



ESCUELA POLITECNICA DEL EJÉRCITO

ESPE - LATACUNGA

FACULTAD DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

TESIS DE GRADO

***“ANÁLISIS TERMOQUÍMICO DE LOS MOTORES
DE COMBUSTIÓN INTERNA A GASOLINA
MEDIANTE EL ANTIDETONANTE METIL TERBUTIL
ETER (MTBE)”***

REALIZADO POR:

MAYRA ALEXANDRA GALLEGOS MURILLO

JULIO 2005

LATACUNGA - ECUADOR

DEDICATORIA

Quiero dedicar el presente trabajo a los que desinteresadamente contribuyeron para llegar a esta meta, en especial a mi padre, quien plasma reverencia para los suyos, mi madre a quien me dio el don de la vida, a mis hermanas el motivo de mi superación.

Y a todos quienes me incentivaron diariamente con motivación, y comprensión e hicieron una feliz culminación.

Por ello y para ellos mi esfuerzo.

Mayra Gallegos Murillo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a DIOS creador del universo, que me dió y me seguirá dando fortaleza para seguir adelante en mi vida.

Agradezco a mi familia que siempre esta presente con mis ideas, y jugó un papel muy importante en la toma de decisiones, su apoyo fue de suma importancia especialmente mi padre Manuel Gallegos, y mi madre Leonor Murillo, por el sacrificio que hicieron a fin de que yo pudiera realizar mis estudios y poder ser una mujer preparada para el futuro.

A mis hermanas Mónica y Anita protagonistas de una vida caracterizada por la unión, vinculo de igualdad de amor.

A ti Alex por tu apoyo moral, para que pueda luchar por mis ideales.

A la Escuela Politécnica del Ejército, por impartir conocimientos, especialmente a la carrera de Ingeniería Automotriz por esas experiencias que han dejado cimentado en mí.

Mayra Gallegos Murillo

CERTIFICACIÓN

CERTIFICO QUE ESTE PROYECTO HA SIDO REALIZADO POR MAYRA
ALEXANDRA GALLEGOS MURILLO EN SU TOTALIDAD.

**ING. LUIS MENA
DIRECTOR**

**ING. GEORGINA TIRADO
CODIRECTOR**

***“ANÁLISIS TERMOQUÍMICO DE LOS MOTORES DE
COMBUSTIÓN INTERNA A GASOLINA MEDIANTE EL
ANTIDETONANTE METIL TERBUTIL ETER (MTBE)”***

ÍNDICE

CONTENIDO	PG
INTRODUCCION	
CAPITULO I	
1.1 MTBE	
Concepto.	1
1.1.2 Efectos del Metil Terbutil Éter (MTBE) en la gasolina.	1
1.1.3 Estructura molecular del Metil Terbutil Éter (MTBE).	3
1.2 LA GASOLINA	
1.2.1 Concepto.	4
1.2.2 Composición química de la gasolina.	5
Estructura.	8
1.2.3 Propiedades físico- químicas de la gasolina.	9
Poder antidetonante.	10
Número Octano.	11
Octanaje.	12
La detonación.	12
Limite de inflamabilidad.	14
Poder calorífico.	14
Temperatura de ignición.	14
Volatilidad.	15
Ensayo de destilación.	16
Presión de vapor reíd y relación vapor/liquido.	17
Relaciones volatilidad — comportamiento de la gasolina en el	

Motor.	18
CONTENIDO	PG
1.3 MEZCLA DE COMPUESTOS QUÍMICOS	
1.3.1 Mezcla de vapores.	22
1.3.2 Mezcla aire / Combustible.	23
1.3.3 Mezcla gasolina / MTBE.	24
1.4 PORCENTAJES DE LAS MEZCLAS	
1.4.1 Relación aire/combustible.	28
1.4.2 Relación combustible / MTBE.	29

CAPITULO II

2.1 ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE METIL TER-BUTIL ÉTER (MTBE)	
Metanol.	31
Isobuteno.	32
2.2 PROCESO DE OBTENCIÓN DEL METIL TER-BUTIL ÉTER (MTBE)	
Descripción del proceso para obtención del MTBE.	35
2.3 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL METIL TER-BUTIL ÉTER (MTBE).	37
2.4 CARACTERÍSTICAS QUE DEBE POSEER COMO ADITIVO EL MTBE	
Solubilidad.	39

Estabilidad. . . . .	.39
CONTENIDO	PG
Volatilidad.	39
Compatibilidad. . . . .	.40
Eficiencia. . . . .	.40
Toxicidad. . . . .	.40

CAPITULO III

3.1 OXIGENACIÓN DE LA GASOLINA

3.2 EFECTOS DE LOS CONTAMINANTES DE LA COMBUSTION INCOMPLETA

3.2.1 Mezclas Ricas.	43
3.2.2 Mezclas pobres.	44
3.2.3 Relación estequiométrica.	45
3.2.3 Contaminación atmosférica. . . . .	.54
Dióxido de Carbono (CO ₂). . . . .	.54
Monóxido de Carbono (CO). . . . .	.54
Zonas de Extinción. . . . .	.56
Hidrocarburos no Quemados (HC). . . . .	.57
Óxidos de Nitrógeno (NO _x).	58

3.3 MODELOS DE ECUACIONES QUIMICAS

3.3.1 Composición del aire. . . . .	.61
3.3.2 Entalpía de formación.	61
3.3.3 Ecuación de combustión teórica.	62
3.3.4 Ecuación de combustión real. . . . .	.65
3.3.5 Ecuación de combustión con MTBE.	66

3.3.6 Determinación de la cantidad teórica de aire necesaria.	66
CONTENIDO	PG

CAPITULO IV

4. PRUEBAS

4.1 PRUEBAS EN EL ANALIZADOR DE EMISIONES

4.1.2 Protocolo de pruebas.	68
4.1.3 Ejecución de la prueba del analizador de gases.	71
4.1.4 Registro de datos y resultados obtenidos.	74

4.2 PRUEBAS DE TORQUE, POTENCIA, EFICIENCIA TÉRMICA CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE CON UNA RELACIÓN DE COMPRESIÓN VARIABLE

4.2.1 Protocolo de pruebas.	80
4.2.1 Ejecución de la prueba realizada en el banco de pruebas.	83

4.3 DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO DE LAS GASOLINAS EXTRA SÚPER CON Y SIN ADITIVO EN LA BOMBA CALORIMÉTRICA ADIABÁTICA.

4.3.1 Protocolo de pruebas.	88
4.3.2 Ejecución de la práctica para obtener los poderes caloríficos. . . .	89
4.3.3 Calcular la densidad de la Gasolina Extra y Súper con y sin Aditivo.	92

CONTENIDO

PG

4.4 REGISTRO DE DATOS Y RESULTADOS OBTENIDOS EN EL BANCO DE PRUEBAS PLIN- T 15

4.4.1 Tipo de gasolina: extra sin aditivo.	94
4.4.2 Tipo de gasolina: extra con aditivo.	99
4.4.3 Tipo de gasolina: Súper sin aditivo.	104
4.4.4 Tipo de gasolina: Súper con aditivo.	109
4.4.5 Gráficos de Desempeño.	114

4.5 DETERMINACION DE LA COMPOSICION DEL COMBUSTIBLE EN BASE DE MASA.

134

4.6 DETERMINACIÓN DE LAS ECUACIONES SEGÚN EL PROGRAMA DE CALCULO ANÁLISIS DE GASES DE COMBUSTIÓN ISOCTANO C₈H₁₈.

4.6.1 Gasolina Extra.	138
4.6.2 Gasolina Extra + MTBE.	140
4.6.3 Gasolina Súper.	142
4.6.4 Gasolina Súper + MTBE.	144

CONTENIDO

PG

CAPITULO V

5.1 ANALISIS DE COSTOS.146

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

6.1 CONCLUSIONES DE CARÁCTER TÉCNICO:

6.1.1 Pruebas realizadas en el analizador de gases. 149
6.1.2 Con respecto a las pruebas realizadas con gasolina Extra con y sin
aditivo. 149
6.1.3 Con respecto a las pruebas realizadas con gasolina Súper con y
sin aditivo. 150
6.1.4 Conclusiones Comparativas.151

6.2 CONCLUSIONES DE CARÁCTER ECONÓMICO.152

6.3 CONCLUSIONES GENERALES.153

RECOMENDACIONES. 154

BIBLIOGRAFIA. 155

ANEXOS. 156

INTRODUCCIÓN:

Las emisiones contaminantes son preocupantes en todo el mundo y en especial en Sudamérica donde su control y regulación son muy escasos, el Ecuador como país petrolero depende de la explotación del petróleo para sostener gran parte de su economía y este estudio pretende que la transformación y refinación del petróleo en gasolina sea menos contaminante luego de su combustión con la mezcla del Metil Terbutil Éter (MTBE), sin sacrificar la potencia del motor.

Con la oxigenación de la gasolina con este compuesto químico MTBE, se logrará obtener un mayor número de moléculas de oxígeno en el combustible para su posterior combinación con los átomos de carbono para producir dióxido de carbono y reducir el monóxido de carbono un contaminante que causa mucho daño para la salud.

Debido a la necesidad de eliminar el agregado de compuestos de plomo en los combustibles (por ejemplo el plomo tetraetilo), se ha impulsado el desarrollo de productos (éteres) que tienen la propiedad de ser antidetonantes y que pueden sustituir a los compuestos de plomo en las naftas.

Los resultados de las investigaciones y el desarrollo de métodos que hidrocarburos gaseosos como materias primas conducen a gasolinas de bajo punto de ebullición y alto octanaje, uno de los más utilizados es el Metil Terbutil éter, conocido como el MTBE

El MTBE eleva el índice de octano de la gasolina y también eleva el contenido de oxígeno de la misma por lo que se mejora la potencia del motor, soporta mayores relaciones de compresión y reduce las emisiones de monóxido de carbono.

Fue introducido por primera vez en la gasolina "Premium" en los EUA y Europa hace más de 12 años. Este producto químico sustituyó al Tetraetilo de Plomo (TEL) mezclado con la gasolina regular.

Por las razones expuestas se han hecho necesario realizar pruebas de mezcla de combustibles para la utilización correcta en los motores de combustión interna.

Estas pruebas se deben realizar mediante ensayos en laboratorios, ensayos en motores de laboratorio y ensayos de analizador de gases.

CAPITULO I.

1.1EL MTBE

El MTBE (Metil terbutil éter), conocido también como: Metilo Terciario Éter, ha tenido notable crecimiento en los últimos 15 años, se utilizaba inicialmente como enriquecedor de octano. Lo utilizan casi todas las principales compañías petroleras de los EE.UU., al menos en parte de su gasolina.

- Mediante el uso del éter metilterciobutílico (MTBE). Comprobamos que este compuesto adiciona oxígeno a la mezcla aire/carburante, enriquecen la carga químicamente aire/carburante produciendo una combustión más completa.
- Es un compuesto líquido volátil, inflamable, incoloro, de baja viscosidad, con olor característico, soluble en agua, que se usa casi exclusivamente como aditivo oxigenado en las gasolinas.
- Es un importante constituyente de las moto naftas, debido a su muy elevado valor octánico ya que, al contener oxígeno en su molécula, contribuye a reducir los contaminantes.
- Se obtiene en las refinerías a partir de alcohol etílico, producido en los complejos petroquímicos, y de las olefinas ligeras producidas en los procesos de desintegración catálitica FCC, con el beneficio adicional de reducir el contenido de estas.

1.1.2 Efectos del Metil Terbutil Éter (MTBE) en la gasolina.

Los efectos que causa el MTBE en la gasolina son las siguientes:

- 1.- Aumenta su octanaje

2.- Es un oxigenante, significa que proporciona oxígeno a la reacción de combustión; reduciendo con esto la producción de hidrocarburos no quemados

3.- Aumenta la presión de vapor y la volatilidad de las mezclas, provocando la formación de burbujas de vapor en el sistema de alimentación de combustible del motor.

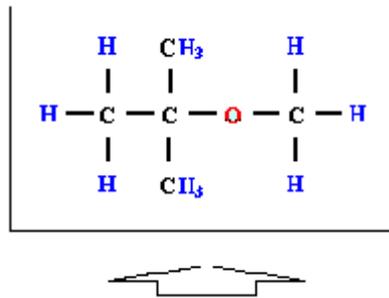
4.- En cuanto a la emisión de gases, la adicción de MTBE a la gasolina, disminuye la concentración de monóxido de carbono en los gases de escape del motor. En ensayos realizados, la concentración de CO en los gases de escape, disminuyó del 15 al 30 % en mezcla de gasolina con el 15% Vol. de MTBE; también disminuye la concentración de hidrocarburos no combustionados de un 20 al 40 %, con la misma concentración de MTBE.

6.- Como el MTBE tiene pequeña solubilidad en agua, no ofrece problemas de separación de fases en los sistemas de distribución, en presencia de pequeñas cantidades de agua. Por eso, al adicionar MTBE se mejora la tolerancia de agua.

7.- Con relación a la toxicidad, efectuándose ensayos con gasolina con y sin plomo, conteniendo MTBE en un intervalo de 10 al 15 % Vol. Resulta que la toxicidad no aumentaba con la añadidura de MTBE y las mezclas de gasolina – MTBE sin plomo o con bajo contenido de plomo son menos tóxicas, cuando son comparadas con la actual gasolina que contiene 0,6 gr. / Lt. de plomo.

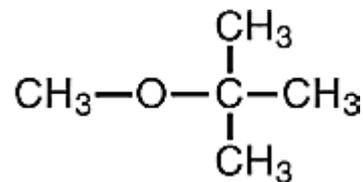
1.1.3 Estructura molecular del Metil Terbutil Éter (MTBE)

El éter Metil Ter-butílico (MTBE) se fabrica combinado de sustancias químicas como el isobutileno y metanol, se usa desde 1982 como aditivo para lograr mejor combustión de la gasolina.

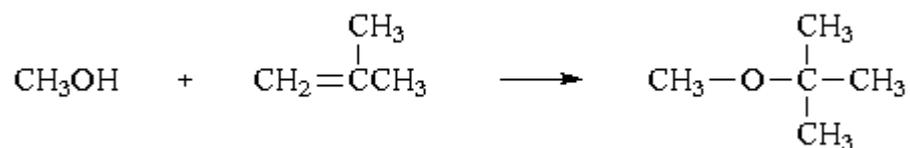


Molécula de metil ter-butil éter

Es un líquido descolorido con un punto de ebullición de 55° C y una densidad 0.74 g/mL su estructura molecular es:



Se obtiene MTBE (Metil Ter_ butil éter) a partir de la reacción entre el isobuteno y metanol de la siguiente manera:



La síntesis ocurre en un reactor de lecho fijo, en la fase líquida, conteniendo un catalizador de resina acídica de intercambio de iones a temperaturas por debajo de los 100 °C, con alta severidad, bajo las condiciones de reacción seleccionadas, todos los hidrocarburos C4 que no sean isobuteno son inertes; por lo tanto el isobuteno normalmente utilizado proviene de las corrientes de hidrocarburos C4 originado en la unidad de crackeo catálico fluidizado (FCC) o de la unidad de crackeo con vapor ("steam Cracking, SC), antes o después de la extracción bruta de dieno existiendo también un proceso que utiliza gas de síntesis de carbono, para la producción de isobuteno y metanol simultáneamente.

Además la reacción principal de la formación del MTBE (Metil Terbutil éter), ocurre también, en pequeña escala las reacciones de formación de subproducto como disobutileno y alcohol butílico terciario, este último, tiene su formación directa ligadas a la presencia de agua en los hidrocarburos y el metanol.

1.2 LA GASOLINA

1.2.1 Concepto._ La gasolina es un producto obtenido en la destilación fraccionada del petróleo crudo (depende del crudo que se destile es una fracción única o una mezcla de diversas fracciones).

Esta formada de una mezcla de hidrocarburos de peso molecular no muy elevado.

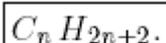
Debe ser volátil, para que queme fácilmente y para mejorar el arranque en frío, pero no tanto, como para formar demasiado vapores con tiempo caluroso.

Las gasolinas empleadas en motores de combustión interna, deben satisfacer diversos requerimientos tanto en su etapa de producción como en su posterior rendimiento vehicular.

1.2.2 Composición química de la gasolina

La gasolina formado por moléculas de carbono e hidrógeno normalmente tienen entre 7 y 11 átomos de carbón unidos a los átomos de hidrógeno. En el petróleo, los átomos de carbono se encuentran unidos por cadenas de diferentes longitudes; por lo que las moléculas con distintas longitudes presentan propiedades y comportamientos diversos.

La gasolina esta formada por hidrocarburos que pertenecen a la familia de los alcanos cuya configuración química es:



De este arreglo podemos obtener la siguiente lista de hidrocarburos

1. (n=1) CH_4 Metano
2. (n=2) C_2H_6 Etano
3. (n=3) C_3H_8 Propano
4. (n=4) C_4H_{10} Butano
5. (n=5) C_5H_{12} Pentano
6. (n=6) C_6H_{14} Hexano
7. (n=7) C_7H_{16} Heptano
8. (n=8) C_8H_{18} Octano

Las primeras cuatro cadenas de alcanos (metano, etano, propano y butano) son gases.

A partir de estas y hasta llegar al C18 son líquidos a temperatura ambiente y las cadenas después del C19 son sólidos a temperatura ambiente.

Las cadenas en el rango de C5 al C7 son líquidos muy ligeros que se evaporan con facilidad y son usados como solventes líquidos de limpieza. Las cadenas contenidas en el rango de C7 a C11 son mezcladas para formar la gasolina

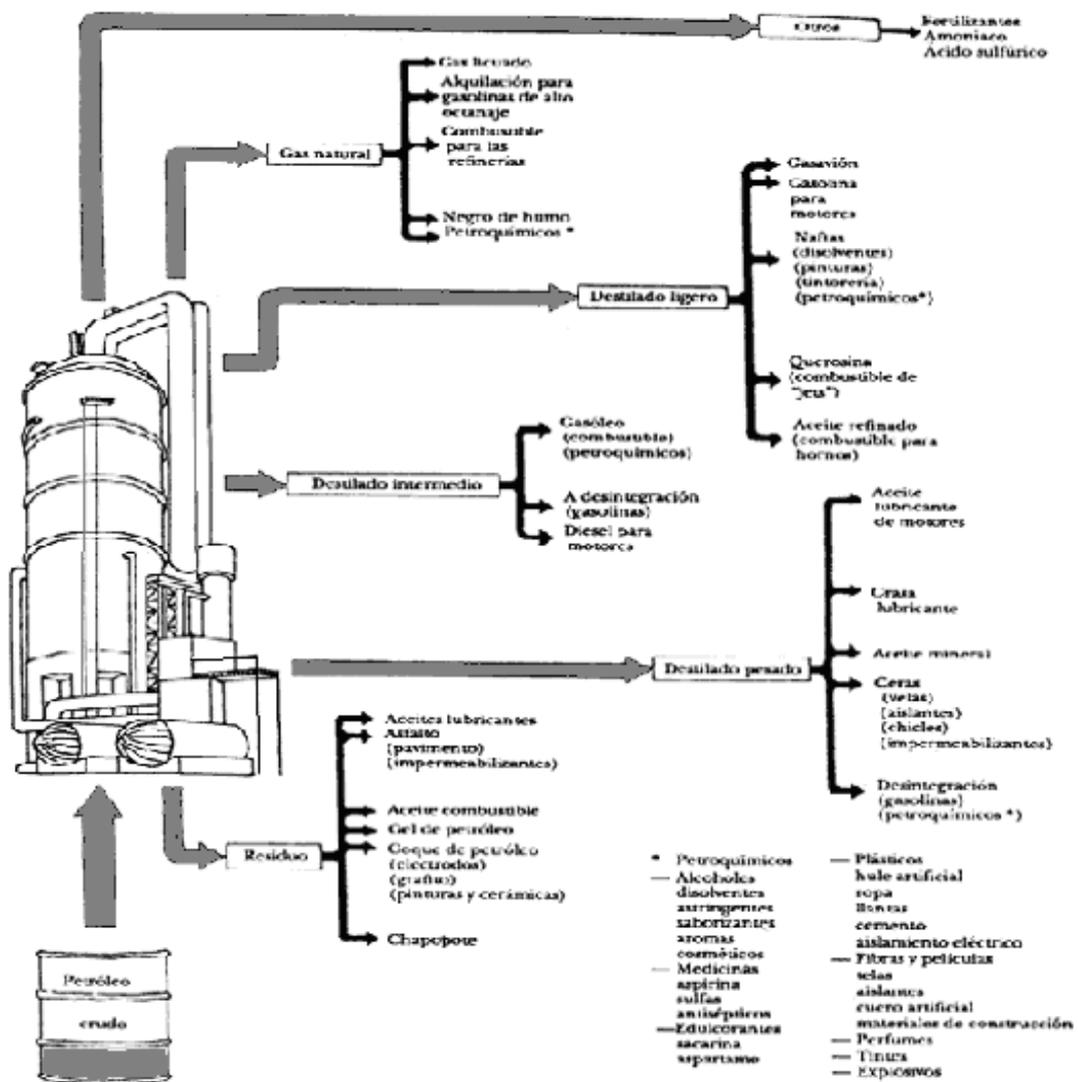


Figura 1.1 Proceso de destilación de las diferentes fracciones de petróleo.

Las series de operaciones efectuadas en una refinería se producen muchos destilados crudos que deben tratarse químicamente antes de enviarse a los tanques finales de mezclado mencionamos los siguientes.

- 1) *Nafta Virgen.*- Este es un compuesto ligero, obtenido directamente de la torre de rectificación primaria.
- 2) *Nafta Reformada.*- Es el producto de una operación catállica sobre Nafta pesada.
- 3) *Isopentano.*- Es producto de la isomerización de un corte fraccionario dos veces de cualquiera de las varias unidades de la refinería.
- 4) *Nafta Pesada.*- Proveniente de las torres de fraccionamiento de la unidad de desintegración catállica. Se alimenta con el gas oil pesado de destilación atmosférica y vacía. Por acción de la temperatura y con un catalizador, se somete a craqueo, obteniéndose gases, nafta, y un poco de residuo pesado
- 5) *Nafta Ligera.*- De la torre de debutanización de la planta de desintegración, con la conexión catállica.
- 6) *Gasolina polimerizada.*- Procedente del estabilizador de la planta de polimerización.
- 7) *Cortes de Alkilatos.*- Del fraccionamiento, en conexión con la planta de alkilación.
- 8) *Nafta Desintegrada Técnicaamente.*- Proveniente de la planta reductora de viscosidad del petróleo. Combustible o residuo.
- 9) *Butanos.*- Del debutanizador de los compuestos volátiles obtenidos de las plantas de desintegración catállica, unidades de destilación de crudo y otras unidades de la refinería.

Estructura

Las moléculas de hidrocarburos están constituidas o bien en forma de cadena o bien en anillo (figura 1.2).

Las moléculas tienen en forma de cadena sencilla (parafina y olefinas) son muy propias al encendido y arden fácilmente. Con ello reproduce en los motores Otto el pistoneo.

