E85 (85% etanol 15% gasolina)
- Etanol puro 100%
- Gasolina

Variables independientes: El combustible a poner en reacción con la diferencia de octanaje y oxígenos en su composición molecular.

Variables dependientes: Cantidad de CO<sub>2</sub>, cantidad de NOX después de la reacción y producción de CO. Esto significa la medición de contaminación y de efectividad en cuanto al uso de oxígeno, respectivamente.

Variables de Control: Cantidad de cada mezcla para realizar la reacción en el motor de combustión interna. Se utilizarán 1.0 L de cada combustible en el motor de combustión para poder tomar la muestra justo cuando ya lleva tiempo encendido el motor y con cierta aceleración (2500 rpm).

### Procedimiento:

1. Producir las mezclas necesarias de combustible (E10, E85) (Variables independientes)
2. Se desconectará el motor del tanque de gasolina para después conectarlo al cilindro de inyección de combustible y así evitar errores sistemáticos en cuanto a residuos de otro combustible en el tanque que modifiquen las mezclas y por lo tanto la producción de gases de combustión.
3. Introducir el combustible a poner en reacción de combustión en el cilindro de inyección de combustible.
4. Conectar la sonda con sensores del "PXA gas analyzer" al tubo de escape del motor.
5. Obtener la cantidad de cada gas de combustión ( $\text{CO}_2$ , NOX, CO, Hidrocarburos). (Variables dependientes)
6. Realizar las operaciones teóricas con las formulas de combustión para obtener el oxígeno que era necesario en cada reacción y que no estuvo presente en caso de que se haya generado monóxido de carbono.
7. Registrar los datos.
8. Repetir los pasos 3-8 para cada analito.

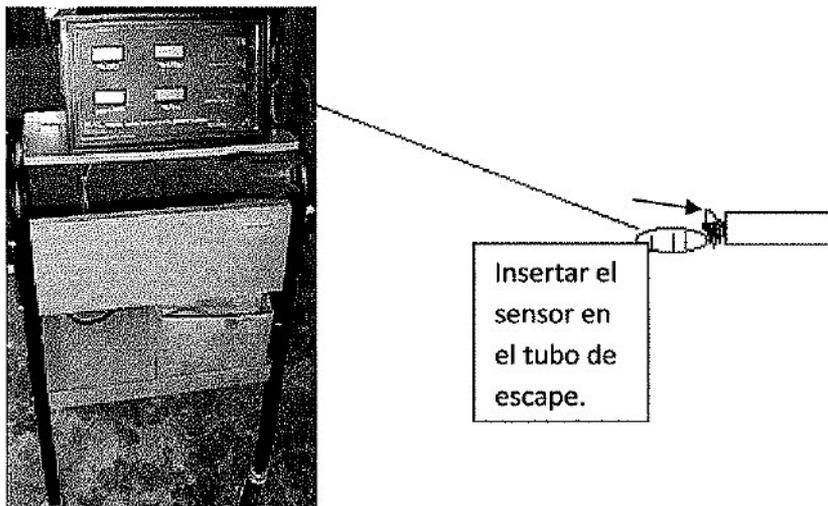


Imagen 1.1: Imagen tomada del PXA Analyzer.

Uso de reactivos para comparación estequiometrica y de octanaje (Tabla 1.3: realizada a través de cálculos en porcentaje de masa):

Combustible	Formula	Cantidad estequiometrica de oxígeno (Porcentaje)	Octanaje
Etanol Puro	<b>C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH</b>	34.7% de oxígeno en su formula.	110
E10	Mezcla homogénea (10% etanol, 90% gasolina)	3.47% de oxígeno.	98
E85	Mezcla homogénea (85% etanol, 15% gasolina)	28.9% de oxígeno en su composición.	105
Gasolina	<b>C<sub>8</sub>H<sub>18</sub></b>	0%	87-90

Para evitar una modificación en los productos de combustión se utilizó un motor de combustión interna sin convertidor catalítico ya que éste modifica los productos de combustión directa que se buscan encontrar en este estudio, por ello se utilizó un motor con las siguientes características:

Número de cilindros	4
Válvulas por cilindro	2
Apoyos principales	3
Convertidor catalítico	no
Potencia máxima	25,4 KW (4000 rpm)
Torque Máximo	74,0 N m (2500 rpm)

Tabla 1.4: Estas son las características de un motor muy parecido al de un automóvil común (Volkswagen) para poder mostrar la relación de cómo se modificaría los productos de combustión en carro de uso diario y así utilizar el etanol en ellos. (Información obtenida directamente del auto.)

