

**Establecimiento e implementación de un proceso de  
aseguramiento y control de calidad de los  
combustibles en las Estaciones de Servicio Shell de la  
República de Guatemala**

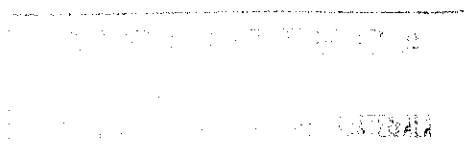
# **UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

Facultad de Ciencias y Humanidades

**Establecimiento e implementación de un proceso de  
aseguramiento y control de calidad de los  
combustibles en las Estaciones de Servicio Shell de la  
República de Guatemala,**

**por Rodrigo De Aguirre**

Trabajo de investigación presentado para optar al grado de  
Licenciado en Ingeniería Química

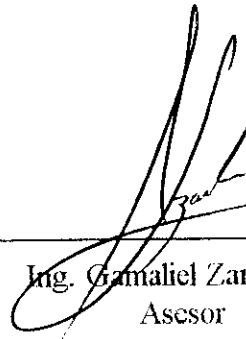


Guatemala

2003

Vo.Bo.:

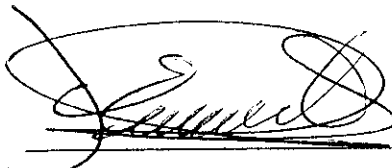
(f)



Ing. Gamaliel Zambrano  
Asesor

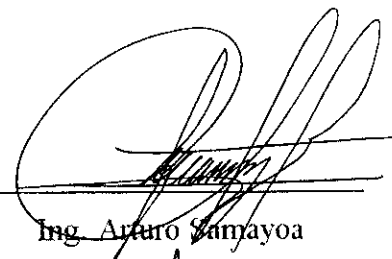
Tribunal:

(f)



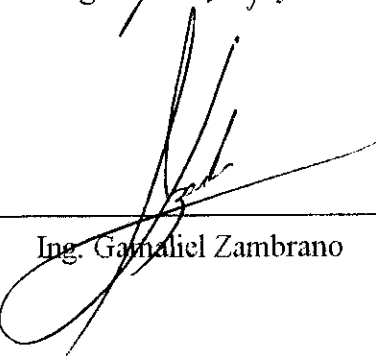
Ing. Eduardo Calderón

(f)



Ing. Arturo Zamayoa

(f)



Ing. Gamaliel Zambrano

Fecha de aprobación: 02 de Junio del 2003

## PREFACIO

A mi mamá y mi papá,

Esta tesis representa no sólo el esfuerzo realizado en la realización del mismo, sino todo el esfuerzo puesto en sacar adelante todos y cada uno de los cursos de la carrera. No puedo decir que este esfuerzo tiene mérito solamente propio, ya que conté con el apoyo y la ayuda de muchísimas personas, mis papás, mis hermanos, mi familia y mis amigos y compañeros del colegio, universidad y trabajo.

Este trabajo fue realizado con muchísima dedicación y esfuerzo, de una manera –a mi parecer– objetiva y a manera de asesoría para una empresa, Shell. El mismo puede ser utilizado por la industria en general del país, para atacar el gran problema que tienen de adulteración de producto, que incluye incumplimiento de leyes, contratos, contrabando y usurpación de marca, entre otros.

El trabajo tiene ciertas limitaciones debido a la disponibilidad de tecnología en el mercado, por lo que debieran hacerse actualizaciones del mismo a manera que se desarrolle tecnología más económica, útil, liviana y fácil de utilizar.

Quiero darle las gracias a Dios la vida y las oportunidades que me ha dado, a mi mamá porque siempre ha estado y estará para apoyarme y motivarme a ser cada día mejor; a mi papá por dejarme soñar y ayudarme alcanzar mis metas; a Jimena y Roberto, por saber que pude y puedo contar siempre con su apoyo; a mis amigos de la universidad, con quienes siempre de alguna u otra forma me llevé de lo mejor y nos la pasamos muy bien.

Es increíble ver cómo se le pasa la vida a uno tratando de llegar a ser más de lo que es, y cuando miramos hacia atrás y nos damos cuenta de que ya hemos pasado por muchas cosas buenas y malas, y que ya hemos conseguido muchas (no todas) de las cosas que nos propusimos, que soñamos y otras que ni siquiera soñamos en un principio. Da una gran satisfacción no sólo haberlas realizado sino también cómo fueron realizadas; si me pusieran a escoger entre el hecho de haberlas realizado y el cómo fueron realizadas, me quedo con el cómo.

# CONTENIDO

PREFACIO.....	v
CONTENIDO.....	vi
LISTA DE TABLAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE GRÁFICAS.....	ix
RESUMEN.....	x

## CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES.....	2
III. JUSTIFICACIÓN.....	30
IV. OBJETIVOS.....	31
V. PROBLEMA A RESOLVER.....	32
VI. METODOLOGÍA.....	33
VII. RESULTADOS.....	34
VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	72
IX. CONCLUSIONES.....	77
X. RECOMENDACIONES.....	79
XI. APÉNDICE.....	80
XII. BIBLIOGRAFÍA.....	90
XIII. GLOSARIO.....	91

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clases de volatilidad.....	7
Tabla 2. Composición química típica de las gasolinas.....	11
Tabla 3. Propiedades de los Oxigenados.....	12
Tabla 4. Características de los compuestos referencia .....	13
Tabla 5. Especificaciones de las gasolinas.....	28
Tabla 6. Especificaciones del diesel y la kerosina.....	28
Tabla 7. Especificaciones de la Unidad PSPI 74720 .....	36
Tabla 8. Especificaciones Técnicas del Minidis.....	37
Tabla 9. Especificaciones técnicas del Minivap VPS.....	39
Tabla 10. Comparaciones entre los tres equipos de determinación de volatilidad .....	40
Tabla 11. Condiciones del motor de prueba para obtener el MON .....	43
Tabla 12. Condiciones del Motor de Prueba para obtener el RON .....	43
Tabla 13. Especificaciones técnicas del Petrospec GS 1000 .....	45
Tabla 14. Especificaciones técnicas del Zeltex ZX-101C .....	47
Tabla 14. Especificaciones Técnicas del Cetane 2000 .....	48
Tabla 15. Cuadro comparativo de las Unidades Petrospec GS 1000 y Cetane 2000 vs. Zeltex ZX-101C .....	49
Tabla 16. Métodos de Detección de Aditivos .....	50
Tabla 17. Comparaciones entre marcadores colorantes .....	52
Tabla 18. Comparaciones entre marcadores de colorante encubierto.....	52
Tabla 19. Comparaciones entre marcadores fluorescentes .....	52

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Equipo PSPI 74720 .....	36
Figura 2. Equipo MINIDIS.....	37
Figura 3. Unidad Minivap VPS .....	40
Figura 4. Comparación de espectro infrarrojo de combustibles mogas 87 y 95 .....	45
Figura 5. Unidad Petrospec GS 1000 .....	46
Figura 6. Octanómetro Zeltex ZX-101C.....	47
Figura 7. Petrospec Cetane 2000 .....	48
Figura 8. Pasta, guantes y varilla para la detección de agua en los tanques.....	54
Figura 9. Serafín de cinco galones estándar.....	55
Figura 10. Octanómetro Zeltex ZX-101C.....	56
Figura 11. Cristalería para la determinación de la densidad API.....	58
Figura 12. Destilador Automático Minidis .....	60

## LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1.	Valores obtenidos de Octanaje RON de las Gasolinas Regular (MOGAS 87).....	65
Gráfica 2.	Valores obtenidos de Octanaje RON de las Gasolinas Super (MOGAS 95).....	65
Gráfica 3.	Valores obtenidos de Octanaje RON de las Gasolinas MOGAS 91 y 98.....	66
Gráfica 4.	Valores obtenidos del Índice de Cetano de las Muestras de Diesel.....	66
Gráfica 5.	Valores obtenidos del Número de Cetano de las Muestras de Diesel.....	67
Gráfica 6.	Valores obtenidos de la Cantidad de Azufre en Diesel.....	67
Gráfica 7.	Densidades de las Muestras de Gasolina Regular (MOGAS 87).....	68
Gráfica 8.	Densidades de las Muestras de Gasolina Super (MOGAS 95).....	68
Gráfica 9.	Densidades de las Muestras de Gasolina MOGAS 91 y 98.....	69
Gráfica 10.	Densidades de las Muestras de Diesel.....	69
Gráfica 11.	Presión de Vapor de las Muestras de Gasolina Regular (MOGAS 87).....	70
Gráfica 12.	Presión de Vapor de las Muestras de Gasolina Super (MOGAS 95).....	70
Gráfica 13.	Presión de Vapor de las Muestras de Gasolina MOGAS 91 y 98.....	71

## RESUMEN

El presente trabajo de Tesis busca proveer ideas para ser parte de una solución al creciente problema de la adulteración de los combustibles que se presenta en algunas de las estaciones de servicio de Guatemala.

Como parte del trabajo, se realizaron pruebas de calidad con los equipos disponibles –octanaje, cetanaje, presión de vapor y densidad- a 10 estaciones de servicio de la ciudad capital. En varias de las estaciones analizadas se encontraron posibles adulteraciones en uno o más productos, y combustibles que no cumplían con alguna especificación de calidad estipulada en la Ley de Hidrocarburos.

Asimismo, se establecieron las bases para la implementación de un proceso de control y aseguramiento de calidad de combustibles a través de la selección de las pruebas y análisis necesarios más adecuados para un laboratorio móvil, para que éste continuamente realice un muestreo, analice y garantice la calidad de los productos ofrecidos por las estaciones de servicio.

Finalmente, se elaboró un manual en el cual se detallan los distintos análisis posibles, en el cual se describen paso a paso los análisis y equipos más adecuados para llevar a cabo el control de calidad de combustibles.

## I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo consistió en encontrar una solución al creciente problema de la adulteración del combustible en las estaciones de servicio, que se viene dando en Guatemala desde hace ya varios años, y que está creciendo rápidamente. Lo que se planteó es el establecimiento e implementación de un programa de control y aseguramiento de la calidad que le permita a la compañía evaluar periódicamente el producto que se está distribuyendo a través de sus estaciones de servicio.

La adulteración es un problema que afecta principalmente a las compañías tradicionales en Guatemala, las cuales comercializan combustibles de una calidad superior a las demás. Esta mejor calidad hace que su precio sea sensiblemente mayor a los otros combustibles disponibles en el mercado nacional. El problema de la adulteración puede llegar a afectar a las compañías tradicionales en el sentido de que se puede llegar a dañar a la imagen de su marca al vender a través de la misma, combustibles de baja calidad y más directamente por la disminución de sus ventas.

En Guatemala existen leyes que protegen, tanto a las compañías distribuidoras como a los consumidores, de las prácticas fraudulentas que puedan tener los expendedores. Sin embargo, el sistema judicial es bastante deficiente, por lo que no se han podido tomar acciones legales serias y contundentes que desmotiven la continuidad de dichas prácticas. Por esta razón el presente trabajo busca ser sólo **parte** de la solución del problema ya que se limita a controlar las características de calidad del combustible, para desmotivar las prácticas de adulteración de productos.

El programa de control de calidad consiste principalmente en la selección de los análisis y los equipos más adecuados para llevar a cabo un control de calidad a través de un laboratorio móvil, el cual estaría evaluando la calidad de los combustibles comercializados en las estaciones de servicio, de una manera aleatoria y a la vez programada, a manera que se controle la calidad del combustible de todas las estaciones Shell del país.

Con la implementación del programa, Shell tendrá un control total y periódico de la calidad de los productos que se venden a través de su marca, y tendrá las herramientas para corregir los posibles errores suscitados de una manera expedita.

## II. ANTECEDENTES

### A. Historia en Guatemala

Los precios de los combustibles en Guatemala estuvieron regulados por el gobierno, de tal manera que todas las estaciones de servicio tenían los mismos precios. Sin importar el precio internacional del petróleo, el gobierno colocaba los precios internamente. Al hacer esto, garantizaba un determinado margen de ganancia por cada galón vendido a expendedores, transportistas y distribuidores, y éstos únicamente se tenían que preocupar por despachar el combustible y llevar estándares de servicio y calidad.

Hacia 1994, el gobierno dejó en manos del libre mercado la asignación de los precios del combustible, por lo que comenzaron a variar los precios entre expendios de combustible, hasta ser considerablemente diferentes unos de otros. Inicialmente, la libre competencia promovió una baja considerable en los precios, la cual afectó a directamente a los márgenes tanto del distribuidor como del expendedor. Sin embargo, los márgenes de utilidad de en la cadena de distribución aun eran buenos. Con esta libre competencia, progresivamente se fue a ampliando la diferencia de precios entre una estación de servicio y otra. Así, si un expendedor decidía tener más margen de ganancia, vendía menos combustible, y el que tenía bajos márgenes (precios más bajos) vendía más. Hacia esta época se incrementaron las prácticas de adulteración de combustibles, en donde generalmente adulteraban gasolina súper con regular o diesel con kerosina, a fines de mantener buenos márgenes, a la vez que bajos precios.

El problema de la adulteración de los combustibles se aceleró drásticamente a raíz del ingreso de nuevas compañías importadoras de productos petroleros, hacia finales de 1998. Estas compañías, al importar combustibles de menor calidad, comenzaron a vender combustibles de menor precio, lo cual provocó que los márgenes tanto de las importadoras tradicionales como de los expendedores disminuyeran drásticamente. Al disminuir los márgenes, las ganancias de los expendedores disminuyeron, y muchos comenzaron a optimizar sus costos de operación y a idear maneras de mejorar el servicio a fin de incrementar las ventas y lograr recuperar la utilidad perdida. Sin embargo, otros decidieron tomar otra vía, comprando combustible de menor calidad (a menor costo) y vendiéndolo como combustible de calidad bajo alguna marca, o siguiendo la practica de vender combustible de una especificación menor (menor costo también) tal como si fuese de una especificación mayor.