- a) Estructura molecular en forma de cadena. ○ Átomo de Hidrógeno
- b) Estructura molecular en forma de anillo ● Átomo de carbono

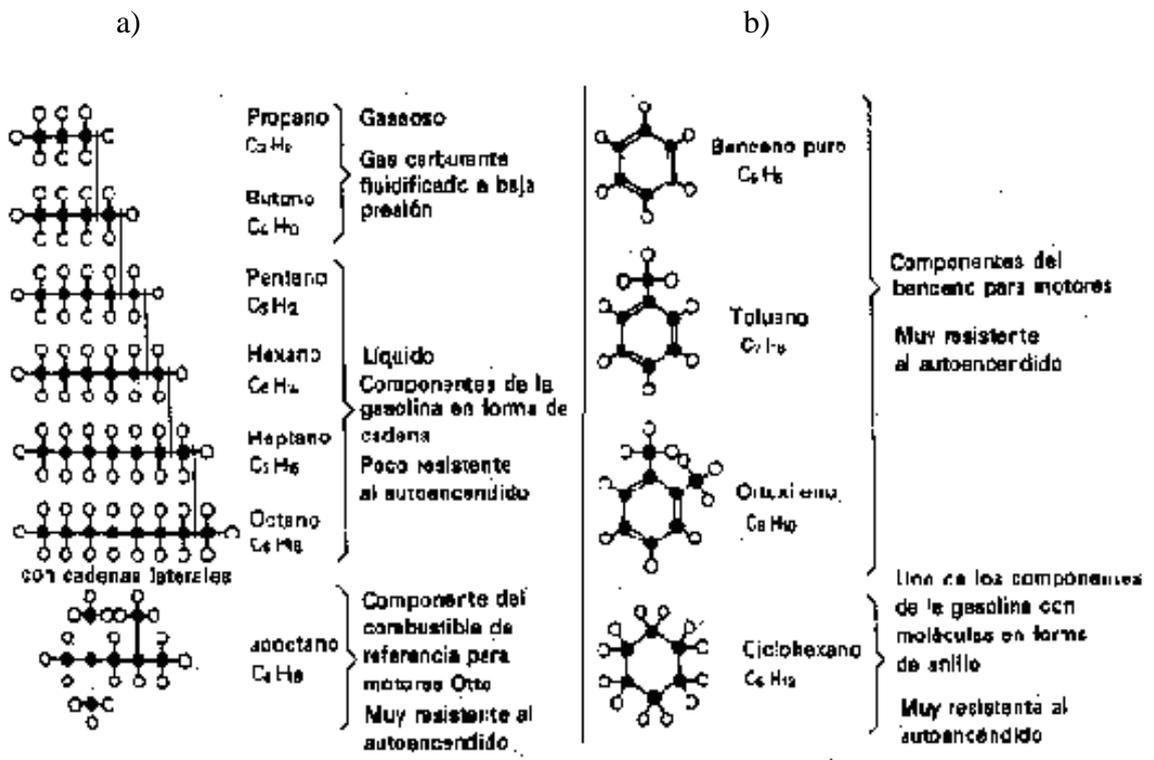


Figura 1.2 Estructura de las moléculas de hidrocarburos

1.2.3 Propiedades físico- químicas de la gasolina:

Las propiedades físico químicas de las gasolinas están influenciadas por la naturaleza de su crudo de origen, por prácticas empleadas en la refinación y por los aditivos que se les adiciona para proveer o mejorar las características específicas de desempeño de la gasolina producto.

En términos generales, las características básicas que definen el comportamiento de un combustible en el motor, son el poder antidetonante y la volatilidad. Los otros requerimientos limitan la presencia de componentes indeseables a concentraciones tan bajas, de tal manera que no tengan un efecto adverso en el funcionamiento de la máquina.

Se han propuesto normas de aplicación internacional (normas ASTM) como normas de carácter local (normas del Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN), las cuales conforman un conjunto de ensayos estandarizados para las gasolinas de motor, encaminadas a indicar a los organismos competentes y al consumidor las características de calidad del producto. Son fruto de la experiencia y cercana cooperación entre productores de gasolina, fabricantes de partes de automotores, usuarios y organismos de defensa del medio ambiente.

Las especificaciones a considerarse son: volatilidad expresada en términos de adecuada destilación y presión de vapor, poder antidetonante, contenido de azufre, estabilidad a la oxidación, calidad anticorrosiva, densidad apropiada, poder calórico, ausencia de impurezas y aspecto transparente.

Todas estas deben ser balanceadas de acuerdo a las normas a fin de que aseguren un correcto funcionamiento buen arranque, consumo de combustible mínimo, adecuada potencia y aceleración de la máquina en un amplio rango de condiciones operativas.

- **Poder antidetonante**

La cualidad antidetonante de la gasolina es de suprema importancia. Si tiene un valor bajo, ocasiona un golpeteo metálico manifestado por un ruido persistente y molesto, que en casos severos produce desfase en la ignición de la mezcla aire—gasolina provocando quemaduras en la cabeza del pistón, pérdida de potencia, baja economía de combustible y desgaste en las piezas del motor, es decir, una disminución general de rendimiento.

La detonación como fenómeno físico y químico no ha sido suficientemente esclarecida. Sin embargo, una teoría bastante aceptada es aquella que manifiesta que la mezcla carburante al combustionarse por la chispa de la bujía, se propaga por ondas concéntricas, formando prácticamente un frente de la llama (figura 1.2), el cual comprime la parte aún no quemada de los gases, elevando la temperatura y la presión, condiciones que se vuelven favorables para la formación de peróxidos, que son compuestos oxigenados inestables.

Cuando la concentración de peróxidos alcanza un cierto valor, se descomponen violentamente provocando una detonación, cuya velocidad de propagación golpea con gran fuerza la culata y cabeza del pistón produciendo golpeteo y las posteriores alteraciones de orden térmico y mecánico señaladas con anterioridad.

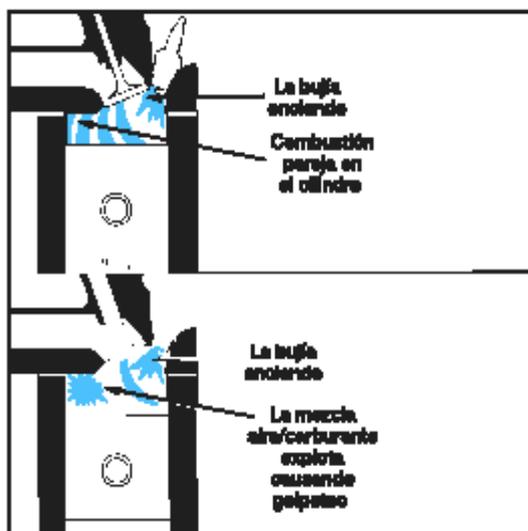
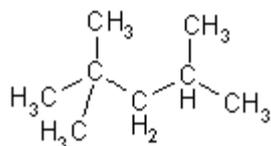


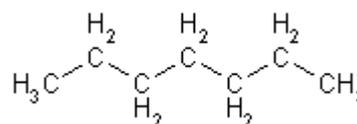
Figura 1.2.

- **Número Octano**

Las gasolinas que tienen un alto índice de octano producen una combustión más suave y efectiva. El índice de octano de una gasolina se obtiene por comparación del poder detonante de la misma con el de una mezcla de isooctano y heptano. Al isooctano se le asigna un poder antidetonante de 100 y al heptano de 0. Una gasolina de 97 octanos se comporta, en cuanto a su capacidad antidetonante, como una mezcla que contiene el 97% de isooctano y el 3% de heptano.



Isooctano (2,2,4-trimetilpentano)



heptano

Muchos conductores aún creen que cuanto mayor sea el número de octano de la gasolina que cargan en su vehículo, mayor será la

potencia y mejor el funcionamiento. Simplemente falso. El valor de octano del combustible no tiene ninguna relación con la potencia.

El número de octano de un combustible es simplemente una descripción numérica de su capacidad para resistir el "golpeteo" de la máquina.

- **Octanaje**

El octanaje en la gasolina es la medida de su calidad antidetonante, es decir, su habilidad para quemarse sin causar detonación en los motores de los automóviles.

Existen tres métodos para medir esta propiedad: Número de Octano en Motor (MON), Número de Octano Investigado (RON) y Número de Octano en Marcha.

El MON es tomado normalmente como una indicación de la habilidad del combustible para prevenir la detonación en motores de altas velocidades, mientras que el RON mide la tendencia de detonación a bajas velocidades. Sin embargo, el Número de Octano en Marcha es el que muestra realmente cómo se comporta el combustible en el motor de un automóvil, en cuanto a sus características de detonación.

- **La detonación**

Es un fenómeno, que explica la figura 1.3 Normalmente, la chispa salta en la bujía (detalle 1) cuando el pistón está cerca del p.m.s., inflama inicialmente la mezcla, y los gases se propagan en todas las direcciones, principalmente hacia los extremos de la cámara de compresión, teniendo como punto de partida el de la inflamación inicial al (detalles 2 y 3). Aunque a este fenómeno se le llama "explosión" de la llama. No se propaga instantáneamente, así que la fuerza explosiva (el "toneladazo") se aplica de modo rapidísimo pero progresivo al pistón que a su vez se mueve muy de prisa.

Pero al propagarse la llama, la dilatación de los gases inflamados puede comprimir mucho más la parte aún no prendida (detalle 2D), llegando a explotar por sí misma (dibujo 3D).

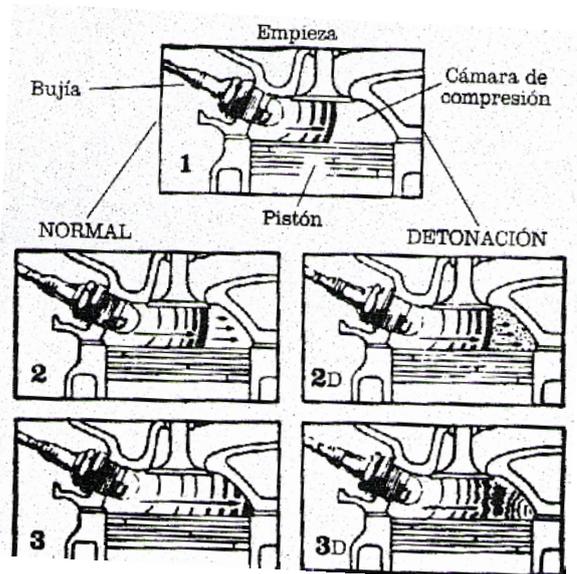


Figura 1.3.

Esta última, la verdadera explosión espontánea se propaga a una velocidad mucho mayor que la de inflamación llegándole al émbolo antes de tiempo, adelantándose y chocando con la provocada por la bujía.

El resultado es una violenta vibración de gases y de las paredes de la cámara, produciendo un agudo martilleo metálico, como si se agitaran perdigones dentro de una botella, conocido con la frase “el motor pica”. Entonces, el motor se calienta, pierde potencia y chilla.

Generalmente, las paredes citadas, culata y cilindro sobre todo, son de sobra resistentes para soportar la ruda vibración; pero la cabeza del émbolo es menos fuerte, y como recibe todo el “toneladazo” instantáneo y antes de tiempo, cuando quizá aún no ha pasado el p.m.s, y, por tanto, la biela no tiene oblicuidad para transmitir el esfuerzo en forma de giro al cigüeñal, el brutal golpazo han de

sufrirlo, cuando están en línea recta o casi, la cabeza del émbolo, el bulón y los cojinetes de cabeza de biela y del cigüeñal. Por ambas causas si el golpetazo (picado) se hace persistente, puede perforarse el fondo del pistón o machacarse los cojinetes.

- **Limite de inflamabilidad**

Se entiende como la temperatura a la cual un líquido inflamable cede la cantidad suficiente de vapor al aire circundante para que una fuente de encendido pueda inflamar la mezcla de aire/vapor.

- **Poder calorífico**

Representa la cantidad de energía liberada, por unidad de masa de combustible cuando este es quemado completamente en estado permanente y los productos regresan al estado de los reactivos. Su valor depende de la fase del agua en los productos de la combustión. Si el agua se encuentra en fase líquida, se denomina poder calorífico alto. Por lo contrario, si el agua se encuentra en estado de vapor se denomina poder calorífico bajo. En el poder calorífico alto se adiciona la energía equivalente al calor sensible y latente del agua.

El poder calorífico bajo es igual al poder calorífico alto menos el calor sensible y latente del agua para generar su evaporación.

- **Temperatura de ignición**

Este parámetro refiere la temperatura que una sustancia debe presentar para que sus moléculas reaccionen espontáneamente con un comburente y empiece a arder.

- **Volatilidad**

La gasolina en el carburador, se incorpora a la corriente de aire en forma de finas gotas que rápidamente se evaporan formando la mezcla aire-combustible. De allí, que la mayor o menor facilidad con que se produzca este cambio de estado, es decir, la volatilidad de la gasolina sea otro factor de gran importancia que debe ser cuidadosamente balanceado a fin de que cumpla con las especificaciones requeridas en función de las variaciones estacionales y de la altura geográfica.

Gasolinas que se vaporizan rápidamente en bombas, líneas de conducción del combustible y carburador, ocasionarán. El llamado cierre de vapor (vapor lock), que se manifiesta por dificultar el libre flujo del combustible hacia la máquina, produciendo problemas en su funcionamiento y en casos severos ocasionando una obstrucción total con la consecuente paralización del motor. Por el contrario, gasolinas que no se vaporicen lo suficientemente rápida, pueden ocasionar dificultades en el arranque, pobre calentamiento y aceleración, así como desigual distribución del combustible en los cilindros, lo cual puede ocasionar golpeteo.

Los límites de volatilidad son controlados mediante los siguientes ensayos:

Ensayo de destilación de productos del petróleo (norma ASTM D 86 / norma INEN 926).

Determinación de la Presión de Vapor Reid (norma ASTM D 323 / norma INEN 928).

Relación vapor-liquido (norma ASTM O 2533 / norma INEN 932)

- **Ensayo de destilación.**

Este, ensayo proporciona una medida en términos de volatilidad, de las proporciones relativas de todos los hidrocarburos componentes de la gasolina. De allí, que no tenga un sólo punto de ebullición y se vaporice paulatinamente de las tracciones ligeras a las más pesadas.

El ensayo determina las temperaturas máximas permisibles a las cuales se deberá evaporar el 10%, 50%, 90% y la temperatura máxima del punto final de destilación de la gasolina.

De acuerdo a especificaciones INEN, se considera:

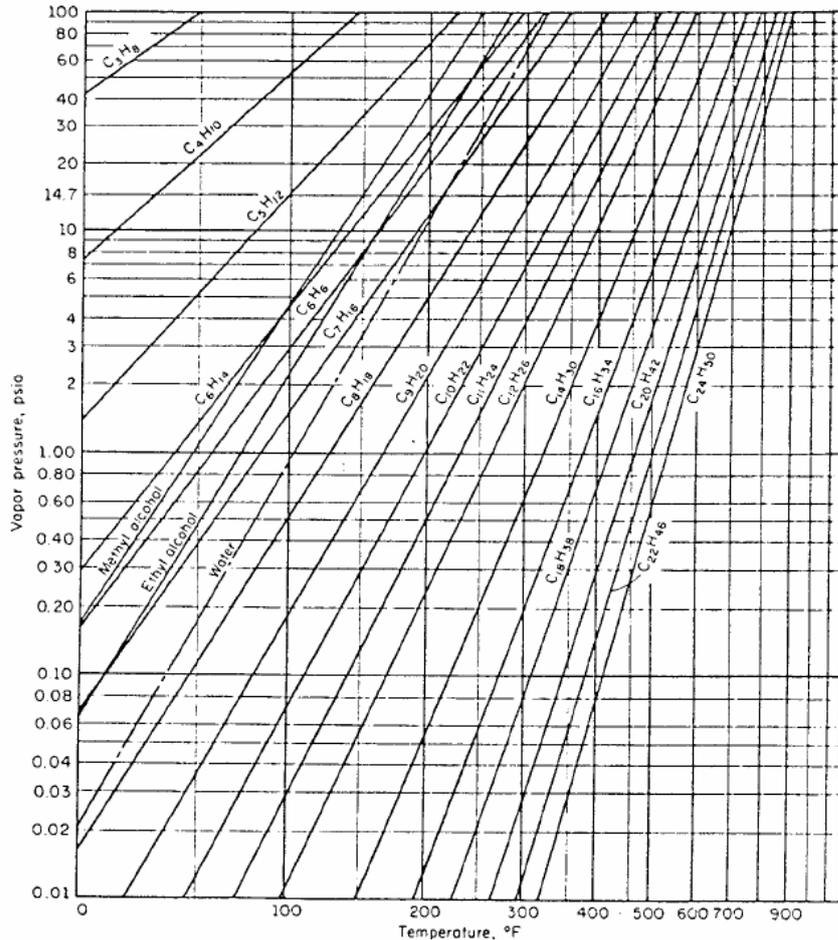
Para el 10% de evaporado, una temperatura inferior a 70 °C, indica un contenido mínimo de tracciones ligeras, que en periodo frío da una vaporización suficiente para garantizar el arranque del motor. Generalmente este punto debería ser más bajo en el invierno que en el verano.

Para el 50%, Una temperatura comprendida entre 77° C y 121° C, asegura una volatilidad correcta de la fracción central de la gasolina, permitiendo un adecuado calentamiento, aceleración y un normal desarrollo de la máquina.

Para el 90% de evaporado y el punto final de destilación las temperaturas especificadas deben ser menores a 190° C y 220° C, respectivamente, a fin de precautelar excesiva dilución del aceite en el cárter y excesivos depósitos de impurezas en el motor.

- **Presión de vapor reíd y relación vapor/liquido**

La presión de vapor reíd es importante pues si la temperatura de los componentes del sistema de combustible es suficientemente alta, se puede alcanzar la condición en que el combustible evapore,



La Figura 1.4 muestra la presión de vapor de algunos hidrocarburos, medida en libras por pulgada cuadrada, absoluta. En los ensayos de laboratorio de naftas la presión de vapor se mide según ensayos normalizados, reportándose la Presión de Vapor REID, que si bien está normalizada y limitada, no se corresponde directamente con la anterior.

La presión de vapor es la fuerza por unidad de área ejercida sobre las paredes de un recipiente cerrado por la porción vaporizada del líquido contenida dentro. Para mezclas de hidrocarburos semejantes a la

gasolina, la presión de vapor depende de la relación vapor/líquido en el recipiente a la temperatura existente.

La presión de vapor de la gasolina, cuando es medida a 100 ° F en equipo normalizado (relación 4:1 de aire gasolina), es conocida como Presión de Vapor Reíd. Mientras que el punto del 10% de evaporado de la curva de destilación indica el contenido de Hidrocarburos ligeros, las especificaciones INEN imponen un máximo de 68.95 Kpa (10 PSI), a fin de precautelar que no ocurra el cierre de vapor.

Además esta propiedad es la que condiciona directamente las pérdidas por almacenaje y transporte.

La tendencia a la vaporización de la gasolina, puede ser igualmente expresada en términos de la relación vapor/líquido, a condiciones de temperatura y presión aproximadas a aquellas encontradas en partes críticas del sistema de combustible.

- **Relaciones volatilidad - comportamiento de la gasolina en el motor**

En términos generales se pueden considerar las siguientes, relaciones entre volatilidad y desempeño:

a) Presiones de vapor entre moderadas y altas (5-9 PSI, 35-62 KPa) y baja temperatura al 10% de evaporado, son indicativos de un fácil arranque en frío. Sin embargo, si los valores se aproximan a los máximos especificados, bajo condiciones de operación calientes puede provocarse el cierre de vapor e incrementar la formación de burbujas en el carburador y tanque de combustible con el consecuente peligro.

La cantidad de vapor formada y las pérdidas por evaporación son estimadas mediante la presión de vapor Reid y las temperaturas de destilación, respectivamente.

b) Sin embargo de que la presión de vapor es un indicativo de la cantidad de vapor formado, por si sola no es un buen índice. Un mejor indicador para medir el posible desempeño de cierre de vapor de las gasolinas en los autos, es la temperatura de una relación vapor/liquido igual a 20. Mientras más baja sea ésta, aumentará la tendencia a causar cierre de vapor.

c) La temperatura correspondiente al 50% de evaporado es un buen indicador del comportamiento en el calentamiento y aceleración después del arranque en frío. Mientras más baja sea ésta temperatura pero dentro de lo especificado es mejor el desempeño de la máquina.

Sin embargo, si la temperatura es muy baja de tal manera que se acerque al Límite interior señalado puede incrementarse la tendencia a causar cierre de vapor y por ende paralización del motor.

d) La temperatura para el 90 % de evaporado y el punto final de destilación, indican la cantidad relativa de componentes pesados. Una temperatura moderadamente alta (sin exceder lo especificado) al 90% de evaporado contribuye a mejorar, la economía de combustible y la resistencia a la detonación debido a que esto está asociado con componentes de alto número de octano.

Pero si la temperatura al 90% y al punto final de destilación son muy altas, pueden causar un pobre distribución de la mezcla en las cámaras de admisión y combustión, depósitos de impurezas en el

motor y dilución de aceite en el cárter ya que se produce una disminución de la viscosidad del aceite por lo cual se descompone más rápido, esto provoca una mala lubricación aumentando el desgaste de la máquina.

Las propiedades según las especificaciones de calidad del mercado en el Ecuador son las siguientes:

Poder calorífico de gasolina (Refinería de Esmeraldas)

Tipo de gasolina	·# de octanos	Calor (cal/ gr.)
Extra	80	9576
Eco	82	9232
Super	91	9232

Gasolina Súper SP

Propiedades	Valor min.	Valor máx.	Promedio
Número de Octano	91	93	92,3
Contenido del IEL g/l	0	0	0
Presión del Vapor PSI	4,4	6,4	5,54
Destilación 10% °C	53	63	58
Destilación 50% °C	102	112	108
Destilación 90% °C	189	205	194
PFE ° C	2118	227	222
Contenido de gomas			
MG / 100 ML	1	1,4	1,2
Azufre % Vol.	*	2	*
Gravedad específica	0,755	0,7595	0,7579
Gravedad API	54,8	55,8	55,2

Gasolina Extra

Propiedades	Valor min.	Valor máx.	Promedio
-------------	------------	------------	----------

Numero de Octano	80	81	80
Contenido del IEL g/l	0,2	1,8	0,6
Presión del Vapor PSI	3,3	5,5	4,7
Destilación 10% °C	59	70	67,6
Destilación 50% °C	107	116	112,4
Destilación 90% °C	156	196	162,4
PFE ° C	185	218	197,1
Contenido de gomas			
MG / 100 ML	0,8	1,4	1,3
Azufre % Vol.	0,1	2	0,3
Gravedad especifica	0,7405	0,7487	0,7444
Gravedad API	57,5	59,6	58,6
Corrosión de láminas. de cobre	1	1	1

1.3 MEZCLA DE COMPUESTOS QUÍMICOS

Para la formación de mezcla es necesario, en primer lugar, disponer de un combustible y un carburante en este caso el aire.

Desde el punto de vista químico la zona más importante del motor de explosión es la llama de cámara de combustión porque en ella se realiza el milagro químico por medio del cual la energía calorífica que contiene la gasolina pasa a ser convertida en energía mecánica.

El elemento indispensable para la combustión es el aire, en la figura 1. 4 mostramos el proceso de la mezcla con la gasolina.

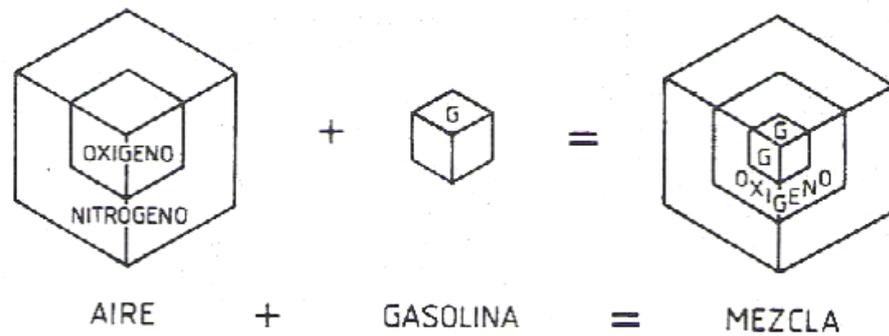


Figura 1.4 la gasolina necesita de oxígeno para que se produzca su combustión y este gas lo extrae del aire

1.3.1 Mezcla de vapores

Límite de inflamabilidad se entiende como la temperatura a la cual un líquido inflamable cede la cantidad suficiente de vapor al aire circundante para que una fuente de encendido pueda inflamar la mezcla de aire/vapor.