## Obtención de datos

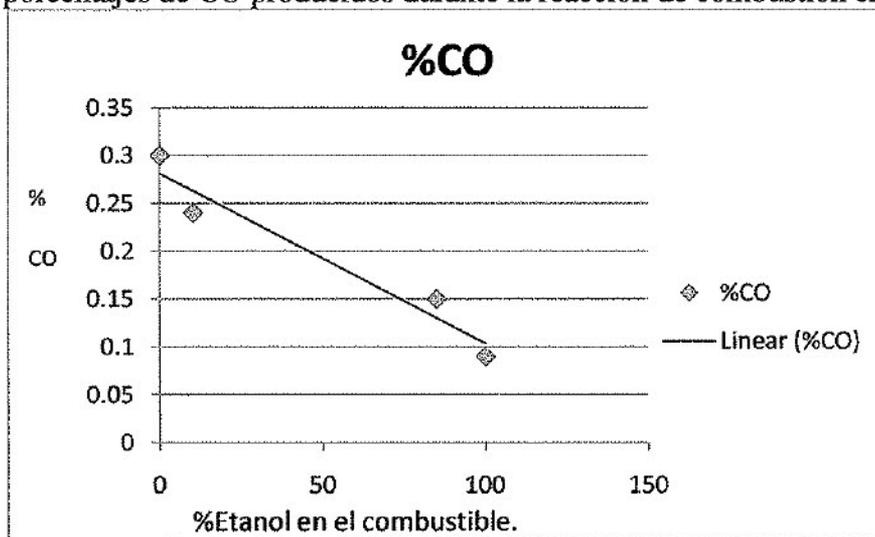
Se realizó la prueba para la aceleración media de 2500 rpm que es la que se utiliza al momento de utilizar un automóvil a una velocidad estándar ( $80 \text{ kmh}^{-1}$ ). Se obtuvieron los siguientes datos sobre los gases de combustión:

Combustible	CO	CO <sub>2</sub>	HC	NOX
E10	$0.24 \pm 0.10\%$	$4.68 \pm 0.10\%$	$70.0 \pm 1.0 \text{ PPM}$	$20.0 \pm 1.0 \text{ PPM}$
E85	$0.15 \pm 0.10\%$	$4.76 \pm 0.10\%$	$67.0 \pm 1.0 \text{ PPM}$	$11.0 \pm 1.0 \text{ PPM}$
Etanol	$0.09 \pm 0.10\%$	$5.08 \pm 0.10\%$	$60 \pm 1.0 \text{ PPM}$	$2.0 \pm 1.0 \text{ PPM}$
Gasolina	$0.30 \pm 0.10\%$	$5.12 \pm 0.10\%$	$74.0 \pm 0.1 \text{ PPM}$	$25 \pm 1.0 \text{ PPM}$

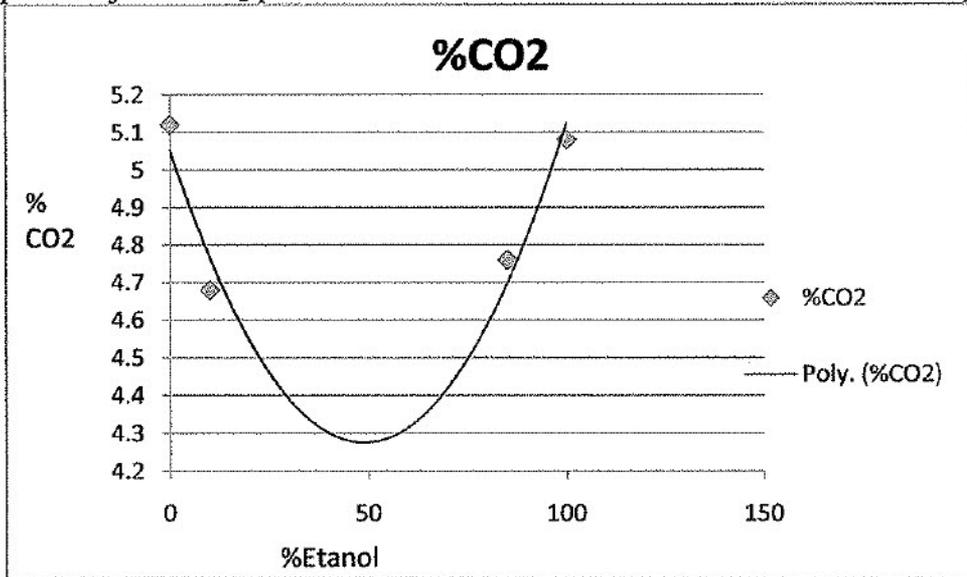
Tabla 1.5: En esta tabla se muestra los distintos gases de combustión producidos por cada mezcla o combustible puro. Los datos se encuentran en porcentaje por volumen para CO y CO<sub>2</sub> mientras que para los hidrocarburos (HC) se encuentra en partes por millón (PPM). Cada dato es el promedio de tres lecturas realizadas.