## B. Marco Legal

La base legal sobre la que rige la distribución, almacenaje y venta de combustibles en Guatemala es la Ley de Comercialización de Hidrocarburos y su Reglamento [Guatemala, 1999], la cual fue publicada en el Diario Oficial el 26 de noviembre de 1997. Dicha ley establece, en el Artículo 39, capítulo 1 del 3er título:

### «Otras infracciones

- c) No cumplir con las especificaciones de calidad establecidas por el Ministerio en la nómina de productos, para la importación, producción y expendio de productos petroleros.
- d) Adulterar productos petroleros para su comercialización
- e) Vender menos contenido o cantidad de productos petroleros de acuerdo a las unidades de medición legalmente medidas.

[...]

Asimismo, establece en el capítulo 2, la sanción a imponer en caso se infrinja la ley:

**Artículo 40.** Unidad de Multa. Para la aplicación de las sanciones a las infracciones de la presente ley, se establece la unidad de multa cuyo valor es de un Mil Quetzales (Q1,000.00).

**Artículo 41.** Aplicación de Sanciones. Las sanciones por infracciones a la presente ley consisten en:

- ñ) Vender productos petroleros adulterados en las estaciones de servicio, o adulterarlos en los medios de transporte. Multa: 25 unidades.
- o) Vender menos contenido o cantidad de productos petroleros de acuerdo a las unidades de medición legalmente establecidas. Multa: 25 unidades.
- p) Incurrir por segunda vez en cualquier infracción contemplada en esta ley: el doble de la multa que le corresponde a la infracción, y suspensión por tres meses de la licencia respectiva (...)
- Q) Incurrir por tercera vez en cualquier infracción: Cinco veces el monto de la multa que le corresponde a la infracción y la cancelación de la licencia respectiva.

[...]]»

Por último, en el Título IV, menciona las especificaciones de calidad de los combustibles, las cuales son una serie de propiedades mínimas que debe cumplir el combustible para poder ser comercializado en el país, de las cuales se hablará más adelante.

## C. Características técnicas de los combustibles

### 1. Hidrocarburos en los combustibles

Los hidrocarburos son moléculas que contienen en su mayoría hidrógeno y carbono, las cuales pueden ser quemadas (oxidadas) para formar agua ( $H_2O$ ) y dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Si la reacción de combustión no se completa, se puede formar monóxido de carbono ( $CO$ ), el cual es un compuesto combustible contaminante al ambiente [faqs.org].

La manera en la que las moléculas de hidrógeno y de carbono de un compuesto se enlazan entre sí determina la familia de hidrocarburos a la que pertenece el compuesto. Si sólo se enlazan a través de enlaces simples, se denominan **hidrocarburos saturados** debido a que no pueden enlazar a ninguna otra molécula de hidrógeno adicional. Si el carbono tiene dos o más enlaces con el hidrógeno, el compuesto se denomina **hidrocarburo insaturado**, ya que pueden ser saturados mediante la adición de hidrógeno al doble enlace [faqs.org].

La gasolina contiene más de 500 hidrocarburos, los cuales tienen un rango entre 3 y 12 carbonos, y solían tener rangos de temperatura de ebullición de  $30^\circ C$  a  $220^\circ C$  a presión atmosférica. Este rango de temperatura está disminuyendo ya que se está elevando el punto inicial de ebullición y disminuyendo el punto final, ambas por razones ambientales [ASTM D 2699].

#### a. Hidrocarburos saturados (alcanos)

##### *Características*

- Bastante estables, el compuesto mayoritario de las gasolinas
- Se queman al aire con una llama bastante limpia (sin humo)
- Número de octano depende del número de carbonos y de las ramificaciones que tenga
- Los lineales (que no tienen ramificaciones), tienen bajos números de octano, los cuales disminuyen al aumentar el número de carbonos en la cadena. E.g. Heptano
- Los -iso (que tienen ramificaciones en la punta), tienen valores de octano mayores, los cuales se incrementan al aumentar las ramificaciones de la cadena. e.g. Isooctano
- Los cíclicos, tienen altos números de octano. e.g. Ciclohexano

## **b. Hidrocarburos insaturados**

### ***Características***

- Inestables, son los compuestos remanentes de las gasolinas
- Se queman en el aire con una llama humeante

### ***Alquenos (Olefinas, dobles enlaces)***

- Son bastante inestables, por lo que generalmente se limitan a porcentajes mínimos.
- Son más reactivos y tóxicos, pero tienen excelentes valores de octanaje. E.g. 2-metil-2buteno

### ***Alquinos (acetilenos, triples enlaces)***

Estos son inclusive más inestables que los alquenos, y únicamente están presentes en cantidades mínimas, en gasolinas refinadas de mala calidad. E.g. Acetileno

## **c. Aromáticos**

- Normalmente componían el 40% del total de compuestos de las gasolinas, pero ahora se han reducido a menos del 20%.
- Normalmente son más tóxicos, pero tienen números de octano muy buenos.
- Algunos países incrementaron el porcentaje de aromáticos hasta un 50% para reemplazar los mejoradores de octano de plomo. E.g. Benceno

## **d. Aromáticos polinucleares**

- Estos tienen puntos de ebullición altos, y están presentes únicamente en pequeñas cantidades en las gasolinas
- Contienen anillos de benceno unidos entre sí. El más simple y menos tóxico es el naftaleno, el cual se encuentra únicamente en pequeñas cantidades de gasolina tradicional. Los anillos más ramificados son bastante más tóxicos y no se encuentran en las gasolinas.

## **e. Oxigenados**

Los oxigenados son hidrocarburos que contienen oxígeno, el cual no los provee de mayor energía, sino todo lo contrario, sin embargo hace que la estructura de la molécula provea un valor antidetonante, por lo que son buenos sustitutos de los aromáticos, y pueden asimismo

reducir las tendencias de formación de humo de los gases de combustión. La mayoría de los oxigenados utilizados en las gasolinas son ya sea alcoholes (  $Cx-O-H$  ) o éteres (  $Cx-O-Cy$  ), y contienen por lo general entre 1 y 6 carbonos. Los alcoholes han sido utilizados en las gasolinas desde la década de los años 30 y el MTBE se introdujo en las gasolinas comerciales en Italia en 1973. Las ventajas relativas de los oxigenados con los aromáticos en cuanto a lo no dañino a ambiente de los oxigenados y su baja toxicidad están aún siendo investigados [ASTM D 2700].

Los oxigenados son agregados a las gasolinas para reducir la reactividad de las emisiones, pero solamente son efectivos si las fracciones de hidrocarburo son modificadas cuidadosamente para utilizar las propiedades de octanaje y volatilidad de los mismos oxigenados. Si la fracción de hidrocarburo no es modificada correctamente, los oxigenados pueden incrementar las emisiones tóxicas indeseadas de los gases de combustión. Los oxigenados no necesariamente reducen todas las toxinas de los gases de combustión, ni son agregadas al combustible con esa función [ASTM D 2700].

Los oxigenados tienen una doble función. Primero, tienen un octanaje bastante elevado, por lo que reemplazan a los aromáticos de alto octanaje en los combustibles. Estos aromáticos son responsables de las cantidades desproporcionadas de CO e hidrocarburos en los gases de combustión. Esto se denomina **efecto de la sustitución aromática**. Los oxigenados causan que los vehículos con sistemas de manejo de motores simples que se muevan a la parte baja de la estequiometría, y por lo tanto reducen las emisiones de CO hasta en un 16%, de Hidrocarburos hasta un 10%. Sin embargo, estudios han probado que en algunos casos se han elevado las emisiones de NOx al igual que otras toxinas reguladas [ASTM D 1298].

## 2. Especificaciones de la gasolina

Las gasolinas generalmente están definidas por las regulaciones gubernamentales de cada país, donde también están bien definidas las propiedades de las mismas y los métodos de análisis. En Guatemala, el gobierno puede cambiar, agregar o eliminar estándares mínimos de calidad, los cuales son medidos utilizando los métodos listados por la ASTM (American Society for Testing Materials) [ASTM D 2699].

La edición de 1995 de la ASTM incluye:

D4814-94d Especificaciones de los combustibles automotores de ignición por chispa. Esta especificación enumera varias propiedades que los combustibles deben cumplir, las cuales son:

### a. Presión de vapor y clases de destilación

Existen seis clases diferentes dependiendo de la localidad y la temporada. Al ser destilada la gasolina, se determina la temperatura a la cual las diferentes fracciones ebullicen. Las especificaciones definen la temperatura a la cual las diferentes porciones de combustible se ha evaporado. Los límites de ebullición se refieren a la temperatura máxima a la cual el 10% de la gasolina se evapora (50-70°C), a la cual se evapora el 50% (185-190°C), y el punto final de ebullición (225°C). Una temperatura mínima para el 50% (77°C), y un residuo máximo no mayor al 2% después de la destilación. Asimismo, también se especifican los límites de presión de vapor para cada clase. Estas dos propiedades, afectan las siguientes características del desempeño del vehículo: encendido, manejabilidad, *vapour lock*, dilución del aceite de motor, y economía del combustible [ASTM D 5191].

La temperatura del 10% de destilación debe ser lo suficientemente baja para asegurar el encendido a temperaturas normales. Combustibles con las mismas temperaturas del 10 y el 90% de destilación pueden variar considerablemente en manejabilidad, si presentasen diferencias considerables de temperaturas de porcentajes intermedios de destilación. Las temperaturas del 90% de evaporación y las residuales deben ser lo suficientemente bajas para evitar la dilución del aceite del motor.

### b. Clases de Protección de Vapour Lock

La volatilidad de las gasolinas varía dependiendo del clima y la localidad. Las regulaciones de la EPA indican las siguientes clases de volatilidad como protección del *vapour lock*.

Tabla 1. Clases de volatilidad

Clase	Razón vapor-liquido	
	Temperatura de Análisis ( $\pm 0.5^\circ\text{C}$ )	V/L, máx.
1	60	20
2	56	20
3	51	20
4	47	20
5	41	20
6	35	20

[ASTM D 5191].

**c. Número de octano**

Es un indicador utilizado para determinar la capacidad antidetonante de la gasolina, el cual será detallado más adelante. Existen dos métodos para determinar la capacidad antidetonante, los cuales son, el número de octano de investigación, o RON (research octane number), y el número de octano de motor, o MON (motor octane number).

**d. Índice antidetonante, AKI ((RON+MON)/2 Octanaje de bomba)**

Es el promedio aritmético del número de octano RON y el MON. No se especifican los límites, pero los cambios en los requerimientos de los motores de acuerdo a la temporada y a la localidad se evalúan y discuten a lo largo del año en USA. Los números de octano son referidos al nivel del mar. Sin embargo, una mayor altitud hará que el valor del índice antidetonante disminuya [ASTM D 5191].

**e. Contenido de plomo**

Para combustibles con plomo (prohibidos en Guatemala), 1.1 g Pb / L máximo; para gasolinas sin plomo, 0.013 g Pb / L máximo [faqs.org].

**f. Corrosión del alambre de cobre**

La propiedad del combustible de oxidar cobre limpio, indicando la presencia de cualquier cantidad de compuestos con azufre [faqs.org].

**g. Contenido máximo de azufre**

El azufre afecta negativamente los catalizadores de gases de combustión y puede llegar al ambiente a través de los gases de combustión como óxidos de azufre contaminantes [faqs.org].

**h. Presencia de gomas**

Limita de la cantidad de gomas presentes en el combustible al momento de realizar los análisis a 5 mg/100mL. Los resultados no se correlacionan con los depósitos en el motor, acusados por la evaporación del combustible [faqs.org].

**i. Estabilidad mínima de oxidación**

Ésta asegura que el combustible permanezca químicamente estable, y no forme gomas adicionales durante los períodos de distribución del mismo, los cuales pueden ser de tres a seis meses. La muestra se calienta con oxígeno dentro de una cámara a presión, y se mide el tiempo en el que se logra tomar una cantidad considerable de oxígeno extra [ASTM D 5191].

**j. Tolerancia al agua**

Es la temperatura máxima que causa la separación de las fases de los combustibles oxigenados. El término se utiliza para indicar la habilidad de las mezclas de gasolina y oxigenados de disolverse en agua sin una separación de fases. Éste no es problema para las gasolinas que utilizan mezclas con éter, pero es un problema principal en las gasolinas que contienen alcohol, debido a que los alcoholes con bajos pesos moleculares se disuelven en agua a alrededor de 0.1% a 0.7% (m/m). Al disolverse en agua, los alcoholes forman una solución acuosa que es altamente corrosiva, lo cual afecta los motores, por lo que es estrictamente necesario llevar un control de esta propiedad en los combustibles [ASTM D 5191].

**k. Cantidad de fósforo**

Debido a que el fósforo afecta a los catalizadores, la EPA limita la cantidad de fósforo en las gasolinas a 0.0013g P/L [ASTM D 5191].

### **3. Efectos de las propiedades de los combustibles**

**a. Volatilidad**

La volatilidad afecta las emisiones evaporativas y la manejabilidad, y es una propiedad obligatoriamente que debe cambiar con las localidades y las temporadas. Un combustible con una volatilidad indicada para un clima cálido tropical sería difícil e incluso imposible utilizarlo en un clima frío del ártico. El uso indebido del combustible puede provocar dificultades en el arranque en climas fríos, congelamiento del carburador, *vapour lock* en climas cálidos y dilución del aceite del motor. La volatilidad es controlada a través de la destilación y de las especificaciones de la presión de vapor. Las fracciones de alto punto de ebullición de la gasolina tienen efectos significativos en los niveles de emisión de hidrocarburos y aldehídos indeseables, y

una reducción de 40°C en el punto final de ebullición reducirá los niveles de benceno, butadieno, formaldehído y acetaldehído en un 25%, y reducirá las emisiones de HC en un 20% [ASTM D 5191].