Esta mezcla abarca un procedimiento para medir el volumen de vapor formado a la presión atmosférica de un volumen de gasolina. La relación de este volumen es expresada como la relación vapor-líquido (V/L) de la gasolina, al la temperatura de ensayo.

La relación (V/L), es un factor significativo de una serie de condiciones de operación, fundamentalmente sobre la formación de burbujas de vapor, que puede ocurrir cuando parte del sistema de conducción de la gasolina, es calentado y la gasolina entonces hierve, formando vapor que obstruye el flujo del líquido combustible. La temperatura a la que la gasolina es alimentada y la relación (V/L) que puede tolerarse sin presencia de formación de burbujas de vapor, varía de un automotor a otro y también de las condiciones de operación.

1.3.2 Mezcla aire / Combustible

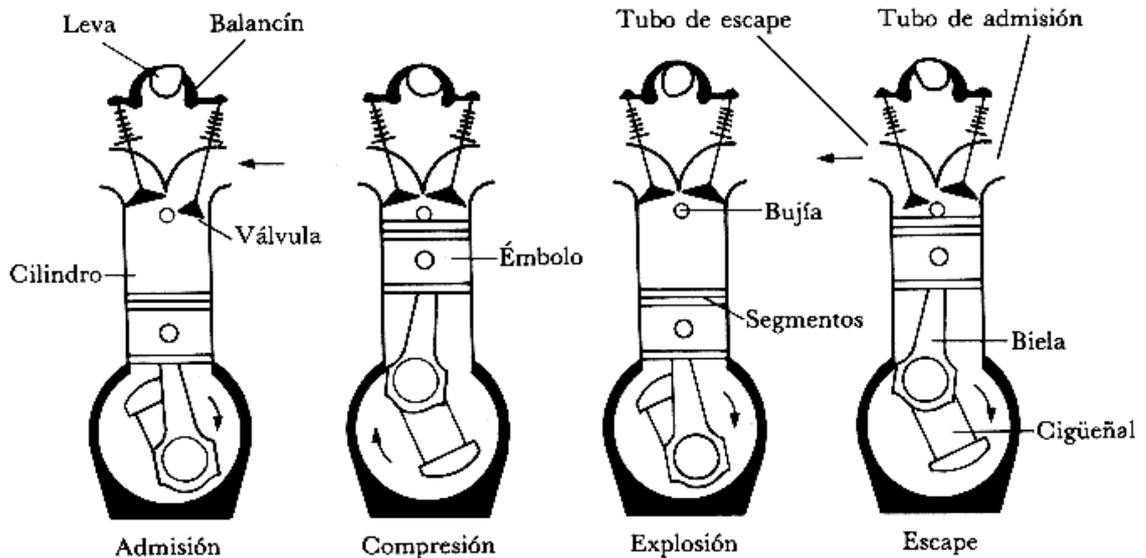


Figura 1.5 cuatro tiempos de un motor de combustión interna

En la figura 1.5 podemos ver como se realiza la mezcla de aire-gasolina, que entra a la cámara de combustión después de la inyección o de haber sido mezclados por el carburador.

La aspiración que crean los émbolos en los tiempos de admisión, dan origen a que una corriente de aire proveniente de la atmósfera, se establezca a través del carburador y arrastre de sus surtidores la cantidad de gasolina necesaria para formar la mezcla explosiva.

A la salida del carburador la gasolina está más pulverizada, es decir, formando pequeñas gotas en suspensión en el aire, y una parte de ella, compuesta por los hidrocarburos más volátiles, está vaporiza a costa del aire, el cual toma el calor necesario.

Si el motor está caliente por llevar un tiempo funcionando, el colector de admisión, que esta formado por los conductos de admisión que unen el carburador con los

orificios de la culata que comunican con las válvulas, también está caliente, y en contacto con él continúa la vaporización de la gasolina. Además, debido a los cambios de dirección que sufre la mezcla en ellos, se crea una cierta turbulencia que homogeniza la mezcla.

Estos mismos efectos continúan cuando la mezcla toma contacto con la parte posterior de la cabeza de la válvula de admisión.

Al irrumpir los gases en el interior del cilindro se encuentran un ambiente a un más caldeado, que facilita la continuación de la evaporación, y debido a la dispersión que origina la cabeza de la válvula, los vapores de gasolina se mezclan más anticipadamente con el aire.

Durante la compresión, por el calor producido en ella se terminan de evaporizar los hidrocarburos más pesados (los que tienen su punto ebullición cercano a los doscientos grados centígrados) y la homogenización de la mezcla, se completa de forma que cada molécula de gasolina está rodeada por moléculas de oxígeno, que forma parte de aire necesario para la combustión.

El calor absorbido por la gasolina para su vaporización causa un efecto refrigerante en el interior del cilindro.

1.3.3 Mezcla gasolina / MTBE

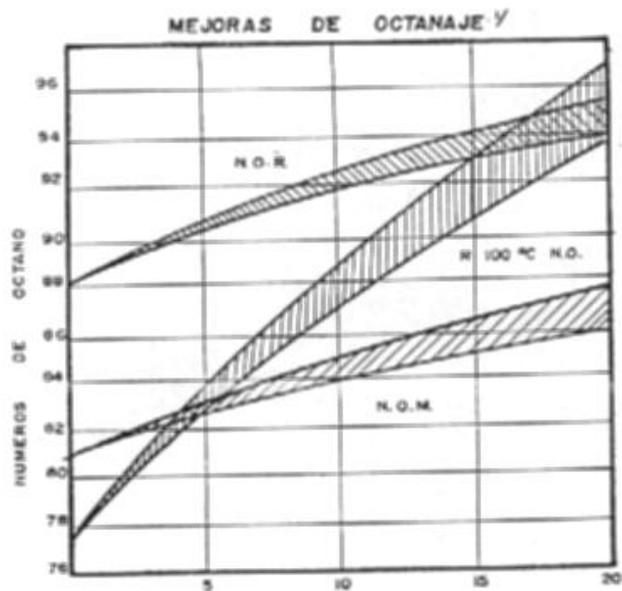
El contenido de MTBE está en un intervalo de 10 al 17% Vol. efectuándose ensayos de gasolina con y sin plomo.

A las gasolinas con estos aditivos se les llama Gasolinas Reformuladas u Oxigenadas.

Cuando se añade 10% de MTBE a una gasolina con la siguiente composición:

Reformado catálico	60% Vol.
Craking catálico	20% Vol.
C3/C4 de alquilación	20% Vol.
NOR. Claro	94.3
NOM. Claro	84.3

Una representación detallada del NOR., NOM. Y Numero de Octano Frontal (100 °C NO.), que caracteriza la detonación durante la aceleración de mezcla de gasolina con MTBE se muestra en la siguiente figura:



1/ Aumento a una gasolina sin plomo con :

NOR	88
NOM	81
NO R 100 °C	77

Como regla general puede decirse que el MTBE sirve bien, especialmente en mezclas de gasolina, en las bases de plomo muestran sus mejores efectos.

El MTBE, como agente añadido a las gasolinas presenta las siguientes características que hacen considerarlo como mejor opción para la elevación del índice de octano de las gasolinas

Para visualizar las bondades del MTBE comparadas con otros componentes de alto octanaje se presenta la siguiente tabla.

Numero de Octano de la Mezcla			
	MTBE	METANOL	ETANOL
NOR.	116	123	123
NOM	98	91	96
(NOR. + NOM) / 2	107	107	109,5

El MTBE tiene menor NOR. De mezcla, pero mayor NOM. de mezcla, en consecuencia tiene valores iguales de $(NOR + NOM) / 2$ que el correspondiente alcohol

Puesto que el MTBE tiene un bajo punto de ebullición (55,2 °C), su adición mejora el número de Octano Frontal (“front end”), mejorando así, substancialmente la eficiencia de los motores de combustión interna, en la fase de aceleración a baja velocidad; en otras palabras, esta adición disminuye notablemente el ΔR 100 °C de la mezcla.

Por ejemplo el número de octano de una típica gasolina Premium (98-99 NOR, 50 / 50 % evapora 100 °C y 0,04 g / Lt. De Pb con TEL) son los siguientes:

	GASOLINA	MEZCLA DE GASOLINA CON MTBE (10 % Vol.)
NOR	98,5	98,5
NOR 100°C	88,5	95,5
ΔR 100 °C	10,0	3,0

Las muestras con MTBE, tiene propiedades de volatilidad (PVR, Destilación ASTM, etc.) similares a aquellas gasolinas con componentes livianos.

Su uso por lo tanto no crea problema en la formulación de una gasolina liviana. La siguiente tabla ilustra la composición superior o inferior de mezcla de gasolina – MTBE, después de la adición de una gran cantidad de agua a 40 °C.

Las pérdidas se MTBE son insignificantes y más del 99% del MTBE restante, esta en la fase hidrocarburo.

DATOS DE EQUILIBRIO DE FASES DEL SISTEMA MTBE- GASOLINA - AGUA A 40 °C					
CAPA SUPERIOR 74,7 % EN PESO (% PESO)			CAPA INFERIOR 25,3 %EN PESO (% PESO)		
MTBE	GASOLINA	AGUA	MTBE	GASOLINA	AGUA
14,7	85,15	0,13	0,37	trazas	99,63

COMPOSICION DE LA GASOLINA EN REFERENCIA	
Aromáticos	40 % peso
Saturados	60 % peso

1.4 PORCENTAJES DE LAS MEZCLAS

1.4.1 Relación aire/combustible

Es el número que expresa la cantidad, en masa o en volumen, de aire aspirado por un motor de combustión para una cantidad unitaria de combustible. Dicha relación es función del combustible, del tipo de motor, de su regulación y de la carburación.

El valor ideal o teórico de tal relación es el correspondiente a la relación estequiométrica.

Cuando se trata de gasolina comercial, dicha relación esta comprendida entre 14,7 y 15,1 (es decir, unos 15 Kg. de aire por cada kilogramo de gasolina).

Pero esto ocurre en condiciones teórica o ideales, que no considera la mayor o menor rapidez con que se desarrolla efectivamente la combustión.

Esta relación puede obtenerse con gran precisión mediante el análisis químico de los gases de escape. Sin embargo también puede determinarse efectuando las adiciones por separado del aire y del combustible suministrado al motor en un tiempo determinado.

$$A/C = \text{°G}/B$$

°G = consumo real de aire Kg. /h

B = consumo horario de combustible Kg. /h

Se ha experimentado que es necesario una relación definida para obtener la máxima potencia y otra relación diferente para máxima economía. La máxima economía del motor se obtiene cuando la liberación sea máxima.

Esta condición se logra cuando el combustible se quema completamente.

En la figura 1.6 representa la curva que representa las características de un motor de encendido por chispa en función de diferentes relaciones aire – combustible.

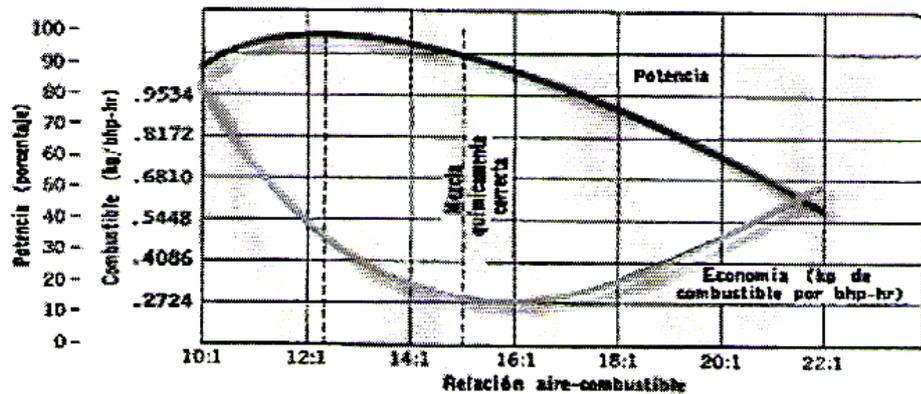


Figura 1.6

La relación entre aire combustible varía constantemente en un motor. Esta proporción se calcula en gramos:

$$\text{Proporción de mezcla} = \text{aire atmosférico (gr.)} / \text{consumo de gasolina (gr.)}$$

1.4.2 Relación combustible / MTBE

Cuando el MTBE se utiliza en bajas concentraciones (3% al 5% del volumen) cumple la función de mejorador de Octanaje; si la concentración, sin embargo, se incrementa a niveles por ejemplo del 15% del volumen comprobamos que brinda mayores ventajas como aumentar el octanaje y disminuir los gases tóxicos para el medio ambiente.

En la figura 1.7 Realizamos la mezcla gasolina + MTBE, en el resultados no presentó ningún efecto químico.



Figura 1.7

En la mezcla realizada ocurre una reacción química donde se conserva el número de átomos y la masa original, pero se redistribuye el material en nuevas estructuras.

El producto actúa entonces mejorando la eficiencia de la combustión y, con ello, disminuyendo la contaminación provocada por las emisiones de evaporación y escape de los vehículos.

CAPITULO II

2. ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE METIL TER-BUTIL ÉTER (MTBE)

Porcentajes que se encuentra formado el MTBE (Metil Ter_ buil éter) son:

36% Metanol + 64% Isobuteno MTBE

- **Metanol** o Alcohol metílico, de madera. de fórmula CH_3OH Se obtiene industrialmente en los procesos petroquímicos.

Antes se preparaba por destilación destructiva de la madera, pero hoy en día casi todo el metanol producido es de origen sintético, elaborado a partir de hidrógeno y monóxido de carbono

Se emplea para incrementar el octano de la gasolina en ciertas proporciones aunque también se puede emplear puro sustituyendo la gasolina.

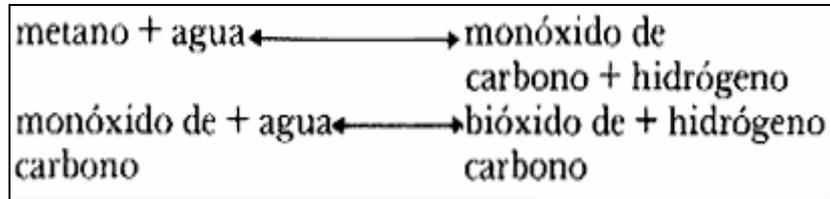
Al ser ingerido en forma líquida o inhalada en vapor, el metanol puede resultar peligroso. Tiene un punto de fusión de $-97,8\text{ }^\circ\text{C}$ y un punto de ebullición de $64,7\text{ }^\circ\text{C}$. Su densidad relativa es de 0,7915 a $20\text{ }^\circ\text{C}$.

El metano (CH_4) es el hidrocarburo parafínico que contiene más átomos de hidrógeno por átomo de carbono.

Esta propiedad se aprovecha para obtener el hidrógeno necesario en la fabricación de metanol ($\text{CH}_3 - \text{OH}$).

El hidrógeno se obtiene catalíticamente, quemando parcialmente el metano en presencia de oxígeno y de vapor de agua, con lo cual se forma una mezcla llamada gas de síntesis compuesta principalmente por monóxido de carbono (CO), bióxido de carbono (CO_2) e hidrógeno (H_2).

Las principales reacciones que intervienen son las siguientes:

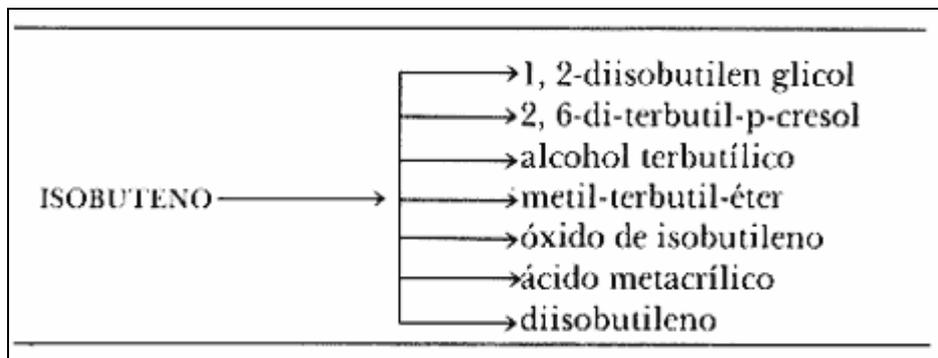


La figura 2.1 nos describe el diagrama del proceso para producir gas de síntesis.

- **Isobuteno.** Producto petroquímico obtenido en las refinerías.

El isobuteno se puede obtener en los gases de las desintegradoras por isomerización de los n- butenos y por Deshidrogenación del isobutano.

Las principales aplicaciones del isobuteno son las siguientes.



Haciendo reaccionar el isobuteno con el isobutano, nos da el 2, 2, 4 trimetilpentano o isooctano, que es un hidrocarburo altamente ramificado que se usa como referencia en la determinación del octanaje de las gasolinas.

La principal reduce la producción de Metil-terbutil-éter. Esto se logra haciéndolo reaccionar con metanol.

Este derivado del isobuteno es de gran importancia pues tiene un índice de octano de 115, por lo que se usa mezclado con el secbutanol para subir el octanaje de las gasolinas sin plomo.

El isobuteno imparte a las mezclas es la de reducir el consumo de combustible y las emisiones de monóxido de carbono sin tener que modificar el sistema de combustible.

2.1 PROCESO DE OBTENCIÓN DEL METIL TER-BUTIL ÉTER (MTBE)

La producción tanto de MTBE como de alquilado, que son componentes de la gasolina reformulada, está limitada por la disponibilidad de olefinas, materias primas para su producción.

Es necesario aumentar la producción de olefinas, mediante nuevos catalizadores y mejoras en el diseño de algunos componentes internos de los equipos de las plantas, como son las boquillas de inyección de carga y la búsqueda de condiciones de operación que orienten el proceso a maximizar la producción de olefinas.

Para aumentar la producción de alquilado, también es necesario incorporar tecnologías de proceso para la isomerización de isobutano, materia prima para su producción.

El proceso utilizado en algunas empresas es mediante la Isomerización que es una fuente alterna para incrementar el octanaje en la gasolina. En la figura 2.1 se da los objetivos que tiene el proceso.

La reacción para el caso de la transformación del butano normal en isobutano fue descubierta por Herman Pines y Vladimir Ipatieff.

Este, inventor de este proceso catalítico para la transformación de hidrocarburos

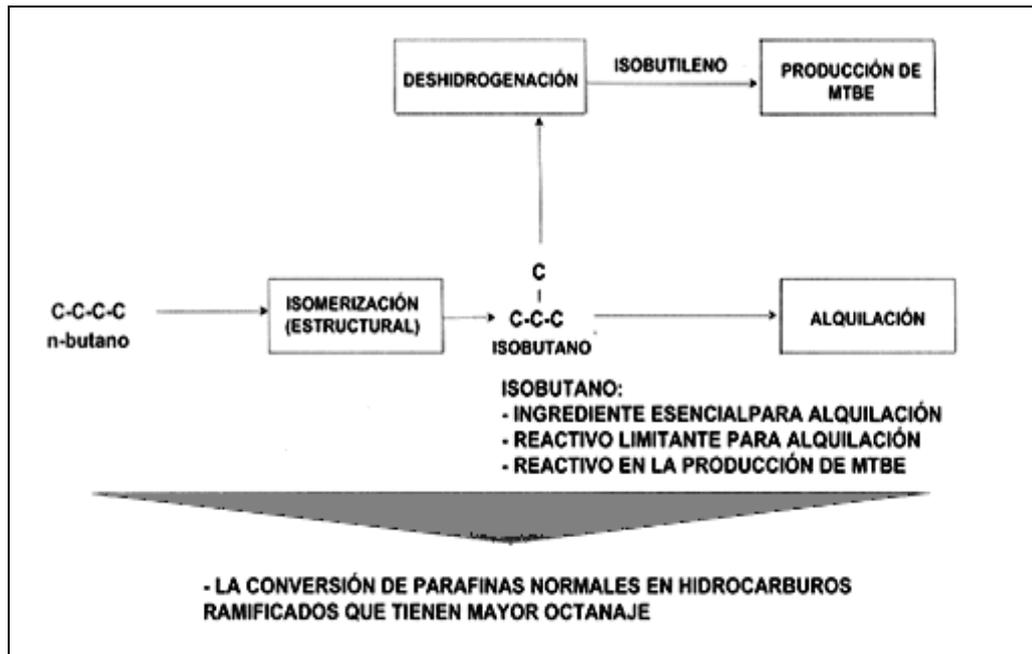


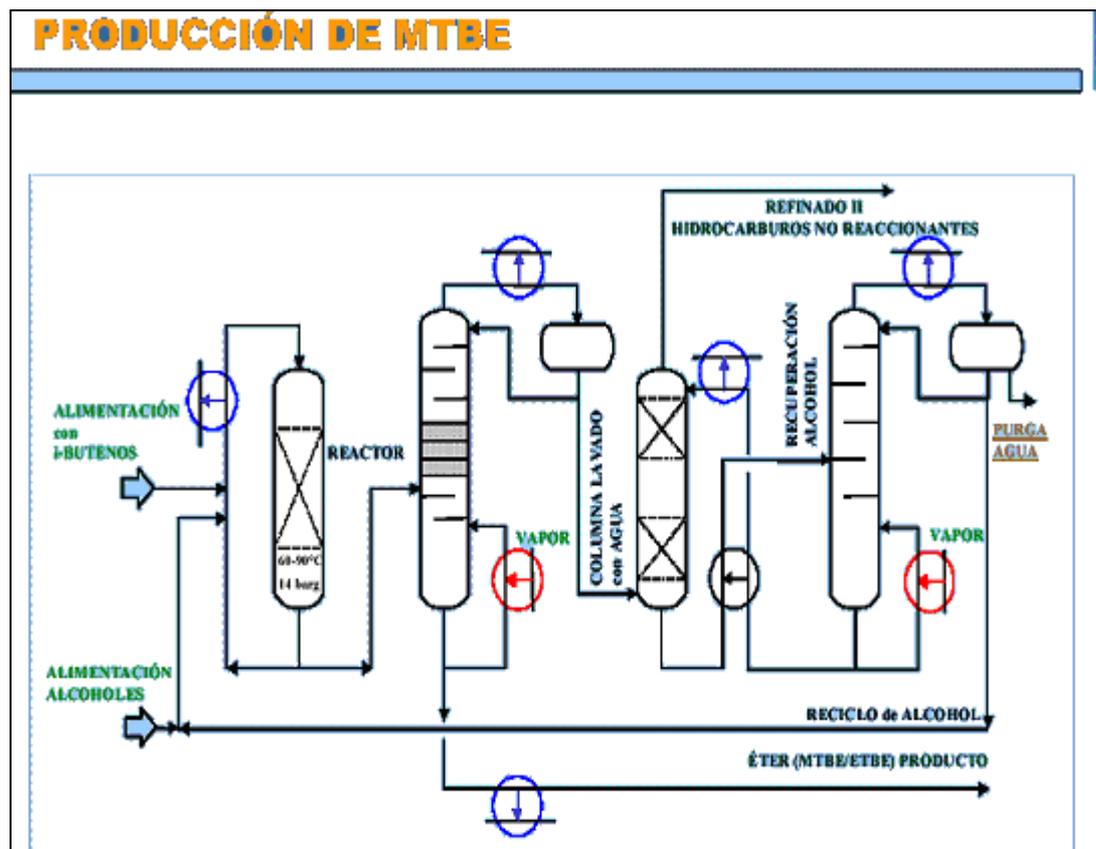
Figura 2.1. Objetivos del proceso de isomerización.