Los datos muestran distintas tendencias para cada uno de los gases de combustión conforme se aumentan el porcentaje de etanol en el combustible desde 0% hasta 100% como se muestra en las siguientes gráficas:

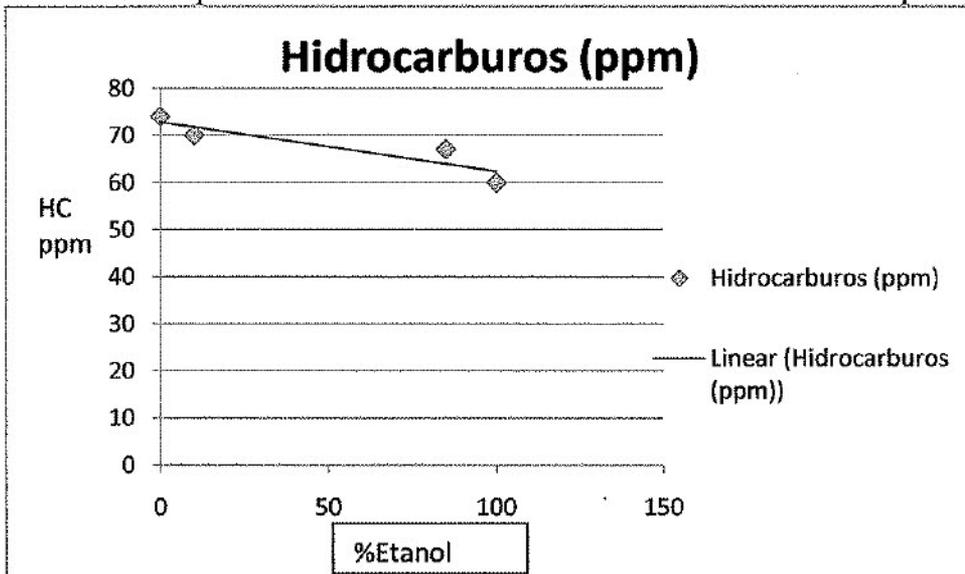
Gráfica 1.1: Esta gráfica muestra en la relación entre los porcentajes de etanol (eje x) y los porcentajes de CO producidos durante la reacción de combustión en el experimento (eje y).



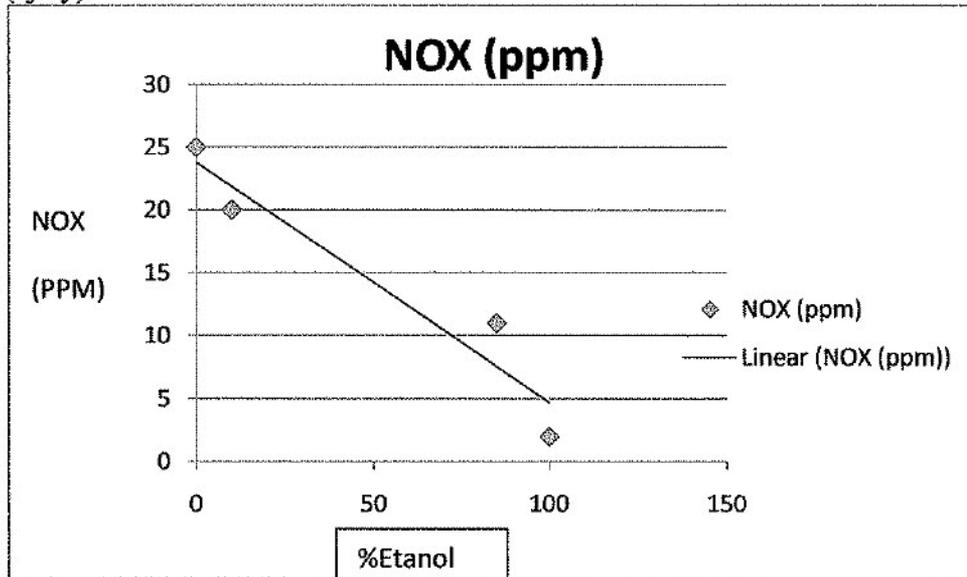
Gráfica 1.2: Esta gráfica muestra en la relación entre los porcentajes de etanol (eje x) y los porcentajes de CO<sub>2</sub> producidos durante la reacción de combustión en el experimento (eje y).