#### **b. Características de combustión**

Debido a que las gasolinas contienen principalmente hidrocarburos, la única variable considerable entre diferentes grados de gasolina es el número de octano del combustible, al ser la mayoría de las demás características muy similares. La adición de oxigenados cambia los caminos de las reacciones de combustión, y también reduce el contenido energético del combustible [ASTM D 2700].

#### **c. Estabilidad**

Los combustibles pueden ser almacenados hasta por 6 meses, y por lo tanto no debe formar gomas que puedan producir precipitados. Reacciones de los Hidrocarburos insaturados pueden producir gomas (estas reacciones pueden ser catalizadas con metales tales como el cobre), por lo que se agregan antioxidantes e inhibidores de metal. Las gomas existentes sirven para determinar la cantidad de goma en el combustible al momento de realizar los análisis, mientras la estabilidad de oxidación determina el tiempo que tarda el combustible en oxidarse a 100°C en una atmósfera de 100psi de oxígeno. Un análisis de 240 minutos ha sido probado suficiente para la mayoría de los sistemas de almacenaje y distribución [ASTM D 2700].

#### **d. Corrosión**

El azufre del combustible produce corrosión, y cuando se quema produce gases corrosivos que atacan al motor, al sistema de escape de gases y al medio ambiente. Asimismo el azufre ataca a los compuestos con plomo mejoradores del octano, y afecta negativamente al catalizador de gases de combustión, pero los catalizadores monolíticos se recuperarán cuando el nivel de azufre baja, por lo que el azufre es considerado como un inhibidor, en lugar de un veneno para el catalizador. La prueba del alambre de cobre determina la cantidad de azufre activo presente en el combustible, mientras que la prueba de contenido de azufre mide el total de azufre presente [ASTM D 2700].

#### 4. Composición típica de la gasolina

A continuación se listan los hidrocarburos más representativos de las gasolinas. Es importante notar que los números de octano se derivan de un 20% de la mezcla de combustible 60:40 iC8:nC7, y la extrapolación de este 20% a 100% [faqs.org].

Tabla 2. Composición química típica de las gasolinas

	RON	MON	Punto de Ebullición (±0.5°C)	Densidad (g/mL a 15°C)	Temperatura de Autoignición (±0.5°C)
<b>15% n-parafinas</b>					
n-butano	113	114	-0.5	gas	370
n-pentano	62	66	35	0.626	260
n-hexano	19	22	69	0.659	225
n-heptano (0:0 por definición)	0	0	98	0.684	225
n-octano	-18	-16	126	0.703	220
n-decano	-41	-38	174	0.73	210
n-dodecano	-88	-90	216	0.75	204
n-tetradecano	-90	-99	253	0.763	200
<b>30% iso-parafinas</b>					
2-metilpropano	122	120	-12	gas	460
2-metilbutano	100	104	28	0.62	420
2-metilpentano	82	78	62	0.653	306
3-metilpentano	86	80	64	0.664	
2-metilhexano	40	42	90	0.679	
3-metilhexano	56	57	91	0.687	
2,2-dimetilpentano	89	93	79	0.674	
2,2,3-trimetilbutano	112	112	81	0.69	420
2,2,4-trimetilpentano	100	100	98	0.692	415
( 100:100 por definición )					
<b>12% cicloparafinas</b>					
Ciclopentano	141	141	50	0.751	380
metilciclopentano	107	99	72	0.749	
ciclohexano	110	97	81	0.779	245
metilciclohexano	104	84	101	0.77	250
<b>35% aromáticos</b>					
benceno	98	91	80	0.874	560
tolueno	124	112	111	0.867	480
etil benceno	124	107	136	0.867	430
meta-xileno	162	124	138	0.868	463
Para-xileno	155	126	138	0.866	530

	RON	MON	Punto de Ebullición (±0.5°C)	Densidad (g/mL a 15°C)	Temperatura de Autoignición (±0.5°C)
Orto-xileno	126	102	144	0.87	530
3-etiltolueno	162	138	158	0.865	
1,3,5-trimetilbenceno	170	136	163	0.864	
1,2,4-trimetilbenceno	148	124	168	0.889	
<b>8% olefinas</b>					
2-penteno	154	138	37	0.649	
2-metilbuteno-2	176	140	36	0.662	
2-metilpenteno-2	159	148	67	0.69	
Ciclopenteno	171	126	44	0.774	
( las siguientes olefinas no están presentes en cantidades significativas en gasolina, pero tienen algunos de los niveles más altos de número de octano )					
1-metilciclopenteno	184	146	75	0.78	
1,3 ciclopentadieno	218	149	42	0.805	
diciclopentadieno	229	167	170	1.071	

[faqs.org]

Tabla 3. Propiedades de los Oxigenados

	RON	MON	Punto de Ebullición (±0.5°C)	Densidad (g/mL a 15°C)	Temperatura de Autoignición (±0.5°C)
Metanol	133	105	65	0.796	385
Etanol	129	102	78	0.794	365
alcohol isopropílico	118	98	82	0.79	399
metil terbutil éter	116	103	55	0.745	
etil terbutil éter	118	102	72	0.745	
teramil metil éter	111	98	86	0.776	

[faqs.org]

Existen otras características de los oxigenados que deben ser consideradas cuando sean utilizados como combustibles, particularmente su habilidad de formar compuestos azeotrópicos muy volátiles, las cuales causan que la presión de vapor del combustible aumente, la naturaleza química de las emisiones, y su tendencia a separarse en una fase acuosa en la presencia de agua [faqs.org].

## 5. Octanaje

### a. Historia

En 1927 Graham Edgar sugirió la utilización de dos hidrocarburos que podían ser producidos en pureza y cantidad suficiente para realizar las primeras pruebas de antidetonante. Estos compuestos fueron "Heptano normal", el cual era fácilmente obtenible con gran pureza a través de la destilación de aceite de pino por el método de Jeffrey, y "un octano llamado 2,4,4-trimetil pentano" el cual él mismo produjo. Hoy este compuesto se llama isooctano, o 2,4,4-trimetil pentano. El octano tenía un gran valor antidetonante, y él sugirió utilizar la razón de mezcla de ambos como indicador de referencia [ASTM D 975].

La razón por la cual se empezó utilizando estos compuestos radica en que ambos tienen propiedades muy similares de volatilidad, y puntos de ebullición, por lo que las mezclas de 0:100 y 100:0 no deben tener grandes diferencias de volatilidad que afecten el análisis.

Tabla 4. Características de los compuestos referencia

	<b>Punto de Fusión (<math>\pm 0.5^\circ\text{C}</math>)</b>	<b>Punto de Ebullición (<math>\pm 0.5^\circ\text{C}</math>)</b>	<b>Densidad (<math>\pm 0.05\text{g/mL}</math>)</b>	<b>Calor de evaporación (MJ / Kg)</b>
N-heptano	-90.7	98.4	0.684	0.365 a $25^\circ\text{C}$
Iso-Octano	-107.45	99.3	0.6919	0.308 a $25^\circ\text{C}$

[ASTM D 975]

### b. Definición

Para obtener la máxima energía posible de la gasolina, la mezcla comprimida de gasolina y aire dentro de la cámara de combustión, necesita quemarse normalmente, propagándose hacia afuera de la candela de ignición hasta que todo el combustible se haya consumido. Esto daría como resultado un movimiento de pistón óptimo. En la realidad, ocurre una serie de reacciones anteriores a la combustión en los gases remanentes no quemados del ciclo de pistón anterior, antes de que llegue la llama de la combustión. Si estas reacciones forman moléculas o compuestos que se pueden autoencender antes de que llegue la llama de la combustión normal, ocurrirá el golpeteo [ASTM D 2699].

Explicado de otra manera, el valor de octanaje del combustible refleja la habilidad que tienen los gases remanentes no quemados a resistirse a la autoignición espontánea, bajo las condiciones del motor de análisis. Al ocurrir la autoignición se eleva dramáticamente la presión de la cámara de combustión, ya que ambas, la llama iniciada por la chispa y el autoencendido, se expanden rápidamente al mismo tiempo. El pico de presión en la cámara de combustión llega justo antes de tiempo del pico normal de operación, lo cual implica una pérdida considerable de potencia y energía y un eventual sobrecalentamiento del motor. Las ondas de presión de los gases remanentes se superponen a las ondas normales, lo cual provoca oscilaciones en los patrones de cambio de presión, creando así el sonido del golpeteo.

La combinación de fuertes ondas de presión junto con el sobrecalentamiento del motor, puede producir una falla en el pistón en cuestión de pocos minutos. El golpeteo y la preignición son favorecidos por las altas temperaturas, por lo que se puede iniciar un círculo en el que uno lleve a lo otro. Bajo condiciones de alta velocidad en el motor, el golpeteo puede originar la preignición, lo cual acelera la destrucción del motor [ASTM D 2699].

### **c. Características antidetonantes**

Durante la oxidación (combustión) de un hidrocarburo combustible, los átomos de hidrógeno son removidos de la molécula en cierto momento, por reacciones de especies de radicales pequeños (tales como OH y HO<sub>2</sub>), y átomos de O e H. La fuerza de los enlaces de carbono e hidrógeno dependen de con quién esté enlazado el carbono. Cadenas largas y lineales como el heptano tienen enlaces secundarios de carbono-Hidrógeno, los cuales son significativamente más débiles que los enlaces primarios de las cadenas ramificadas tales como el isoctano [ASTM D 2699].

El valor del octanaje de los hidrocarburos es determinado por la estructura de la molécula. Las moléculas largas y lineales producen grandes cantidades de especies de descomposición de preflama, fácilmente autoencendibles, mientras que las cadenas ramificadas y las aromáticas son bastante más resistentes. Esto explica a su vez por qué disminuye el número de octano de las parafinas al aumentar su número de carbonos. En la vida real, los gases remanentes que van por delante de la llama de combustión, se encuentran en ambientes de hasta 700°C, debido a la compresión de la cámara y al calor conductivo y radiante. Estas reacciones ocurren en distintas etapas térmicas, empezando la primera etapa (debajo de 400°C) por la adición de oxígeno molecular a los radicales alquilo libres, seguida por la transferencia interna de átomos de hidrógeno con los de los nuevos radicales, para formar una especie insaturada que contiene oxígeno. Estas nuevas especies son susceptibles a formar ramificaciones en las cadenas, en las

cuales está involucrado el radical  $\text{HO}_2$  durante la etapa intermedia de temperatura (400-600°C), debido primordialmente a la producción de radicales de OH. Por encima de los 600°C, la reacción más importante que produce ramificaciones en la cadena es la reacción de un átomo de Hidrógeno radical con oxígeno molecular para formar radicales de O y OH [ASTM D 2699].

La adición de aditivos tales como alquilos de plomo y oxigenados pueden afectar las vías de reacción de preflama. Los aditivos antidetonantes interfieren en diferentes puntos de las reacciones de preflama; los oxigenados retardan las reacciones indeseables a bajas temperaturas, y los alquilos de plomo reaccionan en la etapa intermedia de temperatura para inactivar la formación de cadenas indeseables de carbono [ASTM D 2699].

La capacidad antidetonante está relacionada con la temperatura de auto ignición de los hidrocarburos. Sin embargo, el antidetonante no está íntimamente relacionada con:

**El contenido energético del combustible.** Esto debería ser obvio, al tener los oxigenados un menor contenido energético que los hidrocarburos, pero tiene altos octanajes.

**La velocidad de llama de la mezcla convencional del combustible encendido.** Esto se hace evidente a partir de las similitudes de las dos mezclas de hidrocarburos de referencia (iC8 y nC7). A pesar de que la velocidad de llama no juega un papel importante en el proceso, (hay varios factores que son mucho más importantes, tales como la razón de compresión, la estequiometría (aire combustible), la forma de la cámara de combustión, la estructura química del combustible, la presencia de aditivos antidetonante, número y posiciones de las candelas de ignición, turbulencia, etc.) la velocidad de llama no se relaciona con el octanaje [ASTM D 2699].

#### d. MON y RON

##### 1) Historia

El nombre correcto para la fórmula de  $(\text{RON} + \text{MON})/2$  es "Índice Antidetonante" (no octanaje), y ésta es aún el criterio de calidad más importante para los combustibles.

Los primeros métodos de medición de golpeteo, desarrollados en la década de los años veinte, resultaron ser bastante imprecisos, y bastante variantes en cuanto a condiciones de operación del motor. En 1928, el Comité de la Cooperativa de Investigación del Combustible (Cooperative Fuel Research, CFR), formó un subcomité para desarrollar un instrumento de medición de golpeteo uniforme, basándose en los ya existentes. Llegaron a desarrollar un motor especial de un

cilindro, de válvula en la cabeza, enfriado por agua, con compresión variable de 3.5" de diámetro y 4.5" de tiro. El indicador de golpeteo era del tipo de alfiler oscilante. Este subcomité seleccionó las condiciones de análisis muy similares a las que se utilizan hoy en día en el método de la ASTM. Sin embargo, los resultados de las pruebas de correlación que realizaron en ese entonces (Década de los 30) presentaron grandes discrepancias, por lo que se vieron forzados a cambiar las condiciones de operación (velocidad de motor más rápida, una mezcla caliente de aire combustible, y perfiles avanzados y definidos de las chispas de ignición). Fue así como se creó un primer método de medición de octano de la ASTM. Durante varias década, varios tipos de métodos de medición de octanaje han sido ideados, sin embargo no ha habido uno más preciso que el de el motor CFR mejorado [ASTM D 86].