El Metil Terbutil Éter es producido por una reacción catalítica del isobutano con el metanol, el número de Octano Research de mezcla puede dar un rango de 115-135, dependiendo de las características del stock base y de la concentración del MTBE, y este es extremadamente independiente del contenido de plomo.

Recientes restricciones gubernamentales del contenido de plomo en una gasolina de motor, en países desarrollados, y la necesidad de producir cantidades siempre crecientes de gasolina completamente libres de plomo, a resultado extensamente interesante del uso de MTBE para mantener o incrementar los valores de octano.

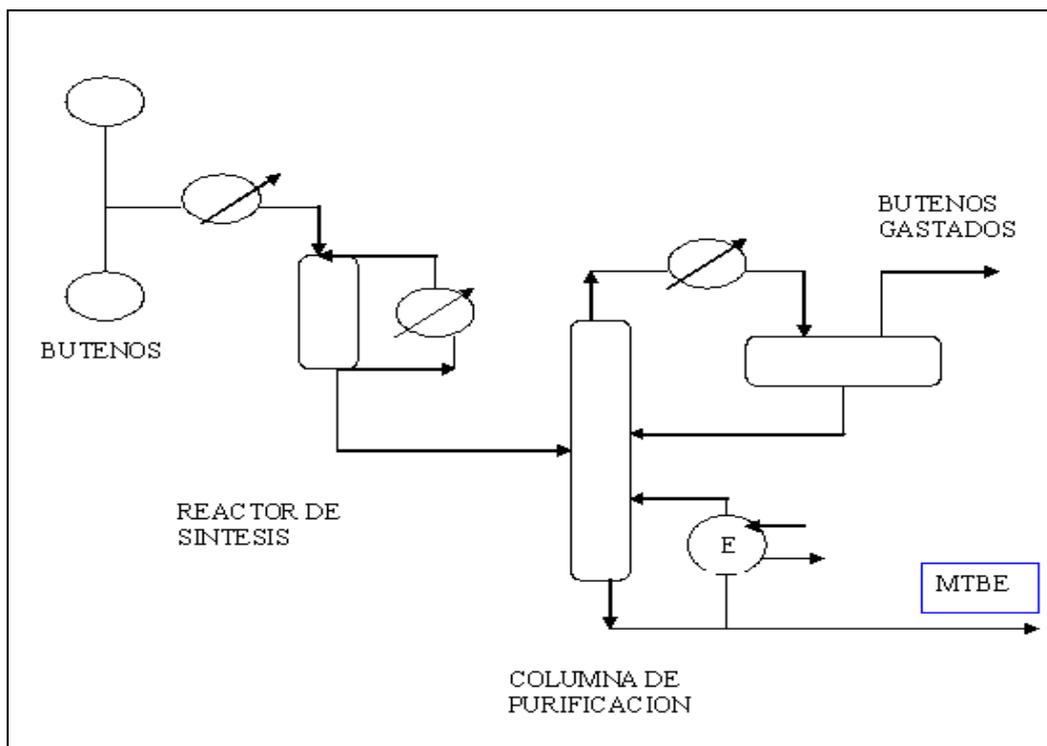
Pero también ya están buscando nuevas alternativas para mejorar la calidad de las gasolinas o ya sea sustituirlas.

Descripción del proceso para obtención del MTBE



Cuatro compañías (Huls, Snamprogetti, Arco y Sun) han desarrollado procesos de producción de MTBE y están ofreciendo sus patentes; siendo todos estos procesos similares en conceptos generales.

A continuación mostramos un esquema simplificado de obtención de MTBE y su descripción.



El isobuteno y el Metanol son alimentados juntos al reactor, donde ocurre la esterificación el efluente de reactor, conteniendo el MTBE formado, el isobuteno y el metanol no reaccionados, los inertes y los subproductos, son encaminados a la columna desbutanizadora, de modo que se purifique el MTBE. Producido, cuya especificación se presenta en la siguiente tabla.

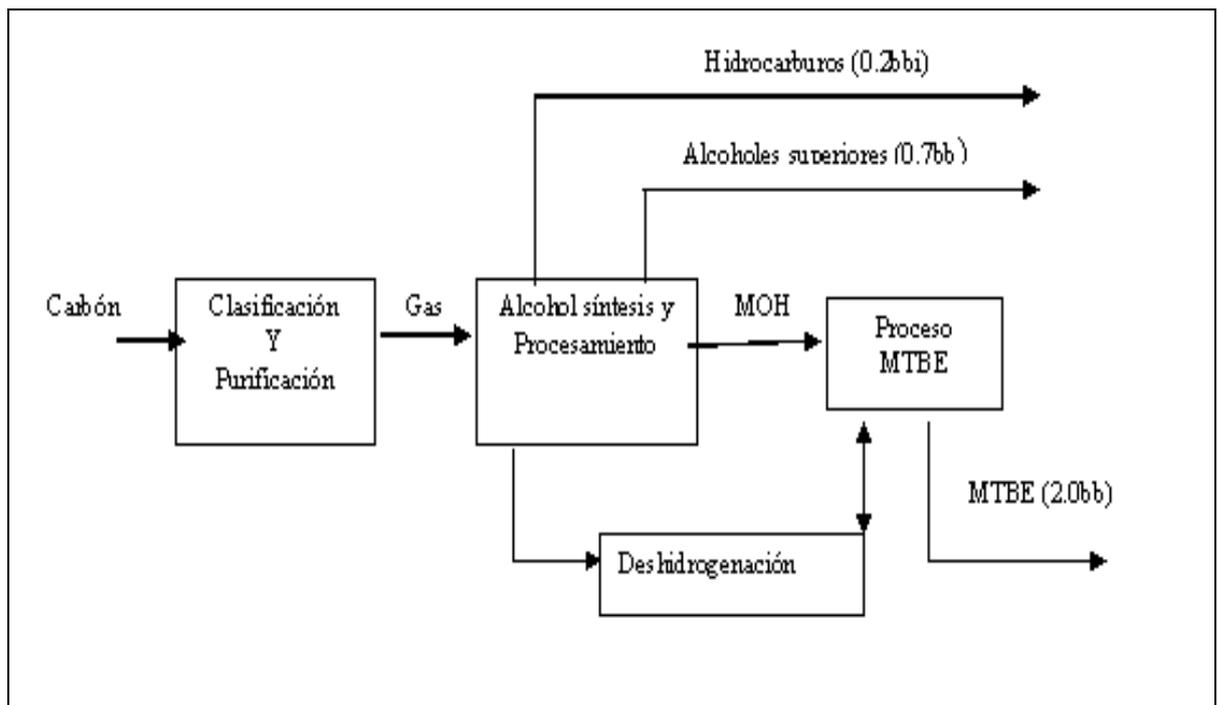
ESPECIFICACIONES DEL MTBE PRODUCIDO

COMPONENTES		VALOR
MTBE	% Peso	99.00 min
C4 S	% Peso	0.1 max
Metanol	% Peso	0.5 max
TBA	% Peso	0.5 max
DIB	% Peso	0.5 max
Agua ppm		100.0 max
Densidad (60°F)		0.745 min

El MTBE en especificación es retirado por el fondo de la columna, precalienta la carga de esta, luego es enfriado con agua de refrigeración y enviado a almacenamiento.

El producto de tope de la columna conteniendo los hidrocarburos inertes, el isobuteno y el metanol no reaccionados, dependiendo de la especificación requerida de metanol, en esta corriente de refinado a una sección de recuperación del metanol.

Por consideración de inertes a continuación presentamos un diagrama de bloques para obtención del MTBE. Teniendo como alimentación gas de síntesis de carbón con su respectivo rendimiento



2.2 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL METIL TER-BUTIL ÉTER (MTBE).

Propiedad	Valor o información
Nombre químico	Metil tertiary butyl ether

Sinónimos	Metyl tertiary-butyl ether Metyl ter-butyl ether Tertiary-butyl metyl ether 2-methoxy-2methylpropane methyl t-butyl ether; Mtbe;MTBE
Fórmula química	$C_5H_{12}O$ o $(CH_3)_3C(OCH_3)$
Estructura química	$ \begin{array}{c} CH_3 \\ | \\ CH_3 - C - O - CH_3 \\ | \\ CH_3 \end{array} $
Peso molecular	88.15 g/ mol
Color	Descolorido
Olor	0.32 – 0.47 mg / m ³
Estado físico	Liquido
Punto de congelación	-109 °C
Punto de ebullición	53.6 – 52.2 °C
Solubilidad en el agua	4.8g/100g de agua
A 20 °C	4-5 %
A 25 °C	51 g/L de agua
Densidad	20/4, 0.7404 g/ml
Densidad vapor (air = 1)	3.1
Valor de presión	
A 25 °C	245 – 251 mm Hg
Temperatura de inyección	224°C
Punto de llama	-28 °C 28°C (closed cup)
Limites de explosión	1.65 o 8.4 % de aire

Calor de combustión	101.000 Btu / gal a 25°C
p.p.m (v/v) o mg/m ³ El aire a 25 °C	1ppm= 3.61 mg/m ³
mg/ m ³ o ppm (v/v)El aire a 25 °C	1mg/m ³ =0.28 ppm

2.3 CARACTERÍSTICAS QUE DEBE POSEER COMO ADITIVO EL MTBE

Para que trabaje y sea usado con eficiencia debe poseer las siguientes características:

- Solubilidad

Alta solubilidad es conveniente y esta propiedad deberá mantener a través del rango de temperatura de uso de la gasolina; deberá ocurrir para facilitar el proceso de difusión y mezclado, que no exija la utilización de medios mecánicos dificultosos, para la preparación de productos finales.

En este caso el MTBE como antidetonante, la solubilidad es deseable en todo hidrocarburos que compone la gasolina, para tratar de minimizar la tendencia a separarse el carburo o en conductos del sistema de admisión.

- Estabilidad

Es necesario que los aditivos de gasolina, posean un considerable grado de estabilidad en mezcla, en almacenamiento y uso, deberá resistir hidrólisis, oxidaciones, gran estabilidad térmica contra la descomposición y resistir a reacciones químicas indeseables a elevadas temperaturas.

Que no sea estable significa pérdidas en la eficiencia, además, dependiendo de la estructura del aditivo, puede dar lugar a la formación de cantidades excesivas de sedimentos, cuando están en forma concentrada.

- Volatilidad

La volatilidad del aditivo de gasolina, debe ser relativamente alta, para minimizar retrasos en la distribución en el motor y facilitar un buen reparto de cilindro a cilindro, pero un exceso ocasionará pérdidas por revaporización, disminuyendo la concentración y eficiencia del aditivo; pero también es necesario que cumpla límites mínimos de volatilidad, para evitar la formación de depósitos,

- Compatibilidad

Generalmente, en una gasolina para ser usada en motores se añade el aditivo; por lo tanto, es necesario que sea compatible entre sí, considerando como tales, si ellos no dan visible evidencia de reaccionar, tal como ocasionar cambio de color en el producto final o ser insoluble completamente y cuando no inhiben la característica de algún otro tipo de aditivo.

- Eficiencia

Un aditivo tiene que mostrar un alto grado de eficiencia en varios tipos de gasolina u desarrollar su función a mínimas concentraciones, pues su costo será menor por cantidad de gasolina empleada.

Además, su eficiencia debe ser amplia y elevada, que nos permita usarlo en varios tipos de motores y operando bajo diferentes condiciones de prueba.

- Toxicidad

Los aditivos de gasolina, deben ser cuidadosamente investigados, antes de ser utilizados, de tal manera que no afecten desde el punto de vista de la salud pública y medio ambiente.

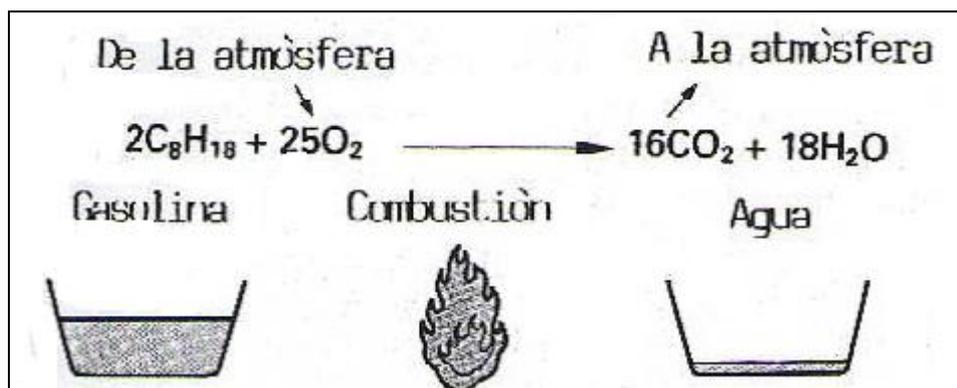
CAPITULO III

3.1 OXIGENACIÓN DE LA GASOLINA.

El estado de combustión describe un proceso químico, en el cual un combustible se oxida por medio de un agente comburente, produciendo un incremento notable de luz y calor.

Cuando la gasolina se quema se combina (reacciona) con el oxígeno en el aire para formar dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O).

Esta reacción de oxidación puede ser expresada de la siguiente manera:



La combustión es un claro proceso de transformación de energía química en calor. La figura 3.1 muestra el esquema conceptual de la combustión.

Como podemos ver, el proceso de combustión consiste en la oxidación de los constituyentes del combustible, donde el comburente es el agente oxidante. Este es por excelencia el oxígeno. Por lo anterior, para lograr la combustión es necesario contar con los siguientes elementos:

1. Combustible
2. Comburente (O_2 del Aire)
3. Calor

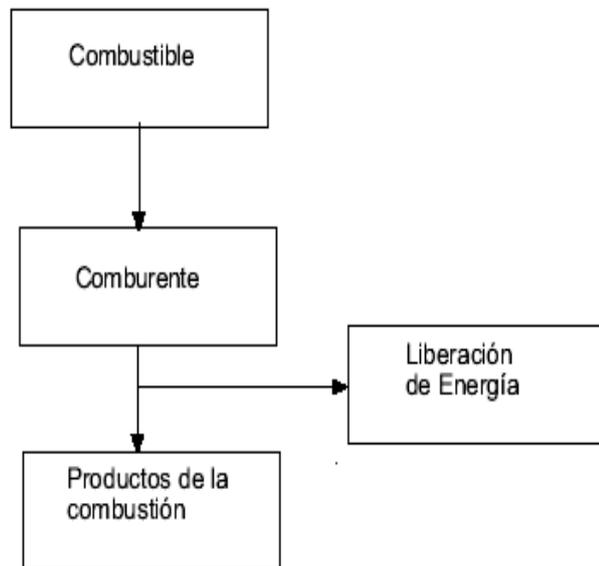
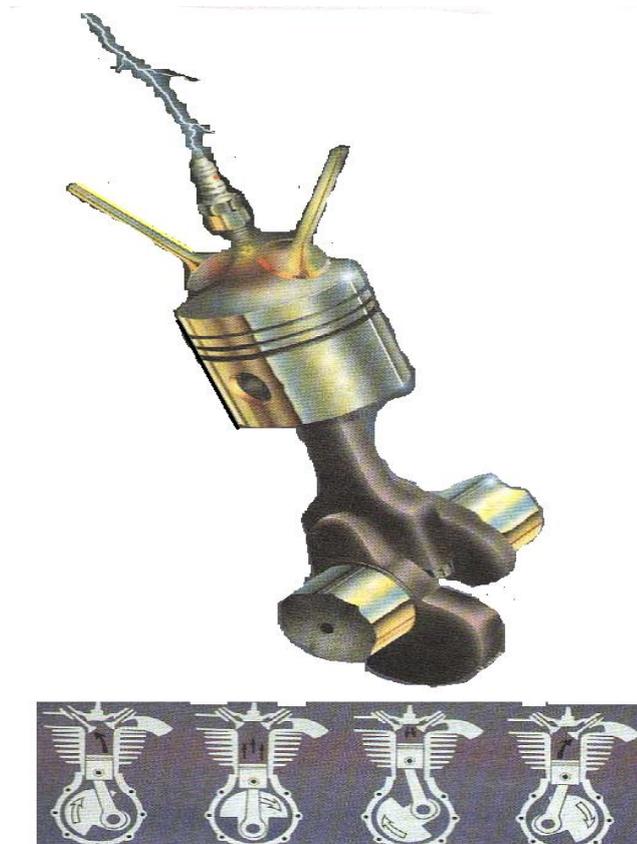


Figura 3.1 Esquema conceptual de la combustión

3.2 EFECTOS DE LOS CONTAMINANTES DE LA COMBUSTIÓN INCOMPLETA:



3.2.1 Mezclas Ricas

Se considera mezcla rica aquella relación inferior a la estequiométrica. El grado óptimo oscila entre 12 a 15 partes de aire por 1 de gasolina, dentro de esta gama se producen las p.m.e más elevadas según el régimen de revoluciones a las que se halla sometido el motor. Si la mezcla queda por debajo de estos límites la falta de oxígeno hace que la velocidad de combustión disminuya hasta el extremo de hacerse tan lenta como en el caso de la mezcla pobre. Además se añaden otros males muy importantes como el mayor consumo de combustible, calentamientos considerables, y depósitos de la mezcla no quemadas en el cilindro.

Para arrancar un motor frío, es necesaria una mezcla rica significa que la mezcla tiene un porcentaje relativamente elevado de combustible aproximadamente 9:1. Durante la marcha en vacío, la mezcla se va empobreciendo hasta 12:1. A velocidad media se sigue empobreciendo aún más, hasta aproximadamente 15:1.

Si el conductor pisa el pedal “para acelerar” la válvula correspondiente se abre y el motor empieza absorber aire adicional. Debe suministrarse combustible para enriquecer temporalmente la mezcla (según se muestra en las líneas punteadas de la figura 3.2), si no, el motor se parara.

La mezcla también se enriquece con el acelerador totalmente abierto

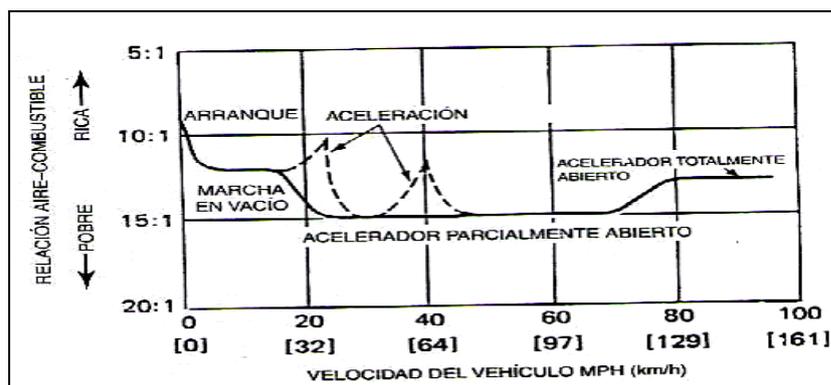


Figura 3.2. Relaciones aire – combustible, típicas requeridas por un motor bajo distintas condiciones de operación

Las mezclas ricas son indispensables para el motor de explosión en los siguientes casos:

- Al arrancar el motor
- Al acelerar
- Al pedir al motor la máxima potencia.

Además las mezclas ricas son frescas y contribuyen a un mejor funcionamiento de las válvulas ya que evitan su quemado prematuro, además tiene una combustión más rápida. Pero tienen el inconveniente, al margen del mayor consumo, de ser tanto más contaminantes cuando mayor sea su riqueza.

3.2.2 Mezclas pobres

Se considera mezcla pobre aquella cuya relación supera las 15 partes de aire por una de gasolina, siendo tanto más pobre cuanto mayormente aumenta esta proporción. Estas mezclas se caracterizan por la lentitud de combustión. El exceso de oxígeno y a falta de carburante atomizado hacen que la p.m.e sobre émbolo decaiga y consecuentemente la potencia del motor; además la lentitud de la combustión en las mezclas pobres es tal que si el grado de pobreza es elevado puede seguirse produciendo la combustión cuando el émbolo inicia su carrera de aspiración lo que ocasiona transporte de llama al carburador y se produce explosiones peligrosas. Otro defecto que no se puede olvidar es el calentamiento excesivo del motor. La ventaja principal de la mezcla pobre es la economía de combustible.

En resumen a máxima potencia obtenible en un motor corresponde a una relación ligeramente rica (12.5:1, aproximadamente) mientras que para el mejor rendimiento corresponde a una relación ligeramente pobre (16:1, aproximadamente). Ver figura 3.3

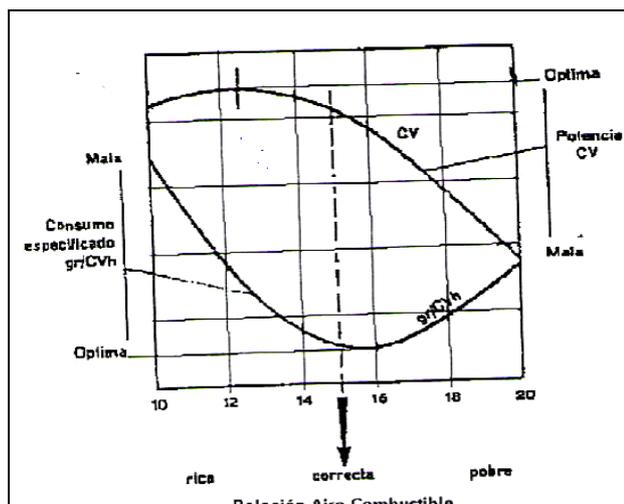


Figura 3.3. Influencia de la relación de mezcla sobre las prestaciones del motor. Es importante tener en cuenta que en un motor en condiciones normales puede moverse entre ambos estados de mezcla (rica y pobre), pero respondiendo siempre a un estado propio de funcionamiento.

Las mezclas pobres son deseables cuando:

- El motor se mantiene a velocidad estable.
- Cuando se desacelera y / o se frena
- Cuando se trata de consumir lo menos posible.

3.2.3 Relación estequiométrica.

La relación ideal es la denominada *relación estequiométrica*. Para gasolina es de 14.7:1 (figura 3.4). Es ideal porque es la reacción correcta de oxígeno en el aire e hidrocarburos en el combustible para producir la combustión completa o la más completa posible del combustible.

La relación aire combustible se puede mantener con el acelerador parcial, ya que, esta usualmente es la condición bajo la cual opera el motor del automóvil.

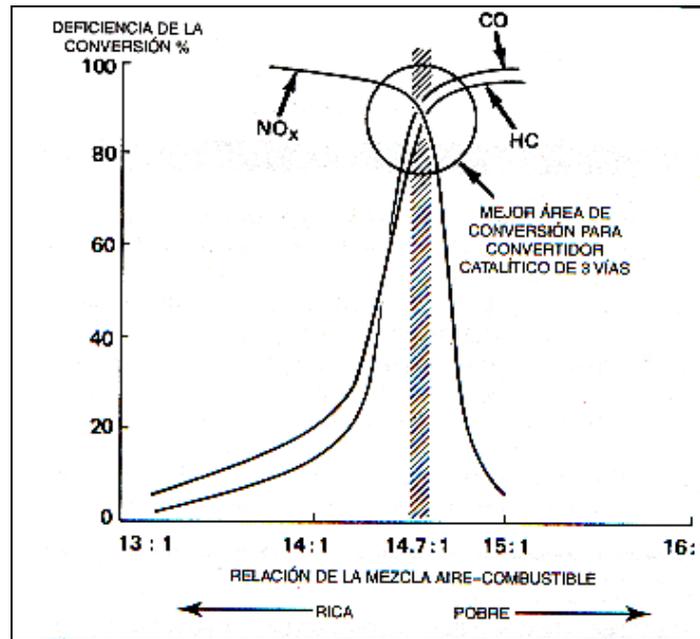
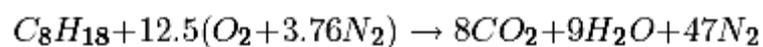


Figura 3.4. Relación de la mezcla dentro de la cual se conserva la relación estequiométrica

La relación aire/combustible se puede determinar mediante la ecuación química de reacción.