Gráfica 1.3: Esta gráfica muestra la relación entre los porcentajes de etanol (eje x) y los Hidrocarburos producidos durante la reacción de combustión en el experimento (eje y).



Gráfica 1.4: En esta gráfica se muestra la relación entre los porcentajes de etanol (eje x) y los óxidos de nitrógeno producidos durante la reacción de combustión en el experimento (eje y).



### Análisis de Datos

En el experimento se observa una disminución en los gases de combustión contaminantes (excepto  $\text{CO}_2$ ) conforme se añadía un mayor porcentaje de etanol a la mezcla de combustible hasta que se llegaba al 100% etanol. En el CO prácticamente se observa en la línea de tendencia que la relación de CO contra %etanol es proporcional ya que se muestra un decremento lineal. Esto significa que conforme se va agregando etanol a la mezcla la combustión se va convirtiendo en completa ya que se va oxigenando al combustible por lo que en el etanol al 100% se obtiene un producto de monóxido de carbono casi nulo. Es decir, la composición del combustible se modifica conforme se agrega etanol lo cual origina una modificación estequiométrica en la reacción en cuanto al oxígeno. Por estas razones, al momento de combustión en un automóvil se encuentra que no hay el suficiente oxígeno para la reacción de la gasolina pero conforme se agrega etanol (oxígeno) este se cubre y así no se produce CO. Además conforme se agrega este producto

a la gasolina en la mezcla se aumenta el octanaje por lo que se da más tiempo para la reacción ya que el combustible no detona prematuramente y así se obtiene el oxígeno necesario para la reacción y no se produce CO. A causa de esto la relación es lineal ya que se agrega oxígeno a la composición de forma constante que sería en un 34.7% masa cada vez que se le agrega más etanol a la mezcla.

En cuanto al CO<sub>2</sub> se puede observar una variación en la cual aumenta y luego decrece su producción conforme se aumenta el porcentaje de etanol. Esto ocurre porque en un comienzo como en la utilización de E10 la mayor composición del combustible se encuentra en gasolina por lo que se deja de producir CO de forma lineal pero el que se agregue etanol sólo ayuda a que la reacción sea completa por el oxígeno agregado y así se produzca el CO<sub>2</sub> que se debería de producir en la reacción en vez del CO que se produce sin agregar etanol. Esto ya se había explicado de forma teórica en el apartado *Estudio Teórico Cuantitativo*. También conforme se agrega etanol decrece la cantidad de CO<sub>2</sub> por la misma relación cuantitativa en la reacción de etanol. Se puede observar que la cantidad de este gas para el etanol puro y la gasolina es prácticamente el mismo porque para generar la misma energía el etanol produce la misma cantidad de CO<sub>2</sub> que la gasolina.

Por último, en cuanto a hidrocarburos producidos y NOX se obtiene que la cantidad es muy pequeña ya que estos solamente se dan en altas cantidades cuando la reacción de combustión es casi incompleta en su totalidad. Pero aún así las partes por millón decrecen conforme se aumenta la cantidad de etanol en la mezcla de combustible ya que el simple aumento de oxígeno en la composición del etanol ayuda a realizar la reacción completa y disminuye los contaminantes. Básicamente no se produce ni NOX ni hidrocarburos con etanol puro. Aún así en este experimento se observó que conforme se aumentaba la potencia del automóvil se modificaba la cantidad de gases expedidos por el tubo de escape

aunque siempre se mantuvo esta relación con la cantidad porcentual de etanol en la mezcla. Por lo que para este estudio no es necesario mostrar el cambio según la potencia del automóvil.