Durante las décadas de los 40 a los 60, el método de la CFR adquirió gran importancia por ser más representativo de los requerimientos de los automovilistas que utilizaban el combustible disponible en esa época. A finales de la década de los 60, los constructores de automóviles alemanes descubrieron que sus motores se autodestruían durante largos viajes, a pesar que el Octano (RON) estaba dentro de especificación. Descubrieron entonces que se debía especificar el MON, o la sensibilidad (la diferencia numérica entre el RON y MON) debían ser especificados también. Hoy en día, especialmente en Europa, existe una preocupación real de la alta sensibilidad de algunos combustibles que son vendidos comercialmente [ASTM D 86].

El desarrollo de los motores y los vehículos afecta significativamente el requerimiento de ambos octanajes del combustible, RON y MON. En la década de los 30, los automóviles eran sensibles a los niveles de RON del combustible, sin embargo no les afectaba en lo absoluto el valor de MON que tuviera el mismo. Los vehículos actuales, han sido desarrollados de tal manera que no exista ningún golpeteo una vez que un cambio en el Ron sea compensado inmediatamente con un cambio contrario y similar del MON [ASTM D 86].

## **2) MON**

El método MON representa habilidad antidetonante del combustible en condiciones extremas de alta velocidad sostenida, y gran carga (exigiéndole al motor lo más posible). Para la mayoría de combustibles de hidrocarburos, incluyendo aquellos con oxigenados o plomo, el número de octano de motor (MON) será menor que el RON [faqs.org].

### 3) RON

Este método representa la habilidad de antidetonante del combustible durante condiciones normales de operación del motor, sin mayores velocidades o cargas en el mismo.

### 4) Sensibilidad

La sensibilidad es la diferencia entre las dos características de Octanaje (RON-MON = Sensibilidad). Debido a que ambos métodos utilizan condiciones de operación distintas, especialmente las temperaturas del aire de entrada y las velocidades de los motores, un motor que es sensible a los cambios en las condiciones de operación tendrá una mayor diferencia de golpeteo en los distintos métodos. Los combustibles modernos tienen sensibilidades de alrededor de 10. En los USA, la gasolina regular (Índice de antidetonante 87) sin plomo debe tener un MON mayor a 82, para evitar combustibles con sensibilidades altas. En Europa existe gran preocupación debido a que muchos combustibles no llegan al mínimo estándar de 85 MON [ASTM O 5191].

### 5) Distribución de octanaje

La combinación del motor y el vehículo presenta requerimientos específicos para el octanaje que dependen del combustible. Si el octano es distribuido irregularmente a través del punto de ebullición de un combustible, el motor puede golpetear con una marca determinada de combustible de 87 octanos, y no hacerlo con alguna otra marca. Esta **distribución de octanos** toma especial importancia cuando ocurren cambios bruscos en la carga de un vehículo, cuando se acelera bruscamente o cuando se lleva a altas velocidades. El combustible, al tener diferentes puntos de ebullición, se puede separar en el carburador, con la fracción más volátil llegando a la cámara de combustión primero, y, si dicha fracción es pobre en octanos, ocurrirá un golpeteo hasta que llegue a la cámara de combustión la fracción menos volátil del combustible, con un octanaje mayor [ASTM O 2699].

Varias especificaciones de los combustibles incluyen los Delta RON, para asegurarse que la distribución del octano a lo largo del rango de ebullición del combustible sea consistente. La distribución de octano no era problema con las gasolinas que contenían alquilo de plomo, ya que los perfiles de volatilidad del tetrametil plomo y el tetraetil plomo, estaban bien identificados y caracterizados, pero puede ser un problema grave para las nuevas gasolinas con bajos contenidos de aromáticos, ya que el MTBE ebulle a 55°C mientras que el etanos ebulle a 78°C. Puede llegar a ocurrir que la gasolina de 87 octanos de una marca de combustible tenga que ser

sustituída por una de 89 octanos de otra marca, gracias a la combinación de su estilo de manejo, diseño de motor, masa del vehículo, distribución del octanaje, volatilidad y los tipos de mejoradores de octano utilizados [ASTM D 5191].

## **6) Delta RON**

Este valor es una medida de la distribución del octanaje en el combustible, para asegurar que el combustible no tenga problemas de separación de octanaje, tal y como se mencionó anteriormente [faqs.org].

En este método de medición, el combustible se destila cuidadosamente, a manera de obtener fracciones de destilados que ebullican a una temperatura específica, la cual normalmente es 100°C. Ambos valores de octanaje, el de la muestra maestra y el del destilado se analizan utilizando el método de RON. La diferencia entre los valores RON de éstos es el Delta RON. Estos valores son relevantes para automóviles y motores con inyectores, debido a que en éstos el combustible no se calienta antes de llegar a la cámara de combustión, como pasa en el carburador de los autos convencionales [faqs.org].

### **e. Propiedades que afectan el octanaje del combustible**

Muchas otras propiedades del combustible afectan el octanaje del mismo. La propiedad más significativa y determinante del octanaje es la estructura química de los hidrocarburos y su respuesta a la adición de aditivos mejoradores de octano. Otros factores incluyen:

Volatilidad de los Compuestos livianos. Las parafinas son los compuestos mayoritarios en la gasolina, y su octanaje disminuye al alargarse la cadena de carbonos lineales, y se mejora al incrementarse la cadena de carbono con más ramificaciones, o al tener más ramificaciones en la cadena.

Punto final de Ebullición. Disminuciones en el punto final de ebullición incrementan el número de octano del combustible. Gasolinas de avión tienen puntos de ebullición más bajos que las gasolinas convencionales. Es importante notar que los puntos finales de ebullición se están disminuyendo, ya que fracciones de mayor temperatura de ebullición son las responsables de cantidades desproporcionadas de contaminantes y toxinas.

Tendencia a la preignición. Es un círculo, el golpeteo produce preignición (altas temperaturas), y éste a su vez produce golpeteo.

**f. Efectos del octanaje en el motor**

Si se utiliza un combustible con un octanaje menor, y si el automóvil tiene sistemas de manejo del motor, éstos moverán los ajustes del motor a manera que se elimine el golpeteo, dando como resultado una reducción del poder y potencia del combustible, así como de la economía del combustible. Los paquetes de aditivos adaptan a los motores utilizando el combustible. Por ejemplo, los aditivos que se agregan al combustible para limpiar las válvulas de inyección generalmente están más concentrados en las gasolinas de mayor calidad y octanaje. Si el vehículo no tiene un sistema sensor del golpeteo, el cual pueda ajustar, entonces el utilizar un combustible con una especificación considerablemente más baja de octanaje significa que estará destruyendo su motor al existir golpeteos [ASTM D 975].

Se deben seguir las recomendaciones de los constructores de motores respecto al octanaje óptimo del vehículo, sin embargo, también es cierto que el requerimiento de octanaje de un vehículo específico puede tener un rango de 6 números de octano [ASTM D 975].

**g. Número de octano requerido (ONR)**

El requerimiento específico del octanaje en un motor se denomina ONR, y se determina mediante la utilización de una serie de combustibles referencia que pueden ser mezclas de iso-octano con n-heptano, o simplemente gasolinas comerciales. El vehículo se prueba bajo una gran gama de condiciones y cargas, utilizando combustibles de octanaje cada vez menor, hasta que se detecta algún tipo de golpeteo en el motor. Las condiciones de operación que requieren el máximo octanaje no son consistentes, pero normalmente es la aceleración máxima desde velocidades pequeñas, utilizando en cajas mecánicas, la velocidad menor posible. El número máximo de ONR es el de mayor interés, debido a que normalmente define cuál es el combustible [ASTM D 975].

**h. Efecto de los Depósitos en las Válvulas del Motor**

Un motor nuevo puede requerir un combustible con seis a nueve números de octano menos que el mismo motor luego de 25,000Km. Este incremento en el requerimiento del octano (ORN) se debe a la formación de una mezcla inorgánica y orgánica que se precipita en las paredes del motor, la cual proviene del combustible y el lubricante. A medida que el motor comienza a quemar lubricante, se eleva nuevamente el requerimiento de octanaje. Los incrementos de ORN

pueden llegar a ser de hasta 12 números, dependiendo de los estilos de manejo. Los depósitos de los precipitados producen incrementos en los ORN por diversas razones:

- Reducen el volumen de la cámara de combustión, aumentando la razón de compresión del motor.
- Reducen la conductividad térmica, por lo que elevan la temperatura de las cámaras de combustión
- Catalizan reacciones indeseables de preflama que producen gases con temperaturas bajas de auto ignición

[faqs.org]

## **6. Utilización de combustibles de mejor calidad**

Muchos productores de combustible han demostrado que sus combustibles con paquetes de aditivos son mucho más efectivos que las gasolinas convencionales. Una petrolera importante anunciaba que su aditivo de fase vapor líquido podía reducir los depósitos del motor hasta en un 30%, mejorar la economía de motor y reducir las emisiones de NOx en un 15%, en comparación con los aditivos de fase líquida. Los combustibles de calidad generalmente llevarán paquetes de aditivos que mejorarán el funcionamiento de su motor, llevándolo desde una economía en el uso de combustible, hasta una economía mayor, por necesitar un menor mantenimiento a su motor [ASTM D 1298].

Las gasolinas de baja calidad generalmente pueden contener una cantidad alta de oxigenados, a fines de elevar el número de octano de la misma, para su comercialización. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, los oxigenados tienen un valor energético menor, por lo que el vehículo perderá potencia a pesar de tener combustible de buen octanaje, y será necesario compensar esa pérdida de potencia incrementando el flujo de combustible a la cámara de combustión (encareciendo el funcionamiento). Asimismo, los oxigenados tienden a formar mezclas de grandes diferencias de octanos en una misma gasolina, por lo que puede llegar a existir golpeteo por utilizar combustible con alto número de oxigenados, lo cual contribuye al deterioro del motor [ASTM D 1298].

## **7. Aditivos y Combustibles Alternos**

Algunos otros aditivos especiales son agregados a los combustibles de calidad, los cuales son cuidadosamente formulados en la refinería por el productor y mezclados en el combustible, ya sea en la misma refinería, o en las terminales de almacenamiento. Generalmente estos aditivos pasan años en evaluaciones, antes de ser colocados en el mercado. [1,2].

Una gasolina típica de alta calidad puede contener:

### **a. Colorante orgánico**

Inicialmente añadido a la gasolina con plomo, a razón de 10ppm para prevenir su mal manejo como solvente industrial, ahora es utilizado para identificar los diferentes grados de producto. Cada grado de combustible tiene un color diferente, el cual varía de país en país. En Guatemala, la gasolina regular (87 octanos) es de color naranja, la súper (95 octanos) de color rojo, y el diesel de color verde [ASTM D 1298].

### **b. Antioxidantes**

Normalmente diaminas de fenileno o fenoles compuestos, se añaden para prevenir la oxidación de los hidrocarburos insaturados [ASTM D 4814].

### **c. Inhibidores de metal**

Normalmente cerca de 10ppm de algún tipo de agente quelante. Por ejemplo, la N-N'-disalicilideno-1,2propanodiamina se utiliza para inhibir el cobre, el cual cataliza rápidamente la oxidación de los hidrocarburos insaturados [faqs.org].

### **d. Inhibidores de corrosión**

Se agrega cerca de 5ppm de surfactantes orgánicos, a fin de prevenir la corrosión causada ya sea por el agua condensada por enfriamiento, por el agua saturada en la gasolina, o por el agua condensada del ambiente (generalmente en tanques bastante vacíos, que llegan a temperaturas menores a las del punto de rocío). Si la gasolina es transportada por algún tipo de oleoducto de tamaño considerable, puede haber otro tipo de inhibidor de corrosión presente en el combustible [ASTM D 4814].

**e. Aditivos anticongelantes**

Éstos son utilizados principalmente en motores carburados, y son generalmente surfactantes, alcoholes o glicoles [faqs.org].

**f. Aditivos antidesgaste**

Estos son utilizados para controlar el desgaste de la parte superior de los cilindros y de los anillos de los pistones, en las partes en donde la gasolina entra en contacto. Usualmente son hidrocarburos aceitosos livianos. Aditivos de fósforo pueden ser utilizados en motores sin catalizadores de gases de combustión [faqs.org].

Aditivos detergentes limpiadores de depósitos, normalmente surfactantes.

1. Depósitos en el carburador. Se utilizan aditivos para prevenir estos depósitos fueron necesarios al introducir los sistemas de control de la recirculación de los gases de combustión. Algunos compuestos reaccionaron con estas corrientes de gas para formar depósitos en la entrada y en la plataforma del carburador.
2. Las puntas de los inyectores operan normalmente alrededor de los 100°C, y se forman depósitos en la punta de los mismos, debido principalmente a la oxidación y a la polimerización de los hidrocarburos insaturados más largos. Los aditivos que previenen que se obstruyan las vías de salida de los inyectores son usualmente succinimidas de polibuteno o aminas polietéricas.
3. Los depósitos de las válvulas de entrada causaron grandes problemas en los años 80s, cuando muchos motores sufrieron disminuciones considerables de manejabilidad al llegar a temperatura de operación, a pesar de que los niveles de depósitos estaban por debajo de los límites aceptados en ese entonces. Se estimó que los nuevos combustibles y diseños de motor estaban produciendo un depósito mucho más absorbente, que tomaba parte del combustible vaporizado, causando trastornos en el funcionamiento del motor. Las válvulas de entrada de combustible operan alrededor de 300°C, y si se mantiene húmeda la válvula, no se tienden a formar depósitos, por lo que los inyectores intermitentes tienden a formar depósitos. Las fugas de aceite de a través de las válvulas pueden ser beneficiosas y dañinas, dependiendo de la cantidad y el tipo de aceite. Algunos compuestos de las gasolinas que se depositan en las válvulas son los hidrocarburos insaturados o los alcoholes. Los aditivos que previenen este tipo de problemas contienen detergentes y dispersantes disueltos en un solvente de peso

molecular alto, o un aceite liviano con una volatilidad que mantiene las superficies de las válvulas húmedas. [faqs.org].