Como ejemplo, determinemos la relación para el octano:



La relación aire/combustible se calcula mediante el siguiente cálculo:

$$r_{a/c} = \frac{12.5 \times (1 + 3.76)}{1} = 59.5 \frac{\text{mol aire}}{\text{mol comb}}$$

O en términos de masa:

$$r_{a/c} = \frac{28.97 \times 12.5 \times 4.76}{114} = 15.12 \frac{\text{Kga}}{\text{Kgcomb}}$$

Para demostrar la importancia que tiene la relación aire/combustible, el poder calorífico y otros parámetros mencionados en el artículo, en el par y la potencia entregada por un motor de combustión interna, se presenta el siguiente desarrollo:

La eficiencia térmica de un motor de combustión interna se define como:

$$\eta_t = \frac{\dot{W}}{Q_s} \quad (1)$$

Donde:

\dot{W} representa la potencia entregada.

Q_s la potencia calorífica suministrada.

Si la potencia empleada es la potencia al freno, se hablara de una eficiencia térmica al freno, si la potencia utilizada es la potencia interna o indicada, se hablara de una eficiencia térmica indicada, finalmente si la potencia utilizada es la teórica se hablara de una eficiencia térmica teórica.

Utilizando la definición de eficiencia térmica al freno (ec. 1), obtenemos el siguiente desarrollo:

$$\dot{W}_b = \eta_{tb} Q_s \quad \text{donde:} \quad (2)$$

$$Q_s = \dot{m}_c PC \quad (3)$$

\dot{W}_b Representa la potencia al freno,
PC El poder calorífico del combustible

\dot{m}_c El gasto másico del mismo.

Combinando las ecuaciones (2) y (3) obtenemos la siguiente expresión:

$$\dot{W}_b = \eta_{tb} \dot{m}_c PC \quad (4)$$

Por otro lado, la relación aire/combustible se puede expresar de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \frac{c}{a} &= \frac{\dot{m}_c}{\dot{m}_a} \text{ de aquí se obtiene:} \\ \dot{m}_c &= \frac{c}{a} \dot{m}_a \end{aligned} \quad (5)$$

\dot{m}_a Es el gasto másico de aire.

Sustituyendo la expresión anterior en la ecuación (4) obtenemos:

$$\dot{W}_b = \eta_{tb} \frac{c}{a} \dot{m}_a PC \quad (6)$$

Para continuar, requerimos definir a la eficiencia volumétrica del motor:

$$\eta_v = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_{vd}} \quad (7)$$

Esta eficiencia nos indica la relación entre la masa admitida de aire y la masa de aire que se ocuparía a una presión y temperatura de referencia.

Utilizando este parámetro, la potencia a freno se expresa como:

$$\dot{W}_b = \eta_{tb} \frac{c}{a} \dot{m}_{vd} PC \eta_v \quad (8)$$

Empleando la ecuación del gas ideal, obtenemos las siguientes relaciones:

$$\begin{aligned}
P\dot{V}_d &= \dot{m}_{vd}RT \\
\dot{m}_{vd} &= \frac{P\dot{V}_d}{RT} \\
\dot{m}_{vd} &= \rho_{ref}\dot{V}_d \quad (9)
\end{aligned}$$

Sustituyendo esta expresión en la ecuación (8) obtenemos:

$$\dot{W}_b = \eta_{tb}\eta_v \frac{c}{\alpha} \rho_{ref} \dot{V}_d PC \quad (10)$$

Para el motor de cuatro tiempos la relación entre su desplazamiento (volumen desplazado por unidad de tiempo) y el volumen desplazado se determina mediante la siguiente función:

$$\dot{V}_d = V_d \frac{N}{2} \quad (11)$$

Donde N representa el régimen de giro, es decir, las revoluciones por minuto a las que gira el motor. Sustituyendo la ecuación (11) en la ecuación (10) obtenemos la ecuación de los siete parámetros:

$$\dot{W}_b = \eta_{tb}\eta_v \frac{c}{\alpha} \rho_{ref} V_d \frac{N}{2} PC \quad (12)$$

Para obtener una expresión que relacione el par entregado por el motor con los parámetros anteriores, utilizamos la siguiente expresión:

$$\dot{W} = \tau \omega$$

$$\dot{W} = \tau 2\pi N$$

Donde:

τ representa al par

ω la velocidad angular

\dot{W} la potencia.

Sustituyendo en la ecuación (12) obtenemos:

$$\tau_b = \frac{\eta_{tb}\eta_v \frac{c}{a} \rho_{ref} V_d P C}{4\pi} \quad (13)$$

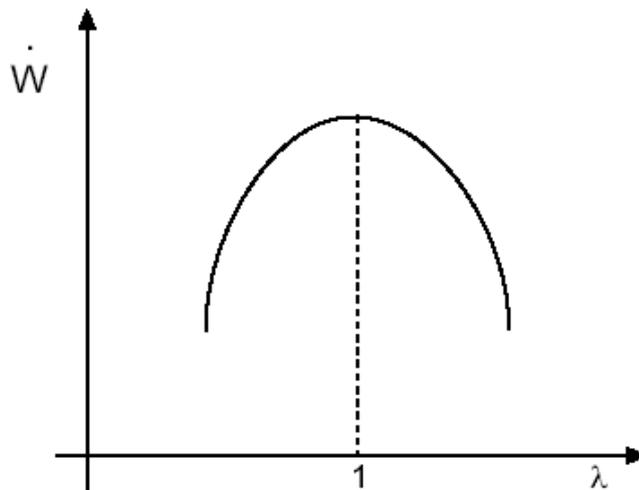


Figura 3.5. Potencia entregada en función de la relación estequiométrica

Como podemos observar la relación aire/combustible cumple un papel fundamental en la potencia y el par entregado por un motor.

Para continuar, definamos la siguiente relación de equivalencia:

$$\lambda = \frac{(c/a)}{(c/a)_s}$$

Donde el denominador representa la relación combustible/aire estequiométrica. De lo anterior, se obtienen las siguientes condiciones:

Si $\lambda < 1$ Se trata de una mezcla pobre

$\lambda > 1$ Se trata de una mezcla rica

$\lambda = 1$ Se trata de una mezcla estequiométrica

Podríamos pensar, que la relación combustible/aire se podría variar de forma que se obtenga la máxima potencia. La figura 3.5 muestra que la potencia presenta un valor máximo para la mezcla estequiométrica ($\lambda = 1$).

Por otro lado, la curva de emisiones se comporta como lo muestra la figura 3.6. El motor, entrega su par máximo aproximadamente a $\lambda = 0.9$, por lo cual se acostumbra fijar a ese valor la mezcla para plena carga.

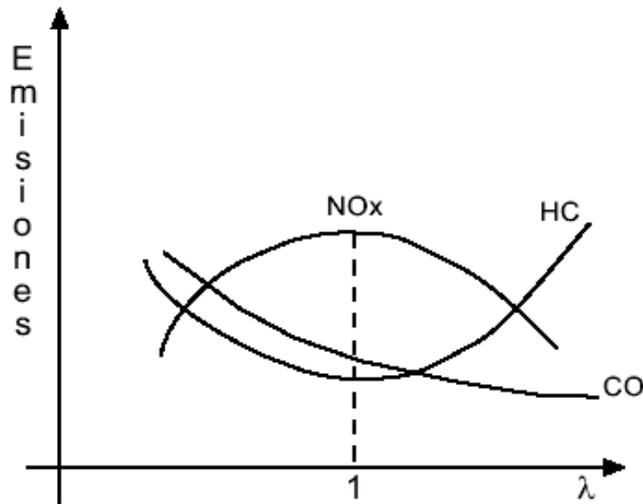


Figura 3.6. Emisiones en función de la relación estequiométrica

Para un consumo más favorable de combustible, el valor $\lambda = 1.1$ es aproximadamente el óptimo. Fijándolo así, las emisiones de CO y HC siguen siendo favorables; no obstante, es máxima la emisión de óxidos de nitrógeno.

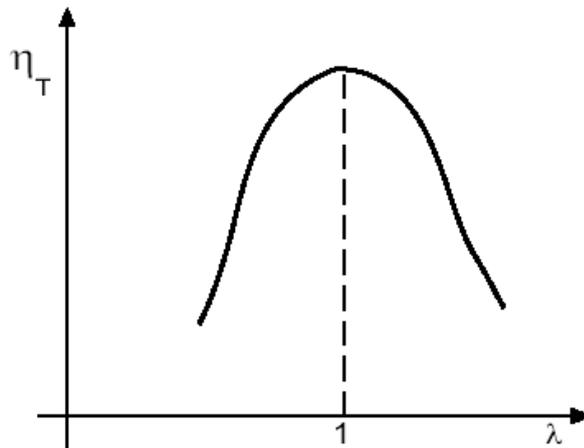


Figura. 3.7. Eficiencia térmica en función de la relación de equivalencia

La eficiencia térmica se comporta como lo muestra la figura 3.7. Donde el valor máximo se obtiene alrededor de $\lambda = 1$.

Por otro lado, el poder calorífico es proporcional a la potencia y al par, por lo tanto, entre mayor sea este, mayor potencia y par se generaran.

Se muestra que los valores máximos de poderes caloríficos se encuentran comprendidos entre los 40 y 45 KJ/g. Mientras no se desarrollen nuevos combustibles con poderes caloríficos mayores, será difícil incrementar la potencia mediante la manipulación de esta variable.

La densidad del aire, también se presenta de forma proporcional en el par entregado por un motor y es una variable que puede ser manipulada para incrementar su magnitud. Una forma de incrementarla es comprimiendo el aire.

Por ello, se utilizan los turbo cargadores, que son el conjunto de una turbina y un compresor.

La turbina es accionada por los gases de escape del motor y transmite el movimiento al compresor. Otra forma de modificar la densidad de un fluido es mediante enfriamiento, a menor temperatura mayor densidad, de aquí que se utilice un interenfriador o intercooled.

En un análisis termodinámico del ciclo de aire normal de un motor a gasolina, se demuestra que la eficiencia térmica del ciclo se determina por:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{r_c^{k-1}}$$

Donde r_c representa la relación de compresión y se define como:

$$r_c = \frac{\text{volumen de mezcla en el PMI}}{\text{volumen de mezcla en el PMS}}$$

Y k el índice politrópico. A mayor relación de compresión, mayor eficiencia térmica (ver figura.3.8). De aquí intuimos que el octanaje del combustible influye de manera importante en la potencia y el par que entrega el motor.

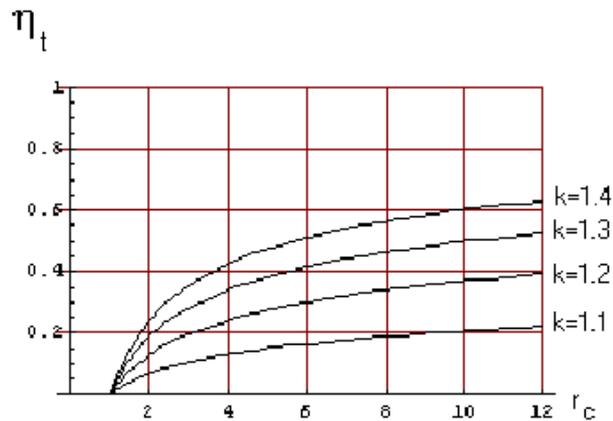
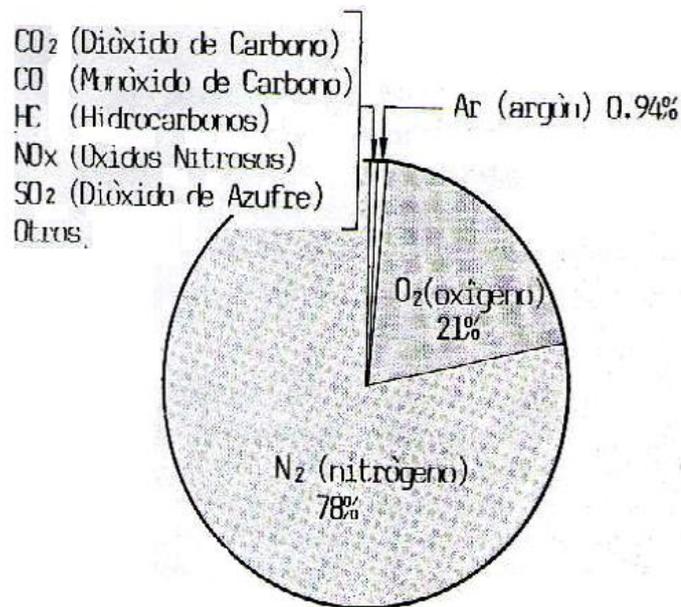


Figura 3.8. Eficiencia térmica del ciclo de aire normal en función de la relación de compresión

3.2.3 Contaminación atmosférica:



Los motores de combustión interna a gasolina son generadores principales de monóxido de carbono (CO), Óxidos de nitrógeno (NO_x), y compuestos orgánicos volátiles (HC) en el mundo. A continuación de manera general se discutirá cada uno de los principales contaminantes atmosféricos que resultan del uso de la gasolina.

➤ DIÓXIDO DE CARBONO (CO_2)

El dióxido de carbono aparece siempre en los productos de la combustión ya que es un gas producto de la combustión completa. Esta sustancia aunque no es nociva, cuando se acumula en la atmósfera es la mayor responsable del efecto invernadero.

➤ MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

Este gas es muy nocivo para la salud del hombre, se encuentra presente en los productos de la combustión, bien sea por disociación o por una combustión

incompleta. Este gas es incoloro, insaboro y más ligero que el aire, penetra fácilmente en los ambientes.

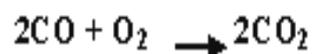
El monóxido de carbono es nocivo por su afinidad con la hemoglobina de la sangre, la cual se encarga de oxigenar al torrente sanguíneo.

Esta es la razón por la cual el CO es fácilmente absorbible por la sangre. Según experimentos llevados a cabo con el cuerpo humano, se ha podido establecer que una persona que se halla sometida a una atmósfera con una concentración de 80 ppm de CO, durante 8 horas, sufre una atrofia de un 15% de la capacidad de absorber oxígeno por parte de la hemoglobina de la sangre.

El gas CO es producido por una combustión incompleta de combustible debido a un insuficiente suministro de oxígeno a la cámara de combustión (por ejemplo, por una mezcla sobre-enriquecida) Teóricamente, el CO no se debería producir si hay más oxígeno que el necesario por la reelección aire - combustible teórica

(Por ejemplo, si la mezcla es empobrecida), pero en la actualidad, CO es producido en este caso también. Existen tres razones para esto:

1. El CO es convertido en CO₂ por mayor oxidación.



Pero esta reacción, es comparativamente lenta y no puede convertir todo el CO restante en CO₂. Por esta razón el CO es producido cuando la mezcla aire – combustible es pobre.

2. Lo combustión dispereja de lo mezcla aire - combustible ocurre debido a la distribución dispereja de combustible en la cámara de combustión

2. Las temperaturas alrededor de las paredes del cilindro son bajas, llevando a la “extinción”, lo que significa que la temperatura es muy baja para que ocurra la combustión, de manera que las llamas, no pueden llegar a estas áreas del cilindro

Zonas de Extinción

La llama después de ser encendida por la bujía, se expande hacia afuera (propagada) a través de la cámara de combustión, hasta que se acerca a las paredes del cilindro, la superficie inferior de la culata del cilindro, la superficie inferior de cada válvula y la superficie superior de cada pistón.

La temperatura de la llama desciende de repente tan bajo en estas áreas o zonas que la llama se apaga se disipa debido a la dispersión de calor antes de que pueda alcanzar la pared. Estas áreas se llaman por eso ‘zonas de extinción’

El combustible que no se combustiona en estas zonas de extinción, es expulsado del cilindro como cuando el pistón sube durante el ciclo de escape. Ver en la figura 3.9

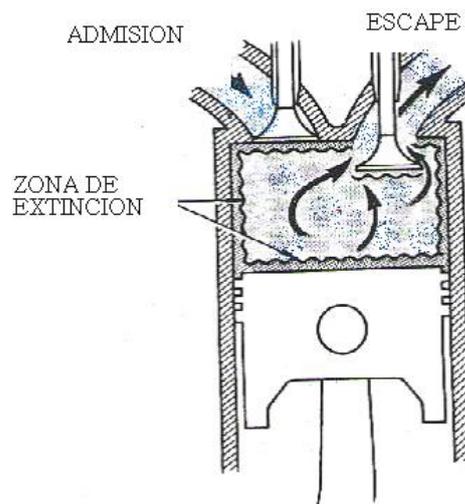


Figura 3.9 zona de extinción

La concentración de CO en el escape es generalmente determinada por la relación aire – combustible y variará con los cambios en dicha proporción. Esto se muestra en la figura 3.10, que muestra como la concentración de CO en los gases de escape en un motor de gasolina disminuye a medida que la relación aire – combustible aumenta (por ejemplo, a medida que la mezcla se vuelve más pobre).

Este gráfico aclara que la mejor manera de bajar la concentración de CO en el escape es favorecer la combustión completa haciendo la relación aire – combustible lo más alta (pobre) que se pueda.

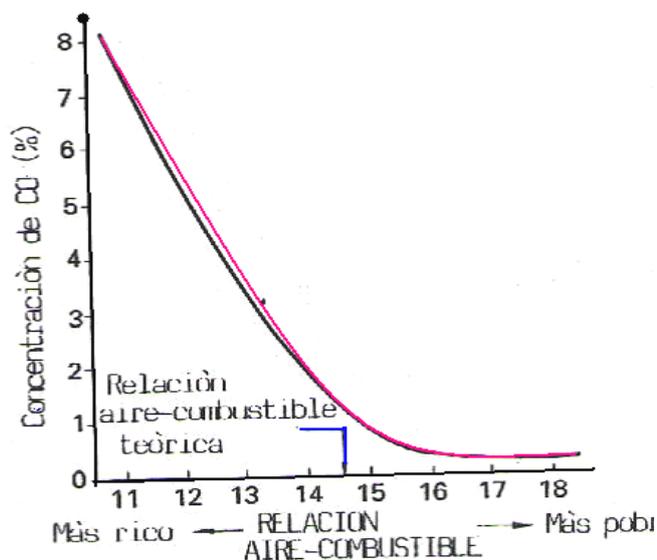


Figura 3.10 Relación entre proporción aire –combustible y concentración de gas CO en el escape

➤ HIDROCARBUROS NO QUEMADOS (HC)

Este tipo de contaminantes son producidos por la evaporación de la gasolina y por la combustión parcial de dicho combustible. Se cree que son los responsables de afecciones cancerígenas. Afortunadamente, las cantidades de este químico en los productos de la combustión son despreciables.

Los vapores de la gasolina pueden emanar de la ventilación del ducto de entrada al tanque de la gasolina, o bien del carburador y representan 20% de los contaminantes que arroja un vehículo. Otro 20% proviene del cárter y lo constituyen hidrocarburos con poco CO y pequeñas cantidades de NOx.

Cuando el vapor de gasolina es calentado a altas temperaturas, se oxida muy rápidamente, pero resulta una combustión incompleta y a veces no ocurre combustión, y la gasolina no combustiona deja la cámara de combustión y llega a la atmósfera en la forma de gas HC crudo.

Como el CO, si la gasolina fuera completamente quemada en la cámara de combustión, el gas HC no sería emitido en el escape, pero en la actualidad el HC siempre se produce en este caso también. Ver la figura 3.11

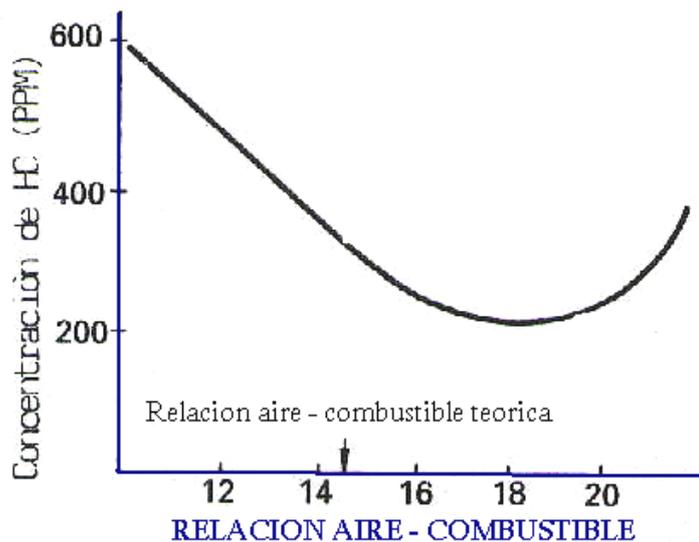


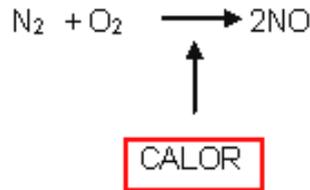
Figura 3.11 relación entre proporción aire – combustible y la concentración de gas CO en el escape.

➤ ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NOx)

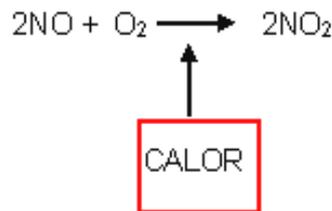
Los óxidos de nitrógeno, NOx, son gases resultantes de la reacción del oxígeno y el nitrógeno del aire, no son producto de la combustión; se forman cuando la presión y la temperatura son muy altas.

Controlar las emisiones de NOx es difícil y el único método es reducir la compresión y temperatura de combustión.

Estos óxidos, conjuntamente con los HC, reaccionan con la luz del sol para formar el smog fotoquímico, reduciendo de una manera significativa la visibilidad. Los óxidos de nitrógeno son muy irritantes a la vista y a la garganta. El 95% NO_x, encontrando en el gas de escape es oxido nítrico (NO), que se forman en la cámara de combustión de acuerdo con la siguiente ecuación:



El oxido nítrico se combina con el oxígeno en la atmósfera para formar dióxido de nitrógeno (NO₂):



Sin embargo, que como el nitrógeno molecular (N₂), que es el 80 % de la atmósfera, es estable en condiciones normales, a alta temperatura (sobre los 1800 °C o 3300 °F) y a alta concentración de oxígeno hace que el nitrógeno reacciona con el oxígeno en primer lugar para formar el NO.

También ocurre que el NO_x se forma durante una combustión completa, en vez de una combustión incompleta como en los casos de HC y CO, porque solo así la temperatura es suficientemente alta para soportar la reacción química en que forma.

Si la temperatura no pasa los 1800 °C (3300°F) el N₂ Y O₂ escapan como están del sistema de escape sin combinarse para formar NO.