### **Conclusión**

En conclusión, la hipótesis quedó comprobada. El etanol tiene una menor eficacia en cuanto a producción de energía debido a su baja entalpía comparada con la gasolina y por ello genera la misma cantidad de dióxido de carbono por la misma energía producida. En este aspecto se podría considerar al etanol como igual contaminante que la gasolina pero al tener una estructura oxigenada ayuda que la reacción de combustión sea completa y así no se produzca CO, NOX ni hidrocarburos que contaminen. De esta forma se podría decir que el etanol es menos contaminante y por ello sería un posible combustible alternativo pero igual existen otros que no generan gases como la energía solar, por lo que habría que pensar más sobre tomar la decisión de utilizarlo como el nuevo combustible universal. Aunque su producción podría mejorarse y así bajar su costo en el mercado además de que por energía de fabricación genera más energía que la gasolina y por ello sería factible utilizarlo como un nuevo combustible aunque se necesitaría más etanol para producir la misma cantidad de energía que la gasolina ya que se necesitan 4 moléculas del mismo para igualar la energía producida por una de gasolina. Simplemente el etanol no mejora la eficacia energética de la gasolina y sólo disminuye la contaminación en otros gases diferentes al dióxido de carbono. También habría que tomar en cuenta que los precios de la comida subirían porque el etanol proviene esencialmente del maíz, por ello sería mejor buscar otro combustible pero aún así sino no se encuentra algo mejor y fácil de hacer, el etanol podría ser una posibilidad hasta cierto punto viable para las necesidades del planeta.

*Hay algunas introducidos en la conclusión que no son del presente trabajo.*

## **Anexos**

### **Funcionamiento del PXA Analyzer (*Análisis Instrumental de Douglas Skoog*)**

El analizador de gases utiliza un mecanismo de rayos infrarrojos los cuales se modifican según el gas a analizar y un ordenador con la información de visibilidad según lo infrarrojo analiza los datos y muestra el porcentaje de cada gas en una pantalla LCD. Para la utilización de este aparato es necesario calibrarlo según la altitud de la ciudad en que se toman los datos ya que la forma en que se ven los gases de forma infrarroja se modifica según la presión atmosférica pero el aparato se encuentra calibrado de forma automática para el rango de altitud de la ciudad de Monterrey. Los sensores de éste deben de conectarse al tubo de escape para obtener los datos a analizar y luego ir acelerando el automóvil a diferentes potencias para obtener los gases de combustión según la aceleración del motor de combustión interna y observar cómo la cantidad de oxígeno se modifica y por lo tanto los datos y hay que tomar la medida a 2500 rpm para poder conocer a una aceleración “normal” al momento de trasladarse en la ciudad.

Bibliografía:

- Aguilar González, Jorge Luis. "Combustibles Alternativos convenientes para México." Artículos Conae. 20 de Agosto de 2007. Conae. 25 de septiembre de 2007. <<http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/373/4/artluisaguilar.pdf>>.
- Camps, Manuel. *Los Biocombustibles*. 1era edición. España: Ediciones Mundi-Prensa, 2001.
- Ceceña, Jorge. "La ley de Energía." El norte. 22 de Diciembre de 2007. Automotriz. Monterrey, N.L.
- Davis, Gregory W. "Using E85 in Vehicles." *Alcoholic Fuels*. Editado por: Shelly Minter. 1era edición. Estados Unidos de América: Taylor & Francis, 2006.
- Deudney, Daniel. *Renewable Energy: the power to choose*. 2nda edición. Estados Unidos de América: W.W. Norton and Company, 1984.
- Piamba, Oscar y Arias, Oscar. "Desempeño de motor utilizando como combustible mezcla de etanol anhidro y gasolina en relación de 10% en volumen E10." 8<sup>a</sup> Congreso de Ingeniería Mecánica. 25 de Octubre de 2007. Pontifica Universidad Católica del Perú. 25 de Noviembre de 2008. <<http://www.pucp.edu.pe/congreso/cibim8/pdf/06/06-39.pdf>>
- Shelly D. Minter. "Ethanol Blends: E10 and E-Diesel." *Alcoholic Fuels*. Editado por: Shelly Minter. 1era edición. Estados Unidos de América: Taylor & Francis, 2006.
- Skoog, Douglas. *Análisis Instrumental*. 2nda edición. España: McGraw Hill, 1998.

**Total de palabras: 3987**