4. Los depósitos de la cámara de combustión han sido especialmente tratados, ya que son los responsables de incrementos significativos de las emisiones. Nuevos aditivos detergentes dispersantes pueden activarse en ambas fases, líquida y vapor, y de esa manera remover los depósitos existentes que han sido resultado del uso de otros aditivos, y además previenen la formación de nuevos depósitos. Es importante notar que estos aditivos no remueven todos los depósitos, sólo aquellos que fueron resultado de otros aditivos [faqs.org].

#### **g. Mejoradores de octanaje**

Éstos son generalmente mezclas de alquilos de plomo o compuestos de MMT, en solventes tales como tolueno, y se añaden al combustible en una relación de 101-1000ppm. Éstos están siendo reemplazados por hidrocarburos con alto octanaje, tales como aromáticos y olefinas. Estos hidrocarburos están siendo reemplazados a su vez por mezclas de hidrocarburos saturados y oxigenados [faqs.org].

### **8. Diesel**

Al igual que la gasolina, el diesel es una mezcla de hidrocarburos, con la diferencia de que éstos son de cadena media larga, y generalmente tienen rangos de temperatura de ebullición de 280°C a 340°C a presión atmosférica, lo cual lo convierte en un combustible de mayor peso molecular y mayor densidad [grabner-instruments.com].

#### **a. Especificaciones del Diesel**

Las propiedades de los combustibles dependen de los procesos de refinación a los cuales son sometidos, así como de la naturaleza de los aceites crudos de petróleo de los cuales son producidos. Así, dos combustibles obtenidos de un rango de destilación similar, pueden presentar grandes diferencias en sus propiedades, tales como volatilidad, calidad de ignición y viscosidad, entre otras [grabner-instruments.com].

#### **b. Tipos de diesel**

De acuerdo a sus propiedades, se puede dividir la gama de combustibles diesel en 5 tipos diferentes:

**Grado 1-D Bajo azufre.** Contiene la clase de combustibles de baja cantidad de azufre que son volátiles, desde la kerosina hasta los destilados intermedios. Estos combustibles se utilizan en motores de altas velocidades con cambios considerables de carga [grabner-instruments.com].

**Grado 2-D Bajo azufre.** Es un combustible de uso general, para motores automotores diesel que requieren bajos contenidos de azufre. Pueden ser utilizados en aplicaciones no automotrices que requieran cambios en la velocidad y la carga. Este es el tipo de diesel utilizado en Guatemala para la venta a automóviles [grabner-instruments.com].

**Grado 1-D.** Un destilado liviano de uso especial para motores diesel automotrices que requieren volatilidades mayores a las del Grupo 2-D [grabner-instruments.com].

**Grado 2-D.** Un destilado medio de uso general, utilizado primordialmente en automóviles diesel, el cual es también adecuado para otras aplicaciones, especialmente en condiciones de variante velocidad y carga [grabner-instruments.com].

**Grado 4-D.** Un destilado pesado, o una mezcla de destilado pesado con aceite residual, utilizado para motores diesel de baja a media velocidad para aplicaciones no automotrices, predominantemente de velocidad y carga constante [grabner-instruments.com].

### c. **Propiedades**

#### 1) **Número de cetano**

El número de cetano es una medida de la calidad de ignición del diesel. Comúnmente puede confundirse esta propiedad con la calidad del combustible, mientras que es una medida de la calidad de su tiempo de ignición. El tiempo de ignición es el tiempo que demora el combustible en comenzar a quemarse desde que ha sido inyectado a la cámara de combustión. En un motor diesel en particular, números de cetano mayores tendrán mejores tiempos de demora de la ignición que los que tienen un menor número de cetano [grabner-instruments.com].

El número de cetano no debe ser considerado por separado al evaluar la calidad del diesel. Para determinarla, es necesario también hacer pruebas de gravedad API, contenido energético, rangos de destilación, contenido de azufre, estabilidad, conductividad y temperatura de encendido por chispa [grabner-instruments.com].

El método ideal para determinar el número de cetano del diesel es el ASTM D-613. Este método requiere del uso de un motor estándar equipado con instrumentación adecuada para operador bajo determinadas condiciones. En el análisis, se varía la relación de compresión para la muestra y para los combustibles de referencia de determinado (y conocido) número de cetano, para obtener un tiempo de demora de ignición fijo. La relación de compresión de la muestra a medir

se coloca a manera que quede dentro de la relación de compresión de dos muestras conocidas, con lo cual se determina el número de cetano de la muestra por cualquiera de los métodos a utilizar [grabner-instruments.com].

Debido a que el análisis de la ASTM para el número de cetano es bastante difícil y costoso, se sustituye la prueba por el índice de cetano. Este índice de cetano calculado se deriva de la densidad del combustible y sus rangos de destilación. A pesar de ser realmente útil para determinar el índice de cetano de los destilados del combustible, esta técnica no es aplicable para diesel que contenga aditivos que mejoren el número de cetano. Los aditivos generalmente no cambian la densidad del perfil de destilación, por lo que no alteran el índice de cetano calculado [grabner-instruments.com].

## **2) Efectos del Cetano**

La norma ASTM D-975 indica, "Los requerimientos de número de cetano dependen del diseño del motor, su tamaño, la naturaleza de sus variaciones de velocidad y carga, y a las condiciones atmosféricas y de arranque. Un número de cetano mayor que el estipulado por el fabricante del motor no mejora significativamente el desempeño del mismo. Así, el número de cetano utilizado debe ser el mínimo posible para asegurar la máxima disponibilidad de combustible." Esta cita circunscribe la importancia de alinear los requerimiento de cetanaje de los motores, con el número de cetano del combustible [faqs.org].

Los combustibles diesel que poseen números de cetano menores que los requeridos por el motor, pueden causar una brusca operación del motor. Éstos se tornan mucho más difíciles de encender, especialmente en climas fríos o a grandes alturas. Estos combustibles (bajos en cetano) aceleran la formación de depósitos de aceite dentro del motor, lo cual conlleva a una combustión pobre, generando una cantidad mayor de humo, así como de emisiones tóxicas, y por supuesto, el desgaste del motor [faqs.org].

De igual manera, el uso de combustibles que poseen números de cetano indicados de acuerdo al motor, mejora el encendido, reduce las emisiones de humo durante el arranque y las de gases contaminantes en general, mejora la economía, e incrementa el tiempo de vida del motor, reduciendo el ruido y la vibración [faqs.org].

### **3) Mejoradores de Cetano**

Los combustibles diesel son producidos tanto directamente de la destilación del crudo como a partir del rompimiento de las cadenas largas de hidrocarburos. Por la naturaleza del proceso de craqueo, los hidrocarburos quebrados en refinería tienen números de cetano más bajos que los parafínicos, por su contenido de aromáticos. Para lograr el número de cetano requerido, se agregan mejoradores de cetano a las mezclas de diesel. Se agregan a mezclas debido a que los compuestos quebrados en refinería responden menos a éstos que los combustibles parafínicos [faqs.org].

Los mejoradores de cetano modifican la combustión en el motor, promoviendo una ignición temprana y uniforme en el combustible. Asimismo, evitan la combustión prematura y el exceso del incremento de presión en el ciclo de combustión. Dependiendo de la razón de la mezcla de combustibles de alto bajo cetano, tratamientos típicos de aditivos de nitrato de alquilo pueden aumentar el cetano entre 3 y 5 números (en relación 1:1000). Con una cantidad alta de compuestos parafínicos, una relación de 1:500 será suficiente para elevar el número de cetano en 7 unidades [faqs.org].

### **4) Volatilidad**

Los requerimientos de viscosidad dependen del diseño del motor, tamaño, naturaleza de sus variaciones de velocidad y carga y las condiciones atmosféricas de arranque. En motores automotores, un diesel de mayor volatilidad proveerá un mejor rendimiento, particularmente con relación a humo y al olor. Sin embargo, la mejor economía del combustible se obtiene de utilizar mezclas más pesadas del mismo, por su alto contenido energético [grabner-instruments.com].

### **5) Viscosidad**

Es ventajoso para algunos motores especificar un mínimo de viscosidad, debido a la posible pérdida de potencia por la habilidad de la bomba de inyección de proveer combustible a la cámara de combustión. De igual manera el valor máximo de la viscosidad depende del diseño de los sistemas de inyección del motor [grabner-instruments.com].

### **6) Residuos de carbono**

Esta propiedad indica las tendencias del diesel a formar depósitos de carbono al ser calentado a ciertas condiciones de temperatura y presión. A pesar de no ser correlación con los depósitos

del motor, ésta es una propiedad considerada una aproximación de los mismos [grabner-instruments.com].

### **7) Azufre**

La presencia de un exceso de azufre en el diesel puede afectar el desempeño del sistema de control de emisiones. Para asegurar la disponibilidad del diesel, se debe especificar la cantidad máxima de azufre que puede ser soportada por los motores [grabner-instruments.com].

### **8) Punto de ignición por chispa**

A pesar de no ser representativo en la calidad del diesel, tiene importancia en cuanto a los requerimientos de seguridad del almacenamiento y transporte [grabner-instruments.com].

### **9) Cenizas**

Compuestos generadores de ceniza pueden estar presentes en el diesel de dos maneras: sólidos abrasivos y jabones metálicos solubles. Los sólidos abrasivos contribuyen al desgaste de los pistones y anillos, así como a crear depósitos en el motor. Los jabones metálicos solubles tienen poco efecto en el desgaste, pero contribuyen a crear depósitos en el motor [grabner-instruments.com].

### **10) Corrosión del alambre de cobre**

Se utiliza para determinar la posibilidad del diesel de afectar los componentes de cobre y bronce de los motores [grabner-instruments.com].

### **11) Índice de cetano**

Es la limitación de la cantidad de compuestos aromáticos en combustibles de tipo bajo en azufre [grabner-instruments.com].

## 9. Especificaciones de los combustibles en Guatemala

Tabla 5. Especificaciones de las gasolinas

<b>Característica</b>	<b>Super</b>	<b>Regular</b>
Color	Rojo	Anaranjado
RON MÍNIMO	95	87
Presión de Vapor Reid a 37.78°C en Kpa (máximo)	4,757	4,757
estabilidad a la oxidación, en minutos, mínima	240	240
Contenido de plomo en g/L máximo	0.013	0.013
Contenido de azufre en % masa máximo	0.10%	0.10%
Contenido de azufre como mercaptano, máximo	0.005%	0.005%
Agua libre o no disuelta y sedimentos en %	Nada	Nada
Características de destilación a 1atm		
T10 Temperatura a la que se ha evaporado el 10% dela muestra °C máxima	65	65
T50 Temperatura a la que se ha evaporado el 50% dela muestra °C máxima	77-121	77-121
T90 Temperatura a la que se ha evaporado el 90% dela muestra °C máxima	190	190
TF Punto final de ebullición en °C Máxima	225	225
Residuo de destilación, en % vol máximo	2%	2%
corrosión de la tira de cobre, 3h, 50°C máximo	1	1
Prueba doctor	Negativa	Negativa
Contenido de Aromáticos	Reportar	Reportar
	Valor	Valor
Gravedad API a 15.56°C	Reportar	Reportar
	Valor	Valor

[Guatemala, 2001]

Tabla 6. Especificaciones del diesel y la kerosina

<b>Característica</b>	<b>Diesel</b>	<b>Kerosina</b>
Color		Azul
Viscosidad cinemática mL <sup>2</sup> /s a 37.78°C	1.9-4.10	1.0-1.9
corrosión de la tira de cobre, 3h, 50°C máximo	3	3
Número de cetano mínimo	45	
Índice de cetano mínimo	45	
Punto de turbidez en °C máximo	0	
Punto de Congelamiento		-30
Punto de inflamabilidad en °C, mínimo	52	38
Contenido de agua y sedimento, en % vol. Máximo	0.05%	
Contenido de azufre en % masa máximo	0.50%	0.3

<b>Característica</b>	<b>Diesel</b>	<b>Kerosina</b>
Contenido de azufre como mercaptano, máximo		0.003%
Cenizas en % masa máximo	0.01%	
Características de destilación a 1atm		
T10 Temperatura a la que se ha evaporado el 10% de muestra °C máxima	Reportar valor	205
T50 Temperatura a la que se ha evaporado el 50% de muestra °C máxima	Reportar valor	
T90 Temperatura a la que se ha evaporado el 90% de muestra °C máxima	282-350	
TF Punto final de ebullición en °C Máxima	Reportar valor	300
Punto de escurrimiento	Reportar valor	

[Guatemala, 2001]

### **III. JUSTIFICACIÓN**

El mercado de los combustibles en Guatemala se encuentra, desde ya hace unos años, en una situación difícil debido a los bajos márgenes de utilidad, guiados por la competitividad de los precios. La libre competencia ha logrado que se disminuyan los precios de los combustibles, a costa del margen de utilidad de las compañías importadoras y del de los expendedores. Para recuperar este margen perdido, muchos expendedores han reducido sus costos a través de la optimización de sus recursos, sin embargo, algunos han recurrido a vender combustible adulterado, ya sea de diferentes especificaciones al mostrado a la venta, o comprando combustible a otras compañías importadoras, las cuales no poseen los mismos estándares de calidad que los combustibles importados por las Compañías tradicionales.