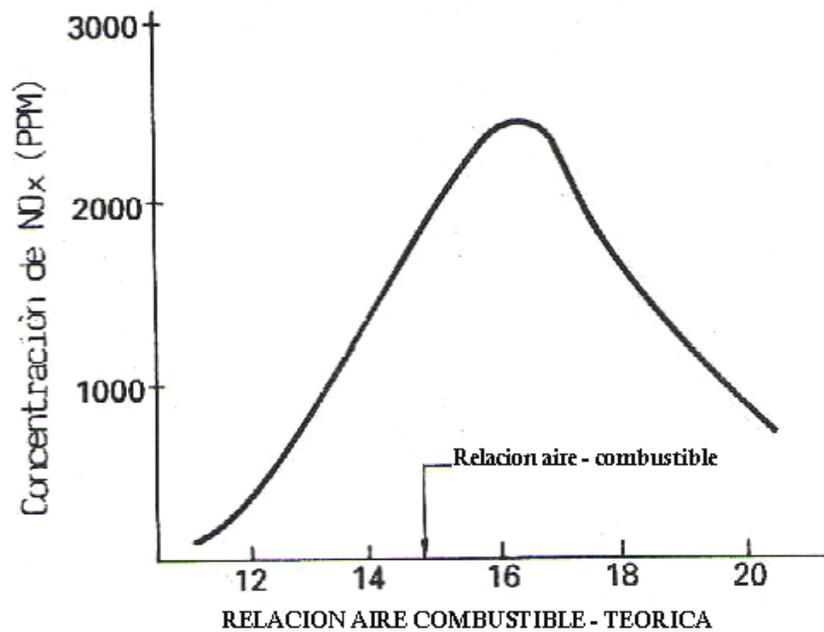


Figura3.12 Proporción aire Combustible y concentración de gas HC en el escape.

Esto significa que los factores que tienen mayor efecto sobre la concentración del NOx formado durante la combustión son (ver la figura 3.12) la máxima temperatura que llega a la cámara de combustión y la relación aire – combustible. La mejor manera para reducir la cantidad de NOx de escape, entonces es previniendo que la temperatura en la cámara de combustión llegue a los 1800 °C (3300 °F) o acortando el tiempo durante el cual se alcanza altas temperaturas junto a otra posibilidad es bajar la concentración de oxígeno.

3.3 MODELOS DE ECUACIONES QUÍMICAS

Durante el proceso de combustión, la masa de cada elemento permanece inalterable, así, al escribir ecuaciones químicas y resolver problemas que comprendan las cantidades de varios componentes, el asunto se reduce básicamente a considerar la conservación de la masa de cada elemento.

3.3.1 Composición del aire

El aire está formado por varios elementos, en particular oxígeno (O₂), nitrógeno (N₂) y argón (Ar).

Su composición volumétrica es la siguiente: 21% de O₂, 78% de N₂ y 1% de Ar. Para propósitos energéticos se considera que las proporciones volumétricas del aire son: 21% de oxígeno y 79% de nitrógeno. Esto debido a que el argón no interviene en la reacción química; por tanto, por cada 100 moles de aire hay 21 moles de oxígeno y 79 moles de nitrógeno, o bien,

$$\frac{79}{21} = 3.76 \quad \text{mol de } N_2/\text{mol de } O_2$$

3.3.2 Entalpía de formación.

Es un concepto utilizado para estudiar los procesos en los cuales las sustancias cambian su composición química.

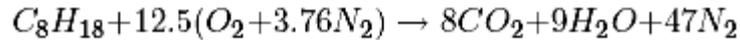
La entalpía de formación de un compuesto químico es su entalpía a tal presión y temperatura y para los elementos la entalpía se supone nula en un estado de referencia a 25 °C y 1 atmósfera de presión. Estos valores se pueden encontrar en tablas termodinámicas.

Aplicando la primera ley de la termodinámica al proceso de combustión en estado permanente, el balance de energía es el siguiente:

$$Q = \Delta H = H_P - H_R$$
$$Q = \sum_P n_j \bar{h}_j - \sum_R n_i \bar{h}_i$$

Donde H_P representa la entalpía de los productos y H_R la de los reactivos.

Aplicando los conceptos anteriores a la reacción de combustión del octano obtenemos:



Obtenemos que el calor transferido durante la combustión es:

$$Q = H_P - H_R$$

$$Q = 8\bar{h}_{CO_2} + 9\bar{h}_{H_2O} - \bar{h}_{C_8H_{18}}$$

Sustituyendo los valores para las condiciones de referencia se obtiene:

$$Q = 8(-393,757) + 9(-241,971) - (-250,102)$$

$$Q = -5,077,693 \text{ KJ/Kmol}$$

$$Q = -44,541 \text{ KJ/Kg}$$

Cabe destacar que el valor final dependerá de la exactitud de los datos tabulados para las entalpías de formación y de la masa molecular calculada para el octano.

El signo negativo significa que la reacción es exotérmica, es decir, que el calor fluye fuera del volumen de control. A este cambio de entalpías, se le denomina entalpía de combustión.

3.3.3 Ecuación de combustión teórica

La reacción de combustión se resume de la siguiente manera:

Combustible + Comburente = Productos de combustión.

La combustión de los carburantes en el cilindro del motor es un proceso químico complejo. Analicemos las reacciones químicas finales de los elementos componentes del combustible con el oxígeno del aire.

Cuando la combustión del combustible es completa los productos de la combustión están formados por anhídrido carbónico, vapor de agua, oxígeno sobrante respectivamente.

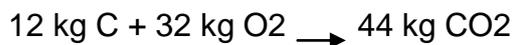
En estos casos la oxidación del carbono y hidrógeno del combustible corresponden a las ecuaciones químicas {1} y {2}. El balance de materia de las reacciones químicas se denomina estequiometría. Siempre se plantea en moles:

Carbono:



Pesos moleculares:

$$M(\text{C}) = 12 \text{ kg/kmol} \quad M(\text{O}_2) = 32 \text{ kg/kmol} \quad M(\text{CO}_2) = 44 \text{ kg/kmol}$$

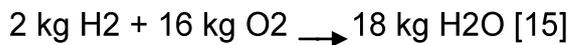


Hidrógeno:



Pesos moleculares:

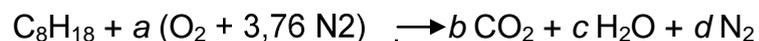
M (H₂) = 2 kg/kmol M (O₂) = 32 kg/kmol M (H₂O) = 18 kg/kmol



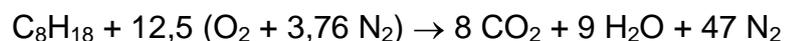
La reacción de combustión de una molécula de combustible requiere de varias moléculas de oxígeno, en función del número de carbonos e hidrógenos de que esté compuesta.

Como se puede observar en las anteriores expresiones por cada dos hidrógenos que haya en el combustible, requieren un átomo de oxígeno, para formar una molécula de agua; y cada carbono requiere dos átomos de oxígeno, para formar una molécula de dióxido de carbono. Con esa forma, se obtiene una combustión completa.

La reacción teórica es la reacción de combustión total, pasando todo el C a CO₂ y H a H₂O. Es una característica del combustible, independiente del proceso de combustión posterior.



El ajuste de la ecuación se realiza con balances individuales (C, H, O, N,...). De esta manera, se puede deducir la ecuación química estequiométrica:



Determinar la reacción teórica de combustión del n-octano con aire.

La base de cálculo es 1 mol de C₈H₁₈; planteamos la reacción de combustión de 1 mol con A moles de aire:



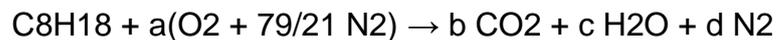
Los coeficientes estequiométricos A, b, c, d se calculan por balance de las especies atómicas C, H, O y N:

- Balance de C: $8 = b \Rightarrow b = 8$ mol CO₂/mol C₈H₁₈
- Balance de H: $18 = 2c \Rightarrow c = 9$ mol H₂O/mol C₈H₁₈
- Balance de O₂: $0,21A = b + c/2 \Rightarrow A = 59,52$ mol aire/mol C₈H₁₈
- Balance de N₂: $0,79A = d = 47,02$ mol N₂/mol C₈H₁₈

Luego la reacción teórica de combustión es:



Un modo alternativo es plantear la reacción de combustión en función solamente del oxígeno:



- Balance de C: $8 = b \rightarrow b = 8$ mol CO₂/mol C₈H₁₈
- Balance de H: $18 = 2c \rightarrow c = 9$ mol H₂O/mol C₈H₁₈
- Balance de O₂: $a = b + c/2 \rightarrow a = 12,5$ mol O₂/mol C₈H₁₈
- Balance de N₂: $(79/21) a = d = 47,02$ mol N₂/mol C₈H₁₈

3.3.4 Ecuación de combustión real.

La reacción real es una característica del proceso de combustión, que recoge en una ecuación el balance de materia.

$$a.[\text{C}_8\text{H}_{18}] + b.[\text{O}_2] + 3,76b.[\text{N}_2] + c.[\text{H}_2\text{O}] + d.[\text{impurezas}] = e.[\text{CO}_2] + f.[\text{H}_2\text{O}] + g.[\text{O}_2] + h.[\text{H}_2] + i.[\text{CO}] + j.[\text{SO}_2] + k.[\text{NO}] + l.[\text{NO}_2]$$

Calculo de f, g, h, i, j, balance individuales de las especies atómicas.

Luego la reacción real es, en Kmol. Por 1 Kg. de combustible.

Para los cálculos producidos iniciales y finales de la reacción en unidades másicas obtenemos:

Para C Kg. C [



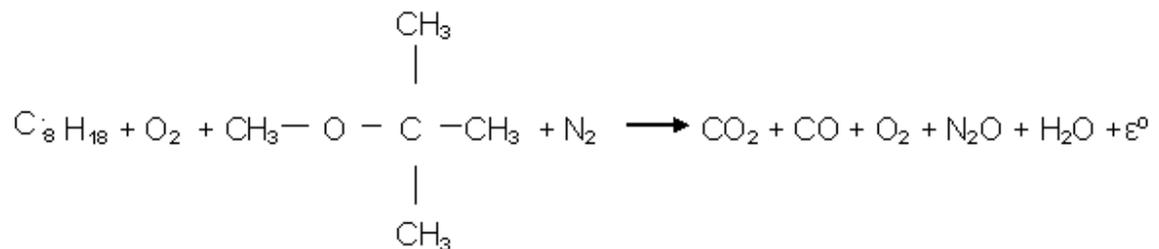
Para H kg. [H₂]



Cuando el cálculo se hace en Kmol



3.3.5 Ecuación de combustión con MTBE



3.3.6 Determinación de la cantidad teórica de aire necesaria.

La menor cantidad de oxígeno O₂ que se necesita suministrar desde el exterior al combustible para su completa oxidación se denomina cantidad teórica de oxígeno.

De las ecuaciones indicadas anteriormente se deduce que para una combustión completa de 1 Kg de combustible se necesita la siguiente cantidad de oxígeno:

$$O_o = 8 / 3 C + 8H - O_c$$

Y para calcular en Kmol:

$$O_o = C / 12 + H / 4 - O_c / 32$$

En los motores de combustión interna el oxígeno necesario para la combustión se encuentra en el aire que se introduce al cilindro durante al proceso de admisión. Considerando que el contenido en masa de oxígeno en el aire es aproximadamente 23 % y en volumen 21%, obtendremos respectivamente la cantidad teórica de aire necesaria para la combustión de 1 Kg. De combustible, en kg:

$$b = 1 / 0.23 (8/3C + 8H - O_c)$$

o en Kmol.

$$L_o = 1/0.21 (C/21 + H/4 - O_c / 32)$$

La masa molecular aparente del aire es = 28.97, por lo tanto:

$$b = u_a * L_o = 28.97 L_o$$

La cantidad teórica de aire b (L_o) necesaria para la combustión de una mezcla de composición estequiométrica puede ser hallada a través de la característica del combustible, que se determina a base de la formula.

$$\beta = 3.0.79 / C (H - O_c / 8) = 2.37 / C (H - O_c / 8)$$

La característica del combustible β al quemarlo en el aire atmosférico depende de la composición elemental del combustible y de la cantidad de oxígeno en el aire.

Después de algunas transformaciones la expresión adquiere la forma en Kmol.

$$L_o = C / 1.99 (0.79 + \beta)$$

CAPITULO IV

4. PRUEBAS.

Objetivos:

- Determinación de las concentraciones de diferentes contaminantes en los gases de escape de los vehículos accionados a gasolina, en condiciones de marcha mínima o ralentí y aceleración sin carga.
- Determinar las características técnicas mínimas de los equipos necesarios para realizar dichas mediciones
- Obtener las curvas de % en volumen de: Bióxido de carbono, Monóxido de carbono, Hidrógeno, Oxígeno.
- Evaluar el desempeño de un motor a gasolina teniendo en cuenta todos los parámetros de operación, en función de troqué, potencia, consumo específico de combustible y la eficiencia térmica.
- Determinar las diferencias que se obtienen al utilizar combustibles con y sin aditivo.

4.1 PRUEBAS EN EL ANALIZADOR DE EMISIONES

4.1.2 Protocolo de pruebas:

Analizador de emisiones: VEA-501

Es un Analizador compacto de emisiones automotriz de 5 gases. Soportado por el principio No-dispersivo infrarrojo (NDIR). El VEA-502 puede medir y leer las concentraciones de HC, CO y CO₂, mientras que con la tecnología electroquímica, el VEA-501 puede medir y leer las concentraciones de gases de O₂ y NO_x que pueden ser integrados a la reparación automotriz.

Especificaciones:

- Rango de mediciones:

Composición	Rango	Resolución	Exactitud (BAR97)	Desviación de Zero
CO	0~15%	0.01%	±0.05%	±0.2% /3h
CO ₂	0~20%	0.1%	±0.5%	±0.1% /3h
HC	0~20000ppm	1ppm	±10ppm	±100ppm /3h
O ₂	0~25%	0.01%	±0.1%	±0.2% /3h
NO _x	0~5000ppm	1ppm	±25ppm	±40ppm /3h

- RPM: 60~8000 rpm, exactitud: 20rpm
- Temperatura: 0°C → 200°C, exactitud 1°C
- Tiempo de respuesta del sistema: < 3.5s
- Tiempo de calentamiento: < 8min. (desde 20 °C)
- Temperatura de almacenamiento: -25 °C ~ 60 °C
- Humedad relativa: 0~95%
- Temperatura de operación: 5 °C ~ 45 °C
- Fuente de alimentación: DC12~ 18V 3 A/AC220V±10%
- Dimensiones: 400mm× 190mm× 200mm
- Peso: Alrededor de 6kg

Unidad principal y accesorios:

1. La unidad principal incluye: Las partes principales, de sensores de prueba, LCD, etc. Ver Figura 4.1.



Figura 4.1 Unidad principal

2. Manguera: La longitud de la manguera es de 5 metros (para asegurar la exactitud de las mediciones, la manguera está especialmente diseñada para el VEA y no podrá ser alargada o acortada.). Ver Figura 4.2.



Figura 4.2 Manguera (5m)

3. Sonda de prueba: Inserte ésta dentro del tubo de escape para la muestra de emisiones alrededor de 400mm. Ver Figura 4.3.



Figura. 4.3 Sonda de prueba

4. Transformador: Para alimentar el VEA-501 se convierte 220V AC a 12V DC. Ver Figura 4.4.



Figura 4.4 transformador

5. RPM sensor: To read the values of engine RPM. Ver Figura 4.7.



Figura 4.7 Sensor de RPM

4.1.3 Ejecución de la prueba del analizador de gases

Esta prueba fue realizada en el analizador de gases, marca VEA-501 fabricado por LAUNCH TECH CO, en el taller ECOTECH ubicado en la ciudad de Quito en la Av. Eloy Alfaro 216, entre Álamos y José Barreiro.

El motor de prueba fue de un vehículo Suzuki Forsa : GA310, 993cm³, cuatro tiempos

Los datos son los siguientes:

Defined Working Condition		
CO(%)	HC(ppm)	CO2(%)
1.46	4982	13.0
O2(%)	NOx(ppm)	λ
6.90	1156	1.072
RPM: 995	T: 86.7 °C	
1: Save the Record		9: Print

Figura 4.8 Prueba de análisis de gases.



Figura 4.9 Instalación y conexión del equipo en el vehículo



Para realizar las pruebas debemos tener en cuenta las siguientes condiciones:

- Tiempo de estabilización al inicio de pruebas
- Además tomar en cuenta los rangos de medición mencionados anteriormente.



Figura 4.10. Mayra Gallegos toma datos respectivamente con cada combustible:

- Extra con aditivo
- Extra sin aditivo
- Super con aditivo
- Super sin aditivo

Parámetros medidos:

A velocidades variables se han tomado los siguientes datos:

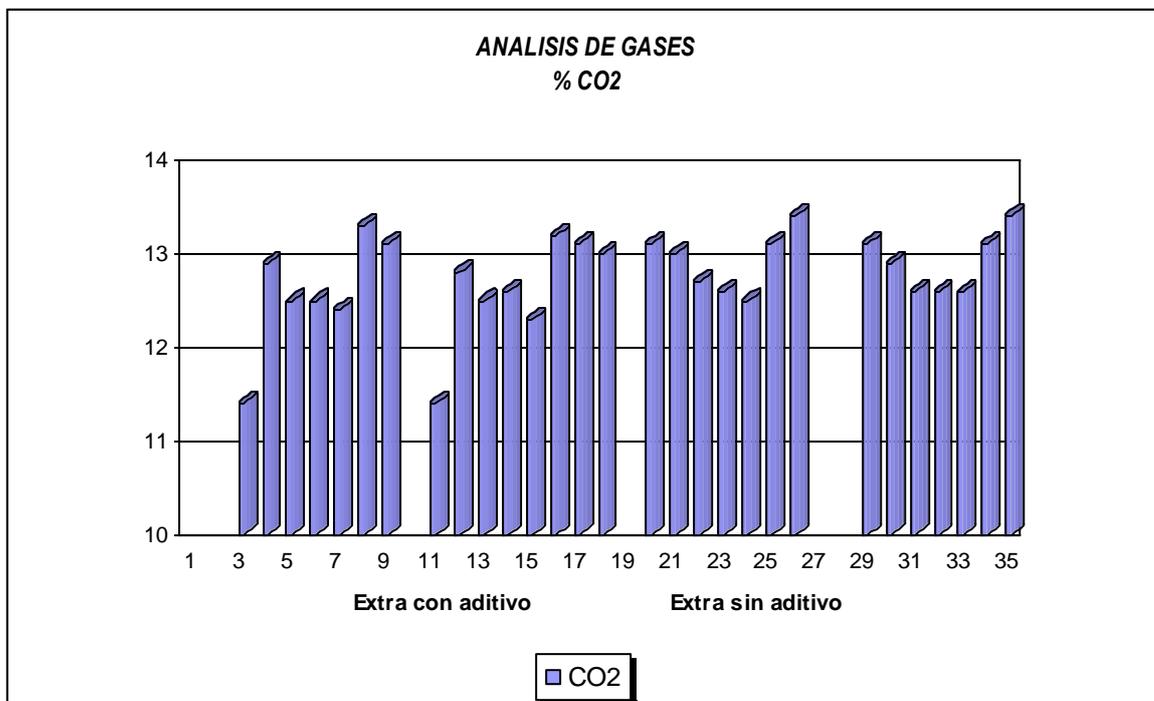
- C Carbono
- CO Monóxido de Carbono
- CO₂ Dióxido de Carbono
- NO_x Óxidos de nitrógeno
- O₂ Oxígeno
- λ Lambda

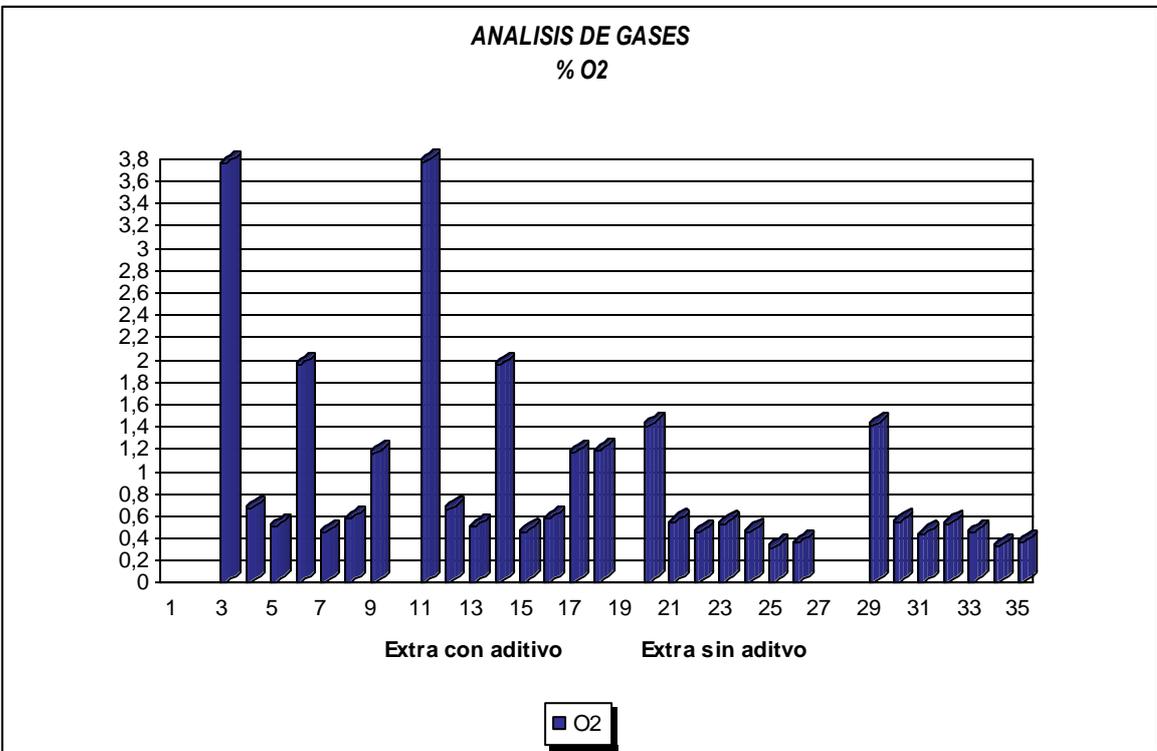
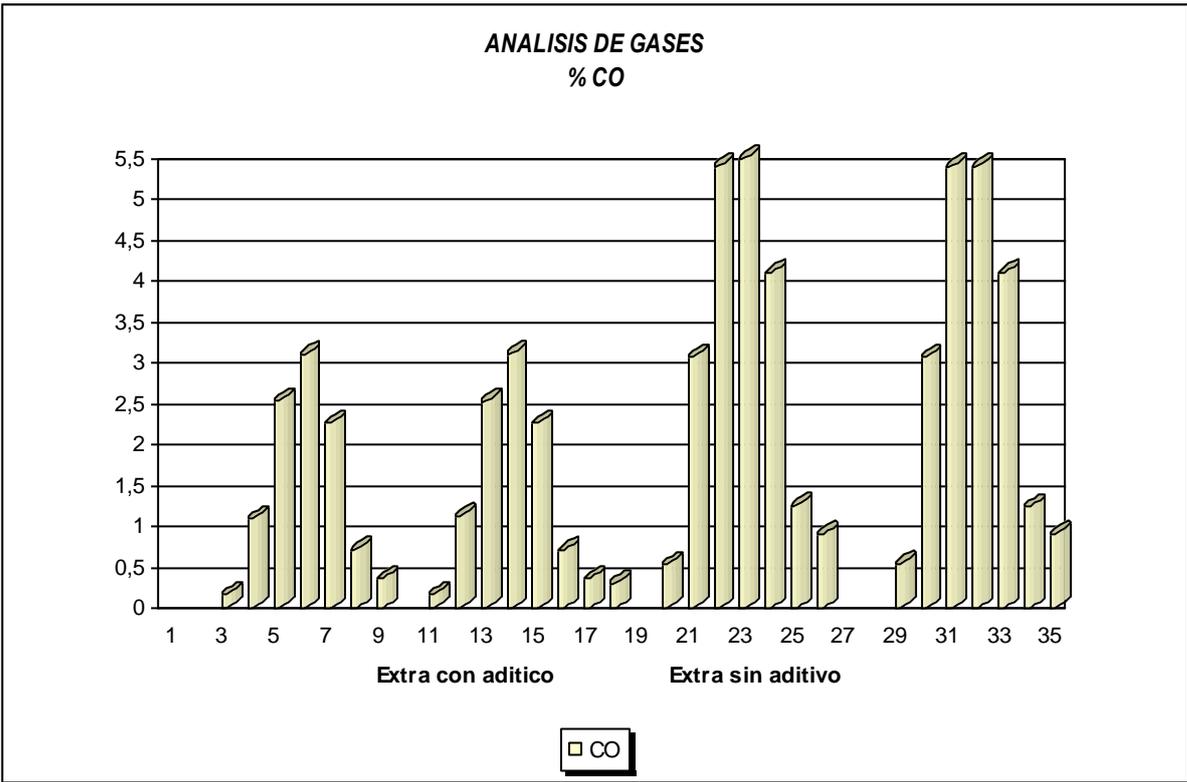
4.1.4 Registro de datos y resultados obtenidos