El incremento de estas prácticas ha afectado directamente a Shell, al igual que a Esso y Texaco, debido a la baja en las ventas a sus expendedores, y a la mala imagen que les deja la venta de productos de baja calidad a través de la marca.

El problema que se necesita resolver no es sencillo, la distribución de gasolinas que no cumplen con los estándares de calidad de las compañías y del gobierno, se ha convertido en parte del funcionamiento del negocio en estos días. El problema es serio, ya que no sólo consiste en vender combustibles de una compañía a través de las estaciones de otra, sino que se puede extender a la violación de leyes, incluyendo la evasión fiscal y llegar a niveles de contrabando de producto.

Por estas razones, y para reforzar la calidad de los combustibles, se tiene la necesidad de establecer e implementar un proceso de control y aseguramiento de la calidad de los combustibles ofrecidos por las estaciones de servicio Shell.

## **IV. OBJETIVOS**

### **A. General**

Establecer e implementar un proceso de control y aseguramiento de calidad de combustibles a través de un laboratorio móvil que continuamente haga un muestreo, analice y garantice la calidad de los productos ofrecidos por las estaciones de servicio Shell de la República de Guatemala.

### **B. Específicos**

- 1.** Controlar y asegurar la calidad de los combustibles vendidos en las estaciones de servicio Shell, a través de la implementación de un laboratorio móvil.
- 2.** Encontrar los análisis necesarios para llevar a cabo un control de calidad en las estaciones de servicio, que sea el más adecuado a las necesidades actuales del mercado y de la compañía y que pueda ser realizado a través de un laboratorio móvil.
- 3.** Ayudar a controlar la calidad y evitar las posibles adulteraciones de producto en las estaciones de servicio Shell.
- 4.** Crear una certeza en el cliente de que esta adquiriendo productos de calidad Shell.

## **V. PROBLEMA A RESOLVER**

El mercado de los combustibles en Guatemala se ha visto afectado por la creciente práctica de adulteraciones de los combustibles, especialmente en estos últimos años en los cuales los precios de los combustibles han estado constantemente al alza.

Es necesario y urgente buscar una solución a este problema, ya que las prácticas cada día se hacen más frecuentes, ante la facilidad de llevar a cabo dichas prácticas, y ante la debilidad de la implementación de las leyes de Guatemala, y la falta de programas y actividades que desmotiven la adulteración. Este programa de control de calidad buscará servir de herramienta para llevar un estricto control de las especificaciones de calidad de los combustibles, así como para desmotivar las prácticas mencionadas anteriormente.

Existen antecedentes históricos de este problema en otros países, tales como es el caso de Brasil, en el que han prosperado estas prácticas, ocasionando dudas en los consumidores respecto a la calidad de los combustibles, lo cual ha provocado grandes pérdidas a las compañías petroleras, las cuales se han visto en la necesidad de hacer fuertes desinversiones a fin de permanecer en el mercado.

## **VI. METODOLOGÍA**

### **A. Selección de las pruebas a Realizar**

Investigación de las posibles pruebas a realizar a los combustibles, y selección de las más adecuadas y necesarias para tener un control de la calidad de acuerdo a las necesidades de la compañía. Esta selección incluye la evaluación del tiempo que le tomará a las personas llevar a cabo los controles en cada estación de servicio

### **B. Evaluación de muestras aleatorias de estaciones de servicio**

Se realiza a manera de evidenciar la amplitud del problema en Guatemala. Depende de la disponibilidad del equipo por parte del Ministerio de Energía y Minas. Se pretende evaluar muestras de diez estaciones de servicio, lo cual representa el 1.5% de la red de estaciones de servicio de Guatemala, a las cuales se les harán pruebas de octanaje y densidad (y dependiendo de los resultados del punto 1, alguna otra más), los cuales se presentarán como una muestra aleatoria de la realidad del mercado basándose en la adulteración del combustible en sus estaciones de servicio, a fin de justificar el desarrollo del proyecto.

## **VII. RESULTADOS**

### **Manual De Pruebas Para la Determinación de las diferentes Propiedades de los combustibles**

#### **A. Inventario de Posibles Pruebas a Realizar para la Determinación de la Calidad de los Combustibles**

##### **1. Volatilidad**

###### **a. Determinación de Volatilidad por Destilación**

Los análisis de destilación de los combustibles proporcionan una idea básica de los compuestos que éstos tienen presentes, y en qué cantidades se encuentran los mismos. Así, a través de la destilación se puede determinar la volatilidad del combustible, al poder determinar la concentración de cada grupo de hidrocarburos con las mismas características de punto de ebullición y presión de vapor [ASTM D 5191].

Las características de destilación de los hidrocarburos tienen un efecto importante en la seguridad y su desempeño, especialmente en el caso de los combustibles. El rango de ebullición brinda información de la composición, propiedades y del comportamiento del combustible durante su almacenaje y uso. Asimismo, la volatilidad es la propiedad más determinante de un combustible de producir vapores explosivos [ASTM D 5191].

El método estándar para la destilación de productos de petróleo es el ASTM D86. Este método cubre la destilación atmosférica de los productos de petróleo utilizando una unidad de destilación de laboratorio tipo batch, para la determinación cuantitativa de las características y rangos de ebullición de dichos productos, específicamente combustibles destilados [ASTM D 5191].

## **1) Resumen del Método ASTM D 86**

De acuerdo a su composición, presión de vapor, punto de ebullición inicial esperado, o punto final de ebullición esperado, o una combinación de cualquiera de las características, se coloca la muestra en uno de cinco grupos diferentes. De acuerdo al grupo al que pertenece la muestra a destilar, es necesario preparar la unidad de destilación, la temperatura de condensación, y otras variables operacionales [ASTM D 86].

Se destila una porción de 100mL de muestra bajo ciertas condiciones de operación (de nuevo de acuerdo al grupo al que pertenece la muestra). La destilación se lleva a cabo en un equipo batch de laboratorio a presión atmosférica ambiente, bajo las condiciones diseñadas para obtener un fraccionamiento de un plato teórico aproximadamente. Se toman anotaciones sistemáticas de las lecturas de temperatura y volumen de condensado en una frecuencia que depende de las necesidades del análisis. Asimismo se anota el volumen remanente y el evaporado [ASTM D 86].

Al finalizar la destilación, se corrigen las temperaturas observadas a la presión barométrica y se analizan los datos para verificar concordancia con requerimientos del procedimiento, tales como velocidad de destilación [ASTM D 86].

Generalmente, los resultados se presentan como porcentaje evaporado o recuperado contra la temperatura correspondiente, ya sea en una tabla, gráficamente o como una tabulación de una curva de destilación. Se debe reportar la presión barométrica del ambiente al momento del análisis, y se pueden o no hacer las correcciones a presión estándar de 1atm, o se debe indicar que no se han hecho las correcciones [ASTM D 86].

## **2) Unidad de destilación PSPI 74720**

Es una unidad diseñada para llevar a cabo los análisis de destilación de combustibles siguiendo la norma ASTM D 86, entre otros análisis que se pueden llevar a cabo. El aparato de destilación incluye todos los instrumentos y cristalería necesaria para realizar los análisis de destilación. De igual forma puede ser equipada con una variedad de opciones que ahorran tiempo, así como un ventilador enfriador, un controlador digital de la temperatura del baño, un enfriador externo, e incluso un sistema contra incendios [petrospec.com].

Tabla 7. Especificaciones de la Unidad PSPI 74720

<b>Calentamiento de la muestra</b>	Eléctrico
<b>Baño condensador</b>	Acero inoxidable con serpentín integral de enfriamiento e indicador de nivel. Puede conectarse a un enfriador externo.
<b>Control del calentador</b>	Análogo con rango de 0 a 100%
<b>Requerimientos eléctricos</b>	115 VAC, 60Hz
<b>b. CONDICIONES DE OPERACIÓN</b>	Temperatura ambiente, rango: +5°C a 40°C. Humedad relativa: hasta 90% de humedad.
<b>Precio</b>	Q50,000 Aproximadamente.
<b>Dimensiones (ancho x alto x largo)</b>	430 x 368 x 470 mm

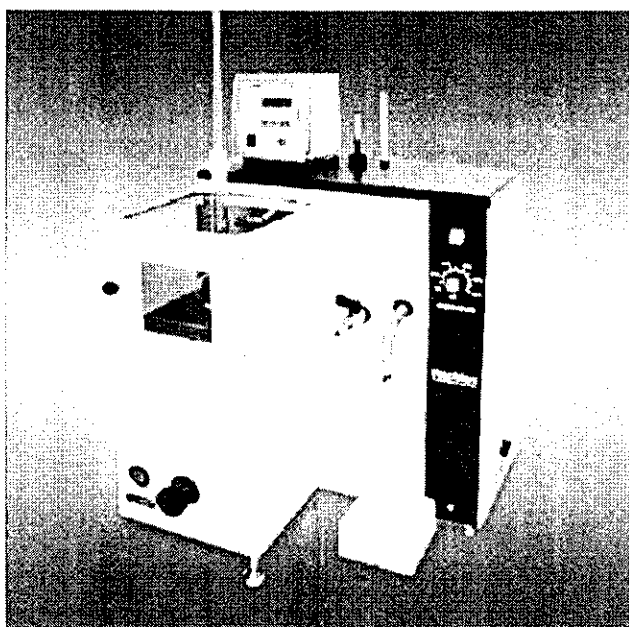


Figura 1. Equipo PSPI 74720

[petrospec.com]

### 1) Unidad Minidis

Este es un instrumento de minidestilación elaborado por la compañía Grabner Instruments, que es una réplica en pequeño del método ASTM D 86. Provee corridas completas de destilación en tan solo 15 minutos, utilizando 6 mL de muestra, sin embargo no aplica el método ASTM en un 100%, sino que es simplemente una réplica del mismo [grabner-instruments.com].

Tabla 8. Especificaciones Técnicas del Minidis

<b>c. TEMPERATURA DE ANÁLISIS</b>	0 – 400°C
<b>Precisión de la temperatura</b>	± 0.1°C
<b>Tamaño de muestra</b>	6 mL
<b>Tiempo de prueba</b>	15 min
<b>Dimensiones (ancho x alto x largo)</b>	200 x 320 x 220 mm
<b>Peso</b>	13Kg
<b>Precio</b>	Q100,000 Aproximadamente

[grabner-instruments.com]

La muestra se introduce automáticamente en la cámara de muestreo, y se calienta a través del calentador eléctrico debajo de la misma. En la parte superior de la columna de destilación se mide la temperatura del vapor a través de un sensor termoelectrico. Luego se determina el volumen del condensado utilizando una combinación sistemas de detección de meniscos ópticos y una cámara de condensación de volumen variable [grabner-instruments.com].

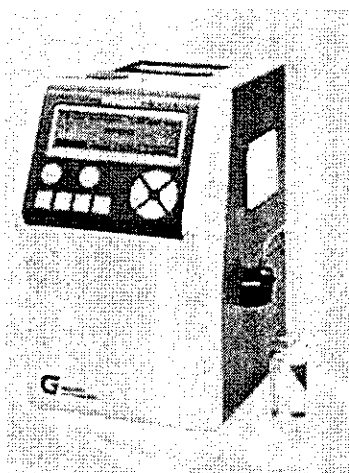


Figura 2. Equipo MINIDIS

[grabner-instruments.com]

#### d. Determinación de la volatilidad por presión de vapor

La presión de vapor es una propiedad física muy importante en los líquidos volátiles, a tal punto que es regulada por varias agencias gubernamentales en la mayoría de los países. Dichas especificaciones de volatilidad generalmente incluyen límites mínimos y máximos para asegurar el desempeño de los combustibles en los motores. No brinda una información tan completa como

la destilación, pero es un parámetro importante en la determinación de la volatilidad de los combustibles [ASTM D 5191].

El método estándar para la determinación de la presión de vapor de productos de petróleo es el ASTM D 4953, sin embargo, un método alternativo aprobado también por la ASTM es el D 5191, llamado el Mini-Método, por utilizar nueva tecnología y una cantidad mucho menor de muestra que el método original, dando como resultado el mismo valor de presión de vapor seca del método original. Empero, por ser otro método el utilizado para estos fines, por definición de las pruebas, el resultado obtenido a partir de este método es la Presión de Vapor Seca Equivalente (DVPE) [ASTM D 5191].

El método cubre la utilización de instrumentos de presión de vapor automáticos para la determinación de la presión de vapor total ejercida por productos de petróleo líquidos volátiles que contienen aire, al vacío. El método es útil para muestras con puntos de ebullición mayores a 0°C que tienen una presión de vapor entre 7 y 30 KPa a 37.8°C [ASTM D 5191].

### 1) Resumen del método ASTM D 5191

Se introduce un volumen determinado de muestra en una cámara vacía controlada térmicamente, cuyo volumen es cinco veces el volumen de la muestra introducida. Luego de su introducción a la cámara de análisis, se deja que la muestra llegue al equilibrio térmico a la temperatura deseada de 37.8°C. El aumento de presión resultante se determina utilizando un sensor transductor e indicador de presión. Únicamente se utilizan mediciones de presión total de vapor (la suma de las presiones parciales de la muestra y del aire disuelto) en este método, a pesar de que varios instrumentos pueden determinar la presión absoluta de la muestra también [ASTM D 5191].

Por medio de la siguiente ecuación, se convierte la presión total de vapor de la muestra a presión de vapor seca equivalente (DVPE):

$$DVPE = (0.965X) - A \quad (\text{Ec.1})$$

Donde:

X = Presión total de Vapor Medida, Bar

A = 0.0378 Bar

[ASTM D 5191]

Nota: la correlación de la ecuación se deriva de los resultados del programa cooperativo de 1998 y confirmados en 1991 en el estudio Interlaboratorios.

Los resultados se reportan como presión de vapor seca equivalente y no hay necesidad de hacer referencia a la temperatura [ASTM D 5191].

## 2) Minivap VPS Grabner

La unidad Minivap VPS es fabricada para determinar la presión de vapor del combustible siguiendo la norma ASTM D 6378, la cual en cierta manera reemplaza a la ASTM D 5191. esta tecnología, al ser totalmente automatizada, reduce los costos de operarios altamente calificados y elimina el error humano, lo cual significa una mejorada exactitud y precisión del análisis [grabner-instruments.com].

## 3) Principio de operación

La muestra es colocada en un recipiente conectado al ducto de entrada al aparato. El ingreso automático del producto, y la adecuación del volumen correcto es lograda a través de un pistón con un transductor de presión integrado. La cámara de medición de 5mL se vacía y automáticamente se lava y se llena con 1mL de la muestra a medir. Luego de cerrar la válvula, el volumen de expansión a 5mL se obtiene mediante un movimiento de pistón. La temperatura de la celda es controlada por medio de un módulo termoeléctrico de alta potencia. Luego de que se ha agregado la muestra, se ha seteado el volumen, se ajusta la temperatura prueba. Luego de alcanzar el equilibrio térmico, se completa la medición del aire disuelto. Se imprimen los resultados de DVPE, Pgas, Pabs, etc [grabner-instruments.com].

Tabla 9. Especificaciones técnicas del Minivap VPS

<b>Rango de temperaturas</b>	20-60°C
<b>Rango de presión</b>	0 a 300kPa
<b>Razón, vapor / líquido</b>	4:1
<b>Requerimientos eléctricos</b>	120V a 60Hz.
<b>Tamaño (ancho x alto x largo)</b>	196 x 315 x 175 mm
<b>Precio</b>	Q120,000 Aproximadamente
<b>Peso</b>	8 Kg

[grabner-instruments.com]

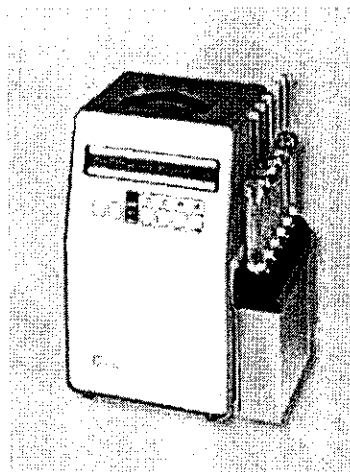


Figura 3. Unidad Minivap VPS

[grabner-instruments.com]

### e. Ventajas y desventajas de los métodos de determinación de volatilidad

En realidad los métodos descritos anteriormente son completamente distintos y pueden complementarse uno a otro. Sin embargo, para fines prácticos de un laboratorio móvil, resulta redundante implementar ambos análisis, tanto en función del costo de los equipos, como por el tiempo necesario para llevar a cabo ambas pruebas, cuando lo que ambas miden es la volatilidad del combustible.

Tabla 10. Comparaciones entre los tres equipos de determinación de volatilidad

<b>Destilador ASTM D86 – PSPI 74720</b>	<b>Destilador alterno ASTM D86 – Minidis</b>	<b>Determinador de la presión de vapor - Minivap</b>
Determinación de las distintas concentraciones de los compuestos del combustible con gran precisión	Determinación de las distintas concentraciones de los compuestos del combustible	No da la composición completa del combustible
No es tan portátil, necesarias instalaciones ventiladas para llevar a cabo las pruebas (e.g. campanas de extracción)	Bastante Portátil, no son necesarias instalaciones sofisticadas.	Bastante Portátil, no son necesarias instalaciones sofisticadas.
Para realizar el análisis es necesario contar con personal capacitado para el mismo	NO es necesario un operador muy capacitado, con conocimiento moderado.	NO es necesario un operador muy capacitado, con conocimiento moderado.
Bastante lento en la determinación de una sola muestra	Determinaciones moderadas, 15min	Determinaciones rápidas, 7min.
Se requiere de bastante	No se requiere mayor trabajo	No se requiere mayor trabajo

<b>Destilador ASTM D86 – PSPI 74720</b>	<b>Destilador alterno ASTM D86 – Minidis</b>	<b>Determinador de la presión de vapor - Minivap</b>
tiempo para cambiar de un producto a otro en el mismo equipo.	para cambiar las muestras	para cambiar las muestras
Precio moderado (Q50,000)	Precio Alto (Q120,000)	Precio Alto (Q120,000)

## 2. Densidad

La determinación exacta y precisa de la densidad, densidad relativa y gravedad API de los combustibles derivados del petróleo es necesaria para la conversión de volúmenes medidos a masa, o viceversa, a la temperatura de referencia estándar [ASTM D 1298].

El método estándar para la determinación de la densidad, densidad relativa y gravedad API de los combustibles derivados del petróleo es el ASTM D1298-99. Este método ha sido diseñado para la determinación de la densidad de productos transparentes de viscosidad baja. Asimismo puede utilizarse para la determinación de la densidad de compuestos viscosos, siempre que se deje el tiempo necesario para que el hidrómetro llegue al equilibrio [ASTM D 1298].

La densidad es una propiedad que representa un factor importante en la calidad y precio del petróleo crudo. Sin embargo esta propiedad de calidad no es una indicación certera, a menos que sea relacionada a otras propiedades del mismo. De igual forma la densidad es un importante factor de calidad, puesto que afecta el almacenaje, transporte y la combustión [ASTM D 1298].

### a. Resumen del método ASTM D 1298

Se toma la muestra, la cual se lleva a una temperatura referencia, y se transfiere a un cilindro que está aproximadamente a la misma temperatura. Utilizando el hidrómetro adecuado (dependiendo de la densidad aproximada esperada de la muestra), éste se deja caer en el cilindro con la muestra, y se deja estar hasta que llegue al equilibrio. Luego de que se ha llegado al equilibrio, tanto de temperatura como de nivel, se toma la temperatura de la muestra y se lee la escala del hidrómetro. De no ser posible llevar la muestra a una temperatura referencia, se corrigen las temperaturas a una referencia, siguiendo la siguiente ecuación:

$$\rho_r = \frac{\rho_t}{1 - [23 \times 10^{-6}(t-r) - 2 \times 10^{-8}(t-r)^2]} \quad (\text{Ec. 4})$$

donde,  $\rho_r$  = Densidad de referencia

$\rho_i$  = Densidad a temperatura analizada

t = Temperatura de análisis

r = Temperatura de referencia

[ASTM D 1298].

### 3. Octanaje

#### a. Método Estándar ASTM 2699,2700 – Motor CFR

Como se mencionó anteriormente, los valores de octano son determinados a través de un motor de un cilindro, con una razón de compresión variable de 4 a 18:1, denominado Cooperative Fuels Research (CFR). El pistón tiene cuatro anillos de compresión, y uno de control de aceite. La válvula de inyección está recubierta, y la cabeza y el cilindro son una sola pieza, la cual puede ser movida hacia arriba y hacia abajo para obtener la razón de compresión deseada. El motor tiene un carburador especial de cuatro compartimientos, que puede ajustar mezclas de aire combustibles específicas e individuales. Esto facilita el cambio rápido de las muestras y las soluciones de referencia. Un sensor de detonación magnetorestrictivo en la cámara de combustión mide los cambios bruscos de presión en la cámara de combustión, los cuales son los que producen el golpeteo, y se obtiene una señal amplificada en un **Knocómetro** (medidor de golpeteos) con una escala de 0 a 100. Sólo existe una compañía que se dedica a hacer este tipo de motores, la División de Motores Waukesha de Dresser Industries, en Waukesha, WI [ASTM D 2699].

Para evaluar el octanaje de un combustible, se ajusta el motor de tal manera que su razón de compresión produzca un valor cercano a 50 en el knocómetro, para luego ajustar la cámara del carburador a manera que la razón de aire-combustible produzca el máximo golpeteo. Como se ha dicho anteriormente, los compuestos referencia son el n-heptano y el iso-octano. Se hacen dos mezclas de ambos, una que contenga un número de octano mayor al esperado por la muestra, y otro con un número de octano menor. Éstos son colocados en diferentes cámaras en el carburador, y se miden con cada mezcla de aire combustible, a manera que produzcan el máximo golpeteo posible. La mezcla de referencia de mayor octanaje, debería generar valores entre 30 y 40, y la de menor octanaje entre 60 y 70. Luego se analiza la muestra, debiendo

estar esta entre los valores de la referencia de alto octanaje y la de bajo octanaje, de lo contrario es necesario elaborar muestras referencia con mayor o menor octanaje, dependiendo del caso. El valor actual del octanaje de la muestra se determina por medio de una interpolación doble de los valores leídos y los octanajes de las soluciones referencia. [ASTM D 2699].

Tabla 11. Condiciones del motor de prueba para obtener el MON

<b>Condiciones del motor de prueba</b>	<b>Octanaje de Motor (MON)</b>
Método utilizado	ASTM D2700-92
Motor	Cooperative Fuels Research (CFR)
Velocidad del motor	900 rpm
Temperatura de aire de entrada	38°C
Humedad del aire de entrada	3.56-7.12 gH <sub>2</sub> O / Kg aire seco
Temperatura de la mezcla	149°C
Temperatura del refrigerante	100°C
Temperatura del aceite	57°C
Carburador venturi	14.3mm

[ASTM D 2699].

Tabla 12. Condiciones del Motor de Prueba para obtener el RON

<b>Condiciones del motor de prueba</b>	<b>Desarrollo de motor (RON)</b>
Método Utilizado	ASTM D2699-92
Motor	Cooperative Fuels Research (CFR)
Velocidad del motor	600 rpm
Temperatura de aire de entrada	Variable respecto a la presión barométrica
Humedad del aire de entrada	3.56-7.12 gH <sub>2</sub> O / Kg aire seco
Temperatura de la mezcla	No se especifica
Temperatura del refrigerante	100°C
Temperatura del aceite	57°C
Carburador venturi	Se selecciona dependiendo de la altura de la localidad

[ASTM D 2700].

**b. Análisis de octanaje y otras propiedades de las gasolinas por medio de espectroscopía infrarroja**

Los análisis espectroscópicos utilizan haces de luz de diferentes longitudes de onda para diferenciar y cuantificar los diferentes compuestos químicos presentes en los combustibles. Muchos compuestos químicos que se encuentran presentes en los combustibles poseen

estructuras únicas que absorben la luz a longitudes de onda específicas en las regiones de medio infrarrojo (mid-IR) y en el cercano infrarrojo [petrospec.com].

Las absorbancias químicas específicas de los compuestos se separan lo suficiente de las de los demás compuestos a manera que es posible la separación espectroscópica de dichos compuestos. Esta separación espectroscópica hace posible la caracterización y cuantificación de los diferentes compuestos químicos [petrospec.com].

Es importante mencionar que ambos análisis de Espectroscopía infrarroja son métodos secundarios de determinación de octanaje, cetanaje, etc. Por definición, un método secundario nunca puede presentar una precisión y exactitud que el método primario, debido a que el análisis de referencia es el primario. Sin embargo estos análisis demuestran ser de gran precisión y exactitud al compararse con el método del CFR de la ASTM. Además, este tipo de análisis tiene las ventajas de ser rápido y no destructivo de las muestras utilizadas, además de necesitar cantidades pequeñas de muestra [petrospec.com].

### **1) Mediano infrarrojo**

Los análisis del mediano infrarrojo para la gasolina son bastante efectivos, debido a que posee gran cantidad de información espectroscópica en esta región. Muchos de los picos de absorbancia en las gráficas representan un compuesto o grupo funcional específico de la gasolina. Las diferencias de las magnitudes de las absorbancias en compuestos con diferentes cantidades de un compuesto específico son grandes y fácilmente determinadas, incluso con numerosos compuestos mezclados en el combustible. Así, el análisis de mediano infrarrojo puede determinar la cantidad específica de determinadas oxigenados, así como la cantidad exacta de oxígeno y benceno, olefinas y saturados, para posteriormente calcular las características propias de la muestra, como Octano,  $T_{50}$  y  $T_{90}$  [petrospec.com].