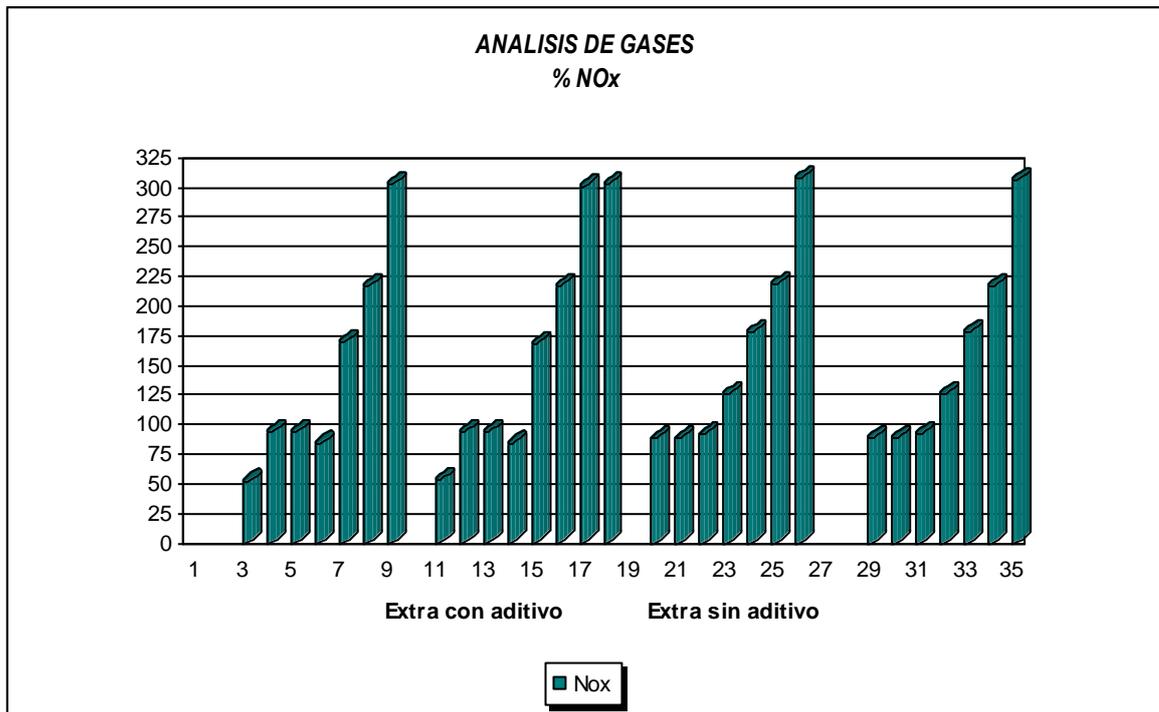
- Tipo de gasolina: Extra con aditivo y sin aditivo
- Temperatura ambiente: 18°C

	ESTADO DE LA PRUEBA	RPM	CO	CO ₂	O ₂	Nox	Lambda
1							
2	PRUEBA 1 GASOLINA EXTRA + MTEBE						
3		984	0,16	11,4	3,76	52	1,202
4		1508	1,09	12,9	0,67	94	0,985
5		2066	2,53	12,5	0,51	94	0,936
6		2488	3,1	12,5	1,95	84	0,986
7		3070	2,26	12,4	0,45	169	0,943
8		3546	0,72	13,3	0,58	217	0,997
9		3998	0,36	13,1	1,16	303	1,043
10	PRUEBA 2 GASOLINA EXTRA + MTBE						
11		956	0,16	11,41	3,77	53	1,201
12		986	1,12	12,8	0,66	94	0,986
13		1638	2,52	12,5	0,51	93	0,935
14		2036	3,11	12,6	1,95	84	0,985
15		2508	2,26	12,3	0,46	168	0,945

16	PRUEBA 1 ESTANDAR GASOLINA EXTRA	3038	0,71	13,2	0,58	217	0,938
17		3490	0,36	13,1	1,17	300	0,997
18		4026	0,3	13	1,18	302	1,042
19		980	0,53	13,1	1,41	88	1,044
20		1526	3,07	13	0,55	89	0,926
21		2098	5,4	12,7	0,45	92	0,854
22		2498	5,5	12,6	0,53	126	0,844
23		3000	4,1	12,5	0,46	178	0,888
24		3542	1,25	13,1	0,32	218	0,962
25		4012	0,9	13,4	0,36	307	0,982
26							
27	PRUEBA 2 ESTANDAR GASOLINA EXTRA						
28		980	0,54	13,1	1,41	88	1,044
29		1526	3,07	12,9	0,55	89	0,925
30		2098	5,4	12,6	0,44	92	0,855
31		2498	5,4	12,6	0,53	125	0,843
32		3000	4,1	12,6	0,45	178	0,888
33		3542	1,24	13,1	0,33	217	0,963
34		4012	0,9	13,4	0,36	306	0,982



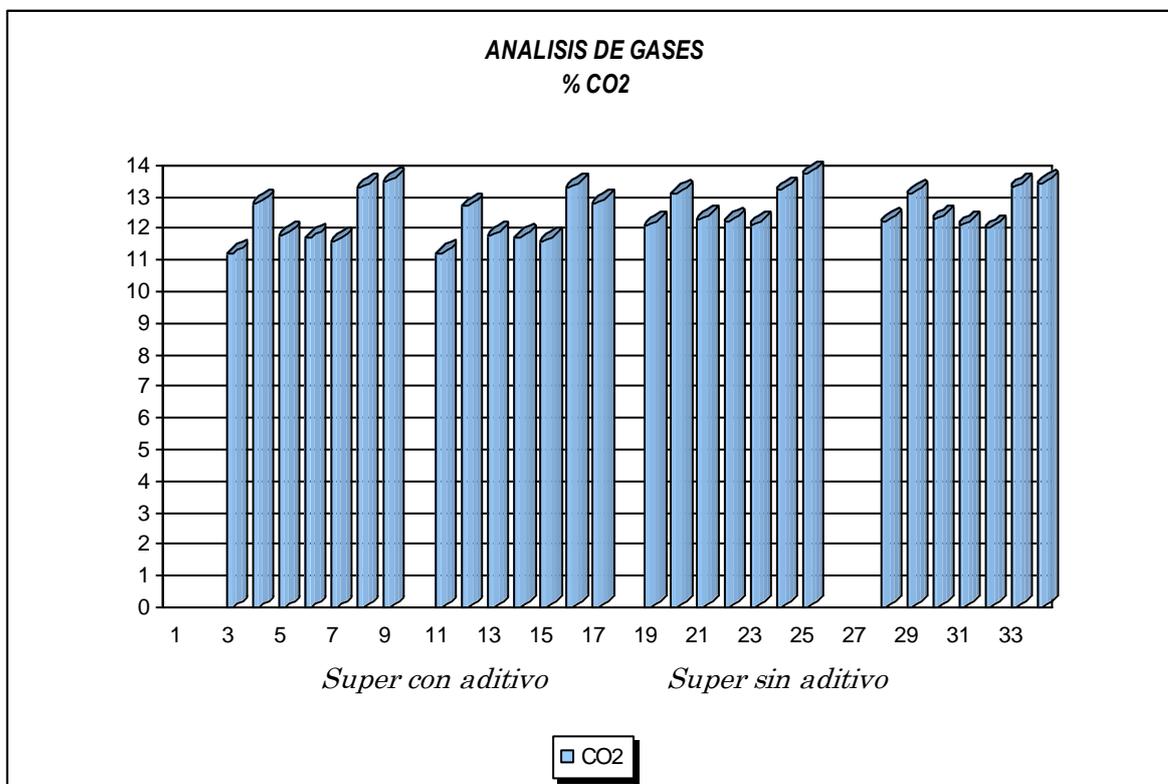




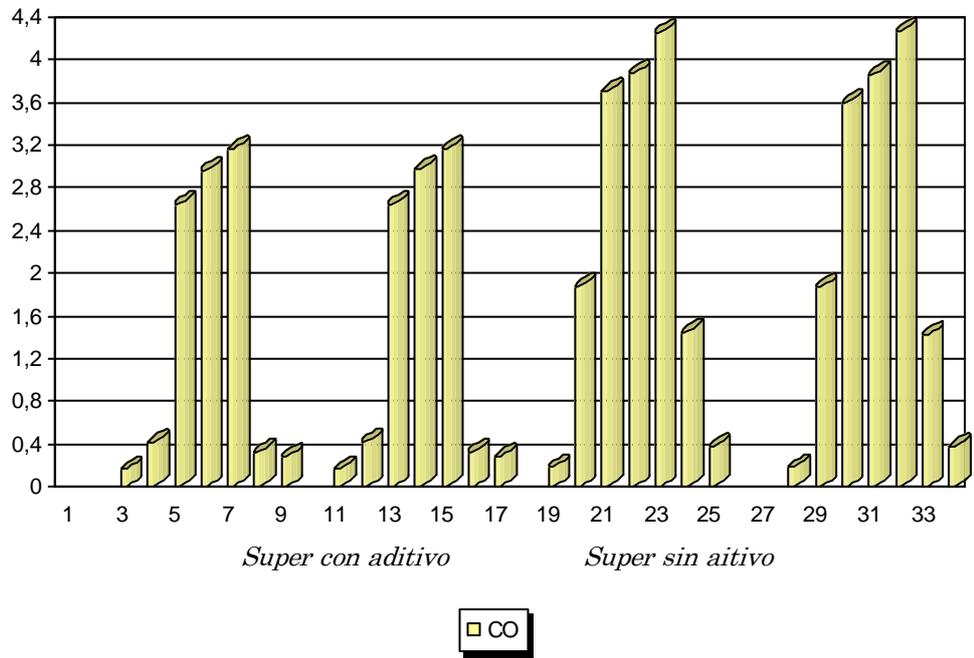
- Gasolina Super con aditivo y sin aditivo
- Temperatura ambiente: 18°C

	ESTADO DE LA PRUEBA	RPM	CO	CO2	O2	Nox	Lambda
1							
2	PRUEBA 1 GASOLINA SUPER + MTEBE						
3		980	0,16	11,2	4,38	53	1,229
4		1526	0,41	12,8	1,48	94	1,095
5		2098	2,64	11,8	0,46	108	0,94
6		2498	2,96	11,7	0,5	142	0,925
7		3000	3,16	11,6	0,49	98	0,921
8		3542	0,32	13,3	1,05	246	1,036
9		4012	0,28	13,5	1,83	244	1,082
10		PRUEBA 2 GASOLINA SUPER + MTBE					
11	976		0,16	11,2	4,38	52	1,229
12	1624		0,42	12,7	1,49	95	1,095
13	213		2,64	11,8	0,47	108	0,94
14		2514	2,97	11,7	0,52	146	0,926

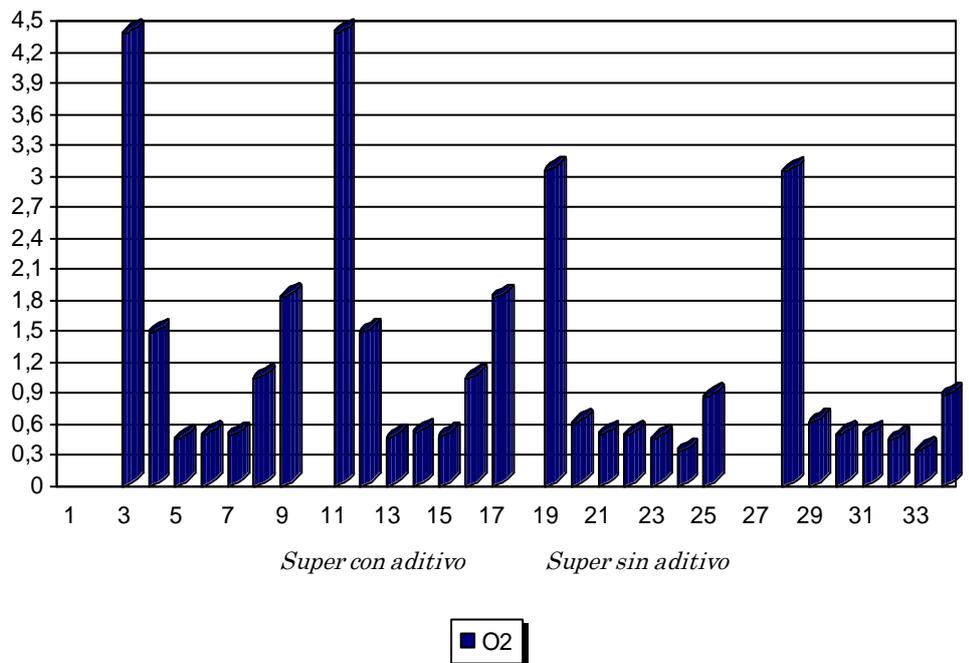
15	PRUEBA 1 ESTANDAR GASOLINA SUPER	2984	3,16	11,6	0,49	98	0,922
16		3498	0,32	13,3	1,05	246	1,037
17		4038	0,28	12,8	1,82	245	1,082
18							
19		980	0,18	12,1	3,06	54	1,153
20		1526	1,88	13,1	0,61	86	0,962
21		2098	3,7	12,3	0,5	90	0,905
22		2498	3,87	12,2	0,5	70	0,9
23		3000	4,25	12,1	0,46	141	0,897
24		3542	1,45	13,2	0,33	250	0,966
25	4012	0,37	13,7	0,86	291	1,028	
26							
27	PRUEBA 2 ESTANDAR GASOLINA SUPER						
28		980	0,18	12,2	3,05	54	1,153
29		1526	1,87	13,1	0,62	87	0,961
30		2098	3,6	12,3	0,5	89	0,906
31		2498	3,86	12,1	0,5	71	0,9
32		3000	4,26	12	0,45	141	0,897
33		3542	1,42	13,3	0,34	250	0,966
34		4012	0,37	13,4	0,87	291	1,029

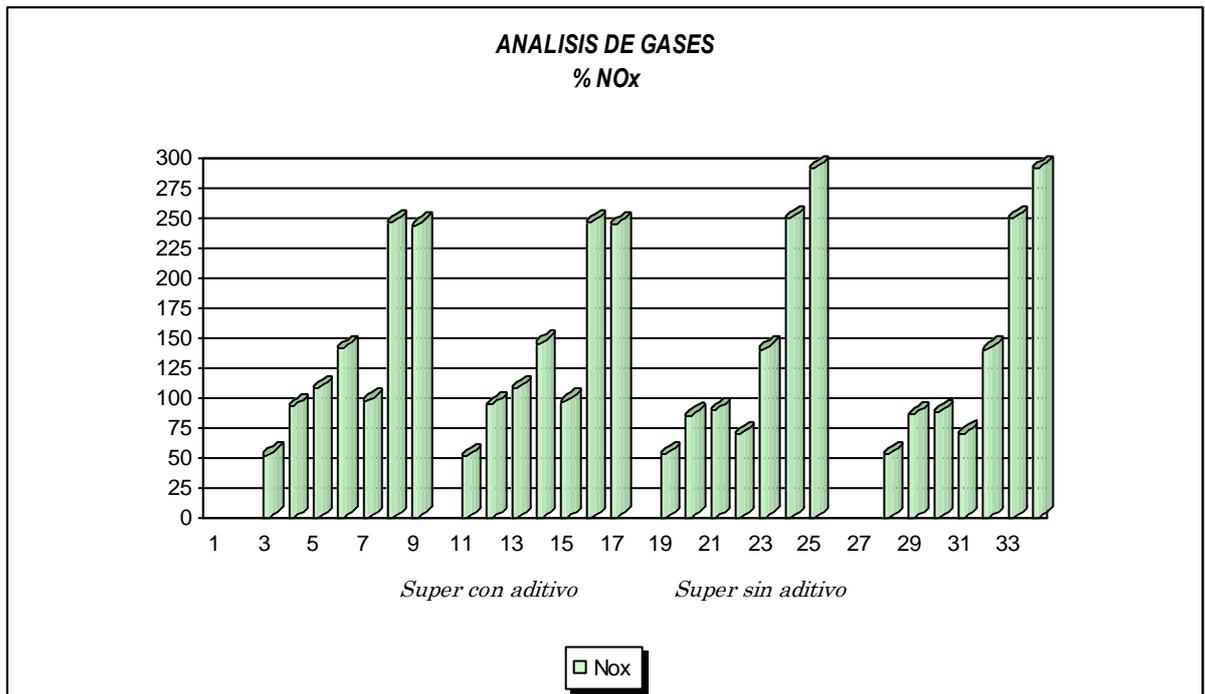


ANALISIS DE GASES
% CO



ANALISIS DE GASES
% O2





4.2 PRUEBAS DE TORQUE, POTENCIA, EFICIENCIA TÉRMICA Y CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE CON UNA RELACIÓN DE COMPRESIÓN VARIABLE.

Estas pruebas han sido realizadas en el laboratorio de motores de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la ESPE matriz en Sangolquí, las pruebas fueron realizadas en forma comparativa es decir investigando el comportamiento de este motor, según el siguiente protocolo de pruebas:

4.2.1 Protocolo de pruebas:

La relación de compresión se define entre el volumen total (cilindrada + volumen del espacio muerto) y el volumen muerto o cámara de combustión.

Banco de pruebas: PLINT TE: 15/A (Compresión variable a gasolina).

- Motor:

Diámetro	85mm
Carrera	82.5 mm
# de cilindros	1

○ Dinamómetro eléctrico:

Brazo de palanca	265mm
Excitación mínima	15 ^a

○ Indicador eléctrico de motores:

TE-28 PLIT

○ Dinamómetro:

Datos Técnicos:

Máxima velocidad permisible	3600 rev/min
Máximo poder de absorción	4Kw
Máximo poder de rendimiento del motor	2Kw
Máximo poder de consumo del motor	5Kw
Evaluar Fusible: caga del dinamómetro	20A
Oscilador	30

○ Relación de compresión variable para gasolina

Datos Técnicos:

Capacidad cúbica	468 cm ³
Relación de compresión	4:1 a 10.1
Rango de velocidades	1500 a 2000 Rev. / min.
Regulador máximo de velocidad	2500 Rev. / min.
Rendimiento nominal de poder	2.3 Kw.

- Combustibles utilizados:
 - Extra con aditivo
 - Extra sin aditivo
 - Súper con aditivo
 - Súper sin aditivo

- Condiciones de prueba:
 - Variación de relación de compresión: desde 8:1 a 10:1
 - Aceleración constante del 100%

 - Para cada relación de compresión se trabajo en un rango de velocidades Desde 900 a 2000 RPM. Relación de compresión = 8:1, 8.5:1, 9:1, 9.5:1, 10:1

 - Volumen de prueba 25 cm³
 - Angulo de adelanto al encendido constante 20 °

- Parámetros medidos:
 - Se registra y se determina los siguientes parámetros para cada combustible ya especificado.

- Torque (Nm)
- Potencia (Kw.)
- Consumo específico de combustible (Kg. /Kwh.)
- Eficiencia térmica η_t

- Condiciones observadas:

Tiempo de estabilización al inicio de pruebas: 30 min.

Tiempo de estabilización para cada velocidad: 10 min.

Tiempo de estabilización para cada relación de compresión: 15 min.

4.2.2 Ejecución de la prueba realizada en el banco de pruebas:

Con las especificaciones mencionadas anteriormente, verificamos la preparación del banco en general. Llenamos los tanques con los combustibles ya mencionados, ver la figura 4.11



Figura 4.11 Tanques donde va ubicado el combustible a utilizarse

Ponemos en marcha el motor mediante el mando respectivo, dejamos el tiempo estimado para su calentamiento. Ver la figura 4.12



Figura 4.12 Puesta en marcha el banco de pruebas

Una vez calentado el motor ajuste la relación de compresión y la velocidad en los valores correspondientes. Ver la figura 4.13



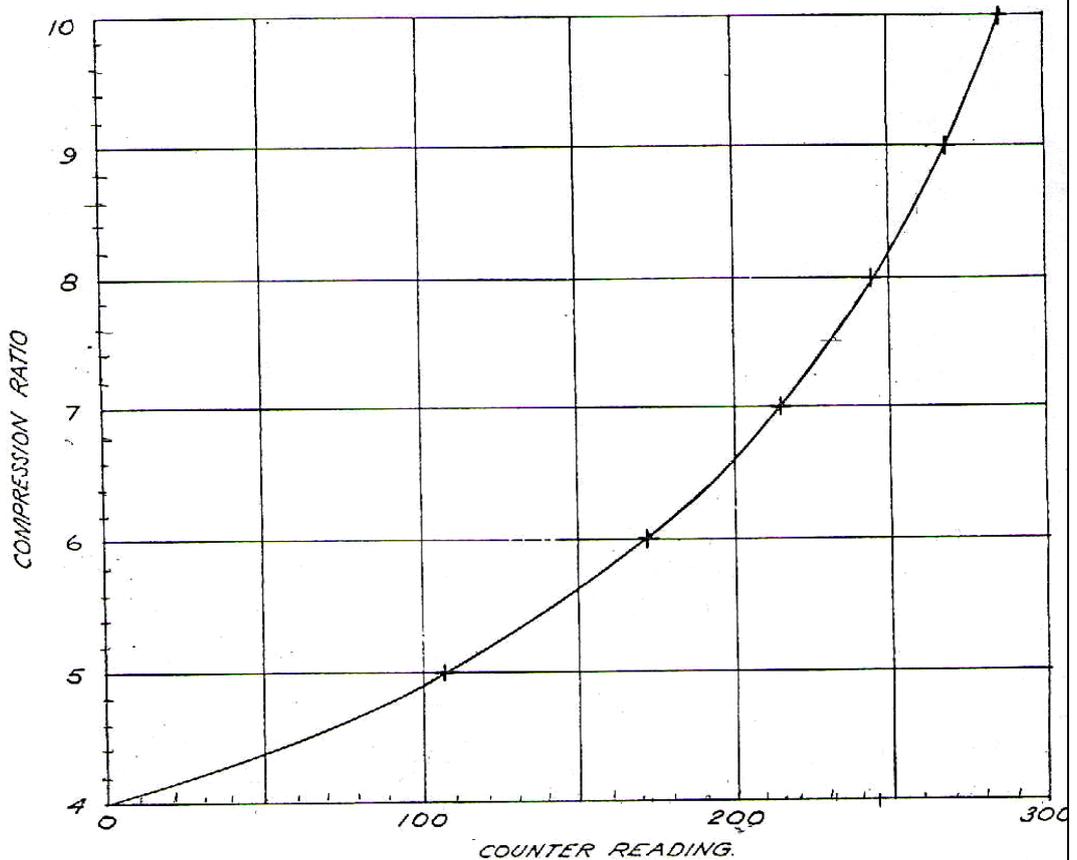
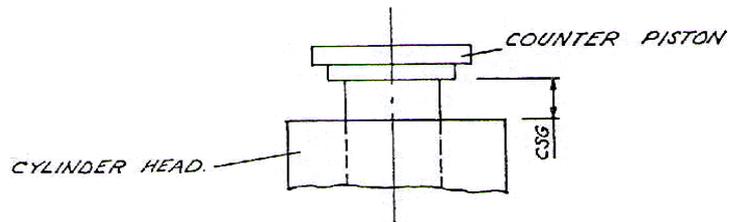
Figura 4.13 variación de la relación de compresión

Para poder calibrar la relación de compresión establecida debemos guiarnos la siguiente tabla:

RATIO	CLEARANCE	COUNTER RDG
4:1	156cc	0
5:1	117cc	107
6:1	93.6cc	172
7:1	78cc	215
8:1	67cc	245
9:1	58.5cc	268
10:1	52cc	286

COUNTER SETTING GAP (CSG) when Compression Ratio is 4:1 and counter reading is zero:-

CSG:



Calibration Curve for Variable Compression Engine.

Abrimos la llave de paso de suministro de combustible y esperamos que llegue a una de sus medidas. Ver la figura 4.14



Figura 4.14

En condiciones efectuamos las lecturas fig. 4.15



Figura 4.15

A continuación procedemos a tomar los datos de cada una de los medidores. Fig 4.16



Figura 4.16

Realizada la toma de datos proseguimos a variar la velocidad (fig. 4.17) y la relación de compresión y realizamos todo lo el procedimiento anterior.



Figura 4.17

Para poder realizar el registro de datos y resultados necesitamos otros datos entre ellos el poder calorífico de cada combustible con y sin aditivo. Para ello hemos realizado la siguiente práctica en:

4.3 DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO DE LAS GASOLINAS EXTRA Y SÚPER CON Y SIN ADITIVO EN LA BOMBA CALORIMÉTRICA ADIABÁTICA.

Estas pruebas han sido realizadas en el laboratorio de Termodinámica de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la ESPE matriz en Sangolquí.

4.3.1 Protocolo de pruebas:

Cuando se trabaja con transferencia de energía en procesos de combustión relacionamos con el poder calorífico del combustible.

Estos valores caloríficos se definen en términos de números de unidades de calor liberadas cuando se quema completamente una unidad de masa de combustible en un calorímetro y bajo condiciones específicas.

Este Q bruto se determina quemando una cantidad media de combustible en una bomba calorimétrica, el valor calorífico bruto de un calorímetro se determina quemando previamente una cantidad de ácido benzoico cuyo valor calorífico conocemos con gran exactitud.

Equipo utilizado:

- Bomba Calorimétrica diabética de Gallenkamp
- Ácido Benzoico
- Gasolina Extra
- Gasolina Extra con aditivo
- Gasolina Súper
- Gasolina Súper con aditivo
- Madeja de mecha
- Alambre conductor

➤ Termómetro

4.3.2 Ejecución de la práctica para obtener los poderes caloríficos.

Primero ensamblamos la bomba colocando la muestra con el ácido benzoico realizando la muestra a quemarse, ver Fig. 4.18



Figura 4.18. Realización de la muestra del ácido benzoico.

Seguidamente se ata el cordón de algodón al cable conductor que se sujeta uniendo la horqueta de suspensión del recipiente. Se coloca una gota de agua dentro de la bomba. Ver figura 4.19.



Figura 4.19. Muestra preparada y sellada

La cantidad de combustible debe ser de 1 gr. Se sella con oxígeno a presión (15 bar). Ver figura 4.20.



Figura 4.20.

Se introduce la bomba en el agua y se procede a tapar el conjunto asegurando que haya un buen contacto para la ignición y los termistores no estén rotos y si en contacto con el agua tanto el colorímetro como de la camisa. Ver figura 4.21



Figura 4.21

Cuando todo esta listo iniciar la combustión y registrar la mínima y la máxima temperatura señalada por el termómetro especial. Ver figura 4.22



Figura 4.22

Tabulación de datos:

Ácido benzoico.

1	Valor calorífico del Ácido Benzoico	J/gr	26454
2	Peso del ácido benzoico quemado	Gr	1
3	Energía liberada por ácido (1*2)	J	26454
4	Temperatura inicial	°C	21.35
5	Temperatura final	°C	23.35
6	Elaboración de temperaturas (5-4)	°C	2
7	Capacidad calorífica total del aparato (3/6)	J/°C	13227

Muestra: Gasolina Extra, Súper con y sin aditivo

			Extra	Súper
8	Peso del combustible	Gr.	0.7	0.7
9	Temperatura inicial	°C	21.16	21.44
10	Temperatura final	°C	23.98	24
11	Elaboración de temperatura (9-10)	°C	2.51	2.56
12	Energía total liberada (11*7)	J	33199.77	33861.12
13	Valor calorífico de la muestra (12/8)	J / gr	47373.02	48373.02

			Extra con MTBE	Súper con MTBE
8	Peso del combustible	Gr.	0.7	0.7
9	Temperatura inicial	°C	22.05	21.80
10	Temperatura final	°C	24.53	24.35
11	Elaboración de temperatura (9-10)	°C	2.48	2.55
12	Energía total liberada (11*7)	J	2572779.26	26453.98
13	Valor calorífico de la muestra (12/8)	J / gr	36753.98	37791.40

4.3.3 Calcular la densidad de la Gasolina Extra y Súper con y sin aditivo.

Para calcular la densidad de estas muestras es necesaria la utilización del siguiente equipo:

- Balanza
- Picnómetro

La densidad,- Es la masa de un cuerpo por unidad de volumen.

El picnómetro.- Aparato que se utiliza para determinar las densidades de distintas sustancias. También se conoce como frasco de densidades.

Consiste en un pequeño frasco de vidrio de cuello estrecho, cerrado con un tapón esmerilado, hueco y que termina por su parte superior en un tubo capilar con graduaciones.

Los resultados obtenidos son:

Densidad de la gasolina Extra con y sin aditivo

Datos:

Gasolina Extra sin aditivo

$$V = 50 \text{ cm}^3$$

$$m \text{ picnómetro} = 16.708$$

$$m \text{ picgas} = 53.412$$

$$m \text{ extra} = 36.754 \text{ gr}$$

$$\bar{\rho}_n \text{ extra} = 36.754 / 50$$

$$\bar{\rho}_n \text{ extra} = 0.73508 \text{ gr / cm}^3$$

Gasolina Extra con aditivo:

$$m \text{ extra con adit} = 16.708 - 53.288$$

$$m \text{ extra con adit} = 36.5808 \text{ gr}$$

$$\bar{\rho}_n \text{ extra con adit} = 36.5808 / 50$$

$$\bar{\rho}_n \text{ extra con adit} = 0.7316 \text{ gr / cm}^3$$

Gasolina Súper sin aditivo:

$$m \text{ súper} = 53.672 - 16.708$$

$$m \text{ súper} = 36.964 \text{ gr}$$

$$\bar{\rho}_n \text{ súper} = 36.964 / 50$$

$$\bar{\rho}_n \text{ súper} = 0.73928 \text{ gr / cm}^3$$

Gasolina Súper con aditivo:

$$m \text{ súper con adit} = 53.548 - 16.708$$

$$m \text{ súper} = 36.8404 \text{ gr}$$

$$\bar{\rho}_n \text{ súper} = 36.8404 / 50$$

$$\bar{\rho}_n \text{ súper} = 0.7368 \text{ gr / cm}^3$$

CAPITULO V

5.1 ANALISIS DE COSTOS

Para el análisis debemos revisar la siguiente tabla de precios.

Tipo de Combustible	Precio del galón en (\$)
Gasolina Extra	1.48
Gasolina Súper	2.10
MTBE	2.36
Gasolina Extra + 15% de MTBE	1.61
Gasolina Súper + 15% de MTBE	2.15

De acuerdo al consumo vamos a realizar el estudio respectivo dependiendo del tiempo y del volumen consumido de combustible. Esto va a variar proporcionalmente con el volumen de actividad.

Tomando como ejemplo la relación de compresión de 10:1

Gasolina Extra

Relación de Compresión 10:1

Volumen de prueba cm ³	25
-----------------------------------	----

Valor del galón (\$)	1,48
----------------------	------

Test	N(RPM)	T Seg	Gasto * consumo (cm ³ / seg)	Costo de consumo (\$)
1	900	47,7	0,524109015	0,77568134
2	1100	46	0,543478261	0,80434783
3	1300	40,6	0,615763547	0,91133005
4	1500	37,3	0,670241287	0,9919571
5	1700	34,3	0,728862974	1,0787172
6	1900	34,8	0,718390805	1,06321839
7	2000	31	0,806451613	1,19354839
TOTAL			4,6072975	6,8188003

Gasolina Extra con MTBE

Relación de Compresión 10:1

Volumen de prueba cm ³	25
-----------------------------------	----

Valor del galón (\$)	1,61
----------------------	------

Test	N(RPM)	T Seg	Gasto * consumo (cm ³ / seg)	Costo de consumo (\$)
1	900	55,1	0,45372051	0,73049002
2	1100	45,7	0,54704595	0,88074398
3	1300	38,5	0,64935065	1,04545455
4	1500	35,8	0,69832402	1,12430168
5	1700	33,7	0,74183976	1,19436202
6	1900	30,9	0,80906149	1,302589
7	2000	30,6	0,81699346	1,31535948
TOTAL			4,71633585	7,59330071

Gasolina Súper

Relación de Compresión 10:1

Volumen de prueba cm ³	25
-----------------------------------	----

Valor del galón (\$)	2,10
----------------------	------

Test	N(RPM)	T Seg	Gasto * consumo (cm ³ / seg)	Costo de consumo (\$)
1	900	56,2	0,44483986	0,9341637
2	1100	45,8	0,54585153	1,14628821
3	1300	38,8	0,6443299	1,35309278
4	1500	36,7	0,68119891	1,43051771
5	1700	34,1	0,73313783	1,53958944
6	1900	31,5	0,79365079	1,66666667
7	2000	31	0,80645161	1,69354839
TOTAL			4,64946043	9,7638669

Gasolina Súper con MTBE

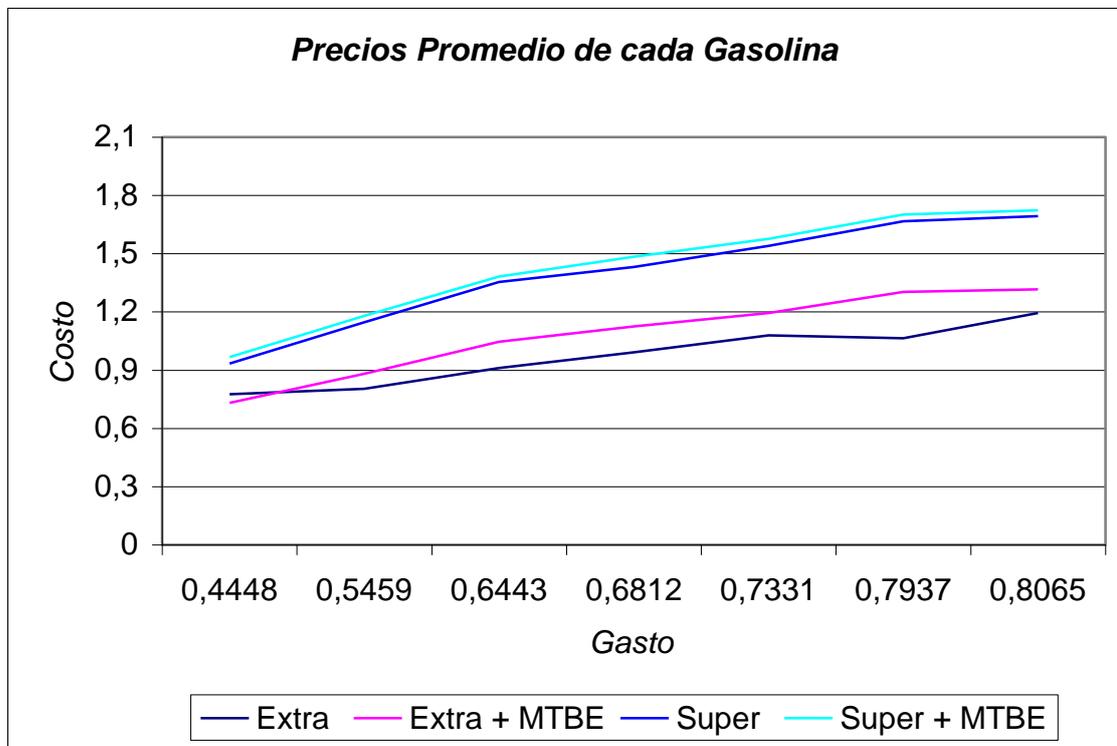
Relación de Compresión 10:1

Volumen de prueba cm ³	25
-----------------------------------	----

Valor del galón (\$)	2,15
----------------------	------

Test	N(RPM)	T Seg	Gasto * consumo (cm ³ / seg)	Costo de consumo (\$)
1	900	55,6	0,44964029	0,96672662
2	1100	45,6	0,54824561	1,17872807
3	1300	38,9	0,64267352	1,38174807
4	1500	36,2	0,69060773	1,48480663
5	1700	34,1	0,73313783	1,57624633
6	1900	31,6	0,79113924	1,70094937
7	2000	31,2	0,80128205	1,72275641
TOTAL			4,65672628	10,0119615

En el siguiente grafico se puede verificar el precio de cada una de las gasolinas utilizadas.



CAPITULO VI

CONCLUSIONES

- Del estudio experimental realizado, para la utilización del MTBE como antidetonante, luego de los análisis y discusión de los resultados, se puede obtener las conclusiones realizada de manera cuantitativa, se puede dar a conocer las siguientes:

6.1 CONCLUSIONES DE CARÁCTER TÉCNICO:

6.1.1 Pruebas realizadas en el analizador de gases

- Considerando los datos obtenidos se puede comprobar que disminuye la contaminación ambiental ya que es muy crítica y urgente solucionar.
- El uso de las gasolinas con el MTBE hemos logrado bajos niveles de emisiones tóxicas, como es la disminución del monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos no combustionados, los cuales con 15 % Vol. de MTBE en mezcla con gasolina disminuye en un 19 – 37 % y 25 – 44 % respectivamente, ya que mejora la combustión.

6.1.2 Con respecto a las pruebas realizadas con gasolina Extra con y sin aditivo:

- a) Considerando el parámetro de torque se puede observar en la curva general de torque respectiva de las RPM del motor existe un incremento utilizando el combustible aditivado, tanto en bajas como el altas RPM. El incremento del torque máximo esta en el (10%) entre la gasolina Extra con y sin aditivo.

b) Considerando el parámetro potencia al freno se puede observar en la curva general que existe un incremento utilizando gasolina Extra con aditivo. Pero también se puede observar que el un incremento de potencia a bajas revoluciones no es tan apreciable como sucede a altas RPM en donde el incremento de potencia es apreciable, el incremento máximo de potencia al freno es del (15%) con gasolina Extra con aditivo.

c) Observando la curva general de Consumo Específico de Combustible (CEC) en función de las RPM se puede verificar que para generar igual potencia el motor es mucho más económico funcionando con combustible Extra aditivado.

d) Considerando el parámetro de Eficiencia Térmica, con la curva general en función de las RPM se puede observar que el motor aprovecha de mejor manera el combustible en trabajo útil tanto en bajas como en altas RPM y existe aprovechamiento hasta en el orden del 20%

6.1.3 Con respecto a las prueba realizada con gasolina Súper con y sin aditivo

a) Observando el parámetro de torque se puede observar en la curva general en función de las RPM que existe un incremento utilizando el combustible aditivado, tanto en bajas como el altas RPM. El incremento del torque máximo esta en el (5%) entre la gasolina súper con y sin aditivo.

b) Considerando el parámetro potencia al freno se puede observar en la curva general que hay un incremento utilizando gasolina Súper con aditivo. Pero también se puede observar que el un incremento de potencia a bajas revoluciones no es tan apreciable como sucede a altas RPM en donde el incremento de potencia es apreciable, el incremento máximo de potencia al freno es del (10%) con gasolina Súper con aditivo.

c) Observando la curva general de Consumo Específico de Combustible en función de las RPM se puede considerar como uno de los parámetros más importantes en el estudio de un motor por cuanto nos indica lo económico que representa, observamos que para generar igual potencia el motor es mucho más económico funcionando con combustible Súper aditivado.

d) La eficiencia térmica en un motor es la relación entre potencia a la salida del motor y la energía suministrada por el combustible, debido a la pérdida de calor durante el funcionamiento del motor. Considerando el parámetro de Eficiencia Térmica, con la curva general en función de las RPM se puede observar que el motor aprovecha de mejor manera el combustible en trabajo útil tanto en bajas como en altas RPM y existe aprovechamiento hasta en el orden del 16% gasolina Súper con aditivo.

6.1.4 Conclusiones Comparativas

Las conclusiones que podemos obtener realizando un estudio comparativo entre gasolina Súper y Extra aditivadas son las siguientes:

- En cuanto al torque generado por el motor y mediante la observación de las curvas respectivas podemos sacar por conclusión que la gasolina súper aditivada tiene mejor comportamiento a bajas RPM, no así en altas RPM en donde la gasolina Extra aditivada tiene mejor comportamiento. Ya que si aumentamos la relación de compresión se incrementa los esfuerzos sobre el mecanismo biela – manivela, cuando mas elevada sea la presión de combustión mayor será el torque desarrollado por el motor y esta en relacionado con la cantidad de mezcla aire combustible.
- Observando con respecto a la potencia al freno y utilizando las curvas respectivas se puede observar que tanto a bajas como medias velocidades del motor prácticamente el comportamiento del motor es igual no así en

altas RPM del motor en donde este tiene un mejor comportamiento utilizando gasolina Extra aditivada.

- Con respecto al CEC observando en las curvas respectivas se puede notar que el comportamiento del motor es superior en toda la serie de velocidades utilizando gasolina Súper aditivada.
- Con respecto a la Eficiencia Térmica se puede determinar que el comportamiento del motor es superior en todo el rango de velocidades utilizando la gasolina Extra aditivada.

6.2 CONCLUSIONES DE CARÁCTER ECONÓMICO

- El costo que representaría al utilizar el MTBE como antidetonante, es mas costoso comparando con las gasolinas utilizadas hoy en día, justificando la conveniencia de utilizarlo con otros argumentos como:
 - Evitar la contaminación ambiental con plomo utilizado
 - Ahorro de petróleo para obtener gasolinas, lo que se traduce en una protección de las reservas de petróleo evitando su agotamiento a régimen actual.
- Por ultimo el deterioro del medio ambiente como consecuencia de su contaminación, es algo que no se puede cuantificarse en términos económicos, por la complejidad de su eficiencia en todas las actividades y desarrollo de la sociedad humana en Inter.- relación con su entorno biofísico, por lo podemos concluir que es una necesidad impostergable, el tratar de mantener y proteger el medio ambiente.

6.3 CONCLUSIONES GENERALES

- En el futuro, la industria de la refinación del petróleo, como muchas otras, estará sujeta a modificaciones importantes impulsadas, principalmente, por las cambiantes necesidades del mercado y por los avances científicos y tecnológicos que se incorporarán para hacerla más eficiente, rentable, segura y limpia. Para una institución de investigación, desarrollo y servicios tecnológicos, es esencial contar con una visión panorámica que, a partir de la situación actual, le permita vislumbrar los escenarios, el ambiente en el que se desarrollará la industria, la visión que se tendrá del negocio y, en forma relevante, los retos tecnológicos que deberán enfrentarse en el futuro.

- Como conclusión del estudio realizado se ha determinado que la utilización del MTBE presenta como una oportunidad para reducir la contaminación ambiental. La incorporación de MTBE hasta un 15% en volumen en mezclas con las gasolinas se presenta como una alternativa ecológica para incrementar el octanaje de las gasolinas, reemplazando a los actuales productos plomo tetraetílico. El (MTBE), con la ventaja de lograr una mejor oxigenación de las gasolinas y con ello un menor impacto ambiental reduciendo con ello las emisiones tóxicas.

- La utilización del MTBE como antidetonante de las gasolinas, es económicamente inconveniente, por la diferencia de costo por galón que existe entre los dos, conforme se muestra en la tabla y análisis de costos.

- Con relación al aspecto técnico, la utilización del MTBE como antidetonante de las gasolinas proporcionara un mejoramiento del numero de octanos trae consigo menor consumo de combustible, por lo tanto menor requerimiento de petróleo para obtener la gasolina.

RECOMENDACIONES

- Realice cuidadosamente la mezcla de gasolina Extra o Súper con el MTBE o de preferencia utilice una mascarilla y guantes ya que su olor es característico y puede causar efectos secundarios en la salud.
- Tomar en cuenta los porcentajes de mezcla máximo para cada marca de automóvil como indica en la tabla del anexo 3.
- La variedad de compuestos en los productos para una combustión real se debe a las altas temperaturas generadas, lo que ocasiona la disociación de las especies, fenómeno en el cual una especie genera otras especies, y éstas últimas, tienden a formar la especie inicial, convirtiéndose en un proceso repetitivo hasta alcanzar³ el equilibrio químico.
- Con una relación de compresión elevada, tenemos una mezcla más comprimida, la temperatura inicial antes de iniciar la combustión será más alta, alcanzando fácilmente la temperatura la cual reduce la detonación. Por esta razón es recomendable la preparación de combustibles especiales o para que ayuden para la combustión como es el MTBE.
- Se recomienda el uso del MTBE ya que se evita el depósito de carbón en la cámara, además proporciona mayor oxígeno lo cual ayuda al medio ambiente para que los gases no sean muy tóxicos.
- Es recomendable que la ESPE-L adquiera los equipos necesarios para poder realizar cualquier tipo de estudio como en este caso un banco de pruebas multifunción en donde se pueda cambiar de motor, un analizador de gases, para brindar mayor facilidad y aprendizaje de los alumnos.

BIBLIOGRAFIA

Jachiyán. K.A. Moròzov, V.N. Lukanin, V.I. Trúsov, D.D. Baguírov, E.K.Korsi.//
Motores de Combustión Interna // Edición Castellana // Mir Moscú // 1995

Jovaj. M. S - Motores del Automóvil // Primera Edición MIR // Moscú 1982

Richard Felder y Ronald w. // Principios Elementales de los Procesos Químicos //
1997

Mc Graw – Hill. // Fundamentos de Química General con Manual de Laboratorio
México // 1998

Manual de Entrenamiento (Toyota). // Control de Emisiones // volumen 4

Manual del CEAC del automóvil// Grupo Editorial Ceac, S.A // España // 2003

Virgil Moring Faires // Termodinámica // U.S. Naval Postgraduate School //
Noriega Editores // 1993

Gordon J. Van Wylen y Richard.E. Somtang // Fundamentos de la
Termodinámica// Linusa. México. España // 1986

Daub Seese // Química // 5 ta Edición // Pretice mall // México // 1989

INTERNET.

[www. El petróleo y sus quimiderivados.htm](http://www.El.petróleo.y.sus.quimiderivados.htm)

[www. Franquipemex.com](http://www.Franquipemex.com)

www.repsolypf.com

[www.quimica.unlp.edu.ar\cindeca](http://www.quimica.unlp.edu.ar/cindeca)

Latacunga _____

Realizado por:

MAYRA ALEXANDRA GALLEGOS MURILLO

AUTORA DEL PROYECTO

ING. JUAN CASTRO.

DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERIA AUTOMOTRIZ

DR. EDUARDO VASQUEZ.

SECRETARIO ACADEMICO