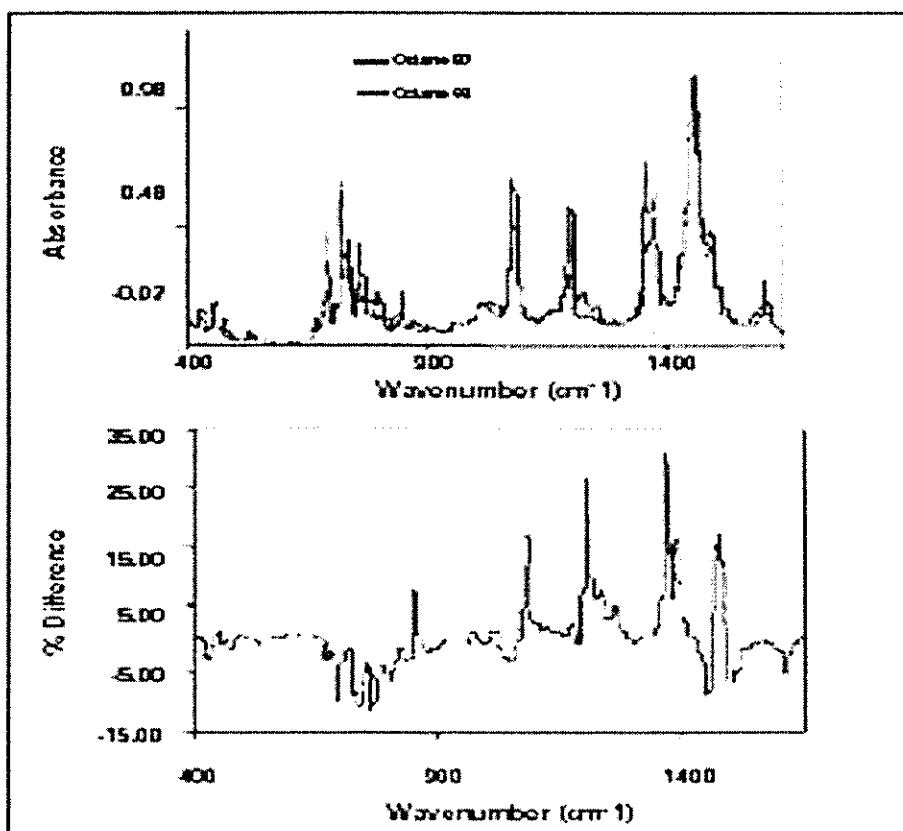


Figure 1. Gasoline aromatics identified by mid-IR spectroscopy

Figura 4. Comparación de espectro infrarrojo de combustibles mogas 87 y 95

[petrospec.com]

## 2) Petrospec serie GS

Este equipo utiliza tecnología de mediano infrarrojo para la determinación de octanaje (RON, MON y AKI) en las gasolinas. Asimismo determina la cantidad de oxigenados y benceno en el combustible, todo de manera automatizada y adaptable para el campo, utilizando únicamente 10 mL de muestra [petrospec.com].

Tabla 13. Especificaciones técnicas del Petrospec GS 1000

<b>Precisión</b>	± 0.1
<b>Determinaciones</b>	Octanaje RON, MON, AKI, oxigenados (en % masa), aromáticos (en % masa)
<b>Requerimientos eléctricos</b>	120VAC 50/60Hz
<b>Tamaño (ancho x alto x largo)</b>	490 x 430 x 400 mm
<b>Precio</b>	Q200,000 Aproximadamente
<b>Peso</b>	12.25 Kg

[petrospec.com]

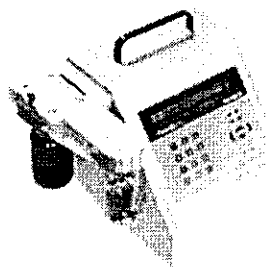


Figura 5. Unidad Petrospec G5 1000

[petrospec.com]

La muestra se coloca en un recipiente especial, el cual se coloca en el Petrospec, para ser analizado. Se inicia el equipo y minutos más tarde es posible imprimir los resultados de los análisis realizados. Además las muestras utilizadas se pueden guardar para futuras pruebas, ya que el método es no destructivo [petrospec.com].

### **3) Cercano Infrarrojo**

La región espectral del cercano infrarrojo es la región del espectro con longitudes de onda en el rango de los 700 a los 2,500 nm. En esta región espectral, las vibraciones de las moléculas absorben la luz fácilmente. Debido a que las bandas de absorción de luz en esta región son amplias y se traslapan, los espectroscopistas no pueden determinar con facilidad las alturas de los picos para realizar análisis cuantitativo. En cambio, se utilizan análisis de regresión multivariados, a fin de relacionar los espectros con las concentraciones o las propiedades físicas de interés [zeltex.com].

#### **a) Zeltex ZX 101C**

El analizador Zeltex es un equipo que utiliza la tecnología del cercano infrarrojo. El equipo ha demostrado ser una herramienta efectiva para las mediciones de número de octano en las muestras de gasolina, así como de cetano en el diesel. El equipo es fácil de utilizar, portátil, y el método de análisis es rápido, tomando un análisis común cerca de un minuto por muestra [zeltex.com].

Tabla 14. Especificaciones técnicas del Zeltex ZX-101C

C.	PRECISIÓN	± 1
<b>Determinaciones</b>		Octanaje RON, MON, AKI (Gasolinas). Índice de cetano, número de cetano, % Azufre (Diesel).
<b>Requerimientos eléctricos</b>		120VAC 50/60Hz, Baterías
<b>Tamaño (ancho x alto x largo)</b>		300 x 120 x 150 mm
<b>Precio</b>		Q120,000 Aproximadamente
<b>Peso</b>		6.5 Kg

[zeltex.com]

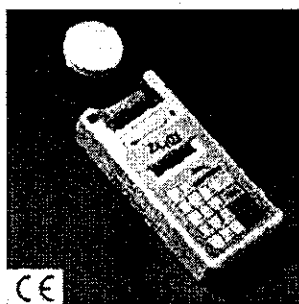


Figura 6. Octanómetro Zeltex ZX-101C

[zeltex.com]

Se colocan alrededor de 350mL de muestra en el recipiente específico de medición, y luego de escoger el producto a medir, se coloca el recipiente en el compartimiento correspondiente, y se tapa con la tapa respectiva. Luego de 15 seg., se rota 180° el recipiente y se repite la medición. Luego se remueve la muestra y se tapa el Zeltex. Inmediatamente se tienen los resultados de octanaje o cetanaje determinados [zeltex.com].

#### d. La espectroscopia del Diesel

Ambos, el índice de cetano y el número, están directamente relacionados con la cantidad de hidrocarburo en la mezcla. Esta medida, a su vez, se relaciona directamente con la cantidad de hidrocarburos de cadena lineal, insaturados y mejoradores de cetano en la muestra de combustible. Los hidrocarburos de cadena larga lineal poseen números altos de cetano, mientras que los ramificados de cadena corta y los aromáticos poseen números bajos de cetano. Al cuantificar estas diferencias químicas, es posible relacionar las propiedades físicas de la muestra [petrospec.com].

Una vez que se ha determinado la composición del diesel, se puede calcular el índice de cetano, número de cetano y la densidad, todo a través de la utilización de algoritmos matemáticos. Para producir una lectura precisa y exacta, es crítico tener una buena calibración de la correlación. Sin embargo, debido a su complejidad, el método de determinación del número de cetano se caracteriza por ser impreciso [petrospec.com].

### 1) Petrospec Cetane 2000

Este equipo utiliza tecnología de mediano infrarrojo para la determinación de número de cetano e índice de cetano del diesel. Asimismo determina la cantidad de la cantidad de aromáticos Polinucleares, y naftalenos, todo de manera automatizada y adaptable para el campo, utilizando únicamente 10 mL de muestra [petrospec.com].

Tabla 14. Especificaciones Técnicas del Cetane 2000

<b>e.</b>	<b>PRECISIÓN</b>	$\pm 0.1$
<b>Determinaciones</b>	Número de cetano, Índice de Cetano, % Aromáticos y % de aromáticos Polinucleares.	
<b>Requerimientos eléctricos</b>	120VAC 50/60Hz	
<b>Tamaño (ancho x alto x largo)</b>	490 x 430 x 400 mm	
<b>Precio</b>	Q240,000 Aproximadamente	
<b>Peso</b>	12.25 Kg	

[petrospec.com]

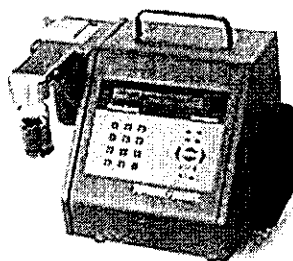


Figura 7. Petrospec Cetane 2000

[petrospec.com]

La muestra se coloca en un recipiente especial, el cual se coloca en el Petrospec Cetane 2000, para ser analizado. Se inicia el equipo y minutos más tarde es posible imprimir los resultados de

los análisis realizados. Además las muestras utilizadas se pueden guardar para futuras pruebas, ya que el método es no destructivo [petrospec.com].

**f. Comparación de las unidades de determinación de octanaje y cetanaje**

Tabla 15. Cuadro comparativo de las Unidades Petrospec GS 1000 y Cetane 2000 vs. Zeltex ZX-101C

<b>Petrospec GS 1000 y Cetane 2000</b>	<b>Zeltex ZX-101C</b>
Bastante precisos ( $\pm 0.1$ )	Considerablemente preciso ( $\pm 1$ )
2 equipos necesarios	Con un solo equipo se hacen 2 mediciones
Mediciones más extensas de características de los productos (oxigenados, aromáticos, etc.)	Mediciones puntuales de las características de los productos
Tecnología más confiable, Mid-IR	
Equipos más grandes y pesados	Un solo equipo más liviano y de menor tamaño
Alto costo (> Q400,000 entre los dos)	Bajo costo (Q120,000)

**4. Aditivos**

**a. Métodos de detección de aditivos**

Por su naturaleza, los métodos de detección de aditivos en los combustibles se pueden clasificar en dos, los métodos de colorante indicador (para el campo) y los métodos de laboratorio.

**b. Métodos de colorantes indicadores**

Los indicadores de color son los métodos disponibles más simples para determinar la presencia de aditivos en los combustibles. Trabajan bajo la misma base en que trabajan los indicadores de pH en medio acuoso: el indicador sufre un cambio reversible de color dependiendo de la acidez o alcalinidad relativa del solvente en el que se encuentra. Debido a que la mayoría de los paquetes de aditivos contienen detergentes (los cuales son básicos), los combustibles que contienen un paquete de aditivos son más alcalinos que el combustible original. El cambio de color del indicador constituye la base de muchos análisis de presencia de paquetes de aditivos en las gasolinas y en el diesel [earlham.edu].

El efecto de combustible base en el análisis por indicador es relativamente mínimo en las gasolinas: los análisis dan resultados similares en gasolinas con plomo, sin plomo y gasolinas

que contienen hasta un máximo de 15% de MTBE. Si el combustible contiene colorantes, éstos generalmente ocultan el cambio de color del indicador en los métodos cualitativos. Sin embargo, estos colorantes generalmente no afectan los análisis cuantitativos [faqs.org].

Por otro lado, el efecto del indicador en el diesel es mucho mayor que en las gasolinas. El color del diesel varía considerablemente, lo cual hace difícil determinar los cambios de color en los análisis cualitativos. Asimismo, la acidez alcalinidad del diesel varía también. Por esta razón, los análisis cualitativos únicamente brindan una idea vaga de la concentración de aditivos, y los análisis cuantitativos únicamente dan resultados confiables si las calibraciones son realizadas utilizando el mismo combustible base que el de las muestras [faqs.org].

### c. Métodos de laboratorio

Los paquetes de aditivos contienen un gran número de compuestos que pueden ser identificados utilizando instrumentos de laboratorio. La precisión de estos métodos es mucho mejor que la de los métodos de indicadores, pero requieren de la utilización de equipo de laboratorio costoso, además de la necesidad de estar en un laboratorio fijo para realizarlos [faqs.org].

### d. Aplicabilidad y requerimientos de los análisis

La gama disponible de métodos para detectar aditivos es bastante amplia, desde análisis realizables en el campo con instrumentación mínima, hasta análisis de laboratorio con equipo sofisticado. La siguiente tabla describe los diferentes métodos en cuanto a su precisión, su lugar de realización y el nivel de conocimiento necesario para llevarlo a cabo [faqs.org].

Tabla 16. Métodos de Detección de Aditivos

Método	Combustible	Componente	Lugar	Exactitud	Equipo
Rojo Neutro	Gasolina	Detergente	Campo	Cualitativo (±50%)	Cristalería y reactivos
Rojo Neutro	Diesel	Detergente	Campo	Cualitativo (±50%)	Cristalería y reactivos
Azul Nilo	Gasolina	Detergente	Campo	Cualitativo	Cristalería y Reactivos
Magenta	Gasolina y Diesel	Detergente	Campo o Laboratorio	±25% <sup>1</sup>	Fotómetro, cristalería y reactivos
Gum/IR	Gasolina	Poliéter / Detergente	Laboratorio	±10%	Espectrofotómetro IR (doble haz). Evaporación jet
AAS para K/Na	Gasolina	Potasio y sodio	Laboratorio	±5%	Espectrofotómetro de absorción

Método	Combustible	Componente	Lugar	Exactitud	Equipo
IR para 2EHN	Diesel	2-EHN	Laboratorio	±10%	Espectrofotómetro IR (doble haz)
ICP-AES para Si	Diesel	Silicio (antiespumante)	Laboratorio	±10%	Espectrómetro de emisión atómica

<sup>1</sup>La exactitud del test Magenta depende de la dilución de la muestra.

[faqs.org]

#### e. Marcadores

Los marcadores son compuestos químicos que se dosifican secretamente al combustible en la refinería o directamente en la terminal, previo a la distribución. El combustible es dosificado con una concentración conocida de marcador (en partes por millón, ppm), normalmente junto con el paquete de aditivos. El combustible puede ser analizado luego en cualquier parte de la cadena de distribución, ya sea en el transporte o directamente en las estaciones de servicio, y así se puede determinar con gran precisión si existe fraude y la dimensión del mismo [faqs.org].

##### 1) Tecnologías Disponibles

Existe gran variedad de tecnologías disponibles que abarcan desde simples colorantes hasta moléculas sofisticadas[faqs.org].

Los marcadores de color son compuestos simples que están disponibles comercialmente. Pueden ser utilizados para darle color a un producto específico, para que los clientes lo identifiquen como tal; sin embargo, tienen la desventaja de que pueden ser copiados fácilmente. De hecho, muchos combustibles deben ser coloreados por ley, como es el caso de Guatemala, en donde la gasolina mayor o igual a 95 octanos es de color roja, la de 87 octanos es naranja, y el diesel verde. El siguiente nivel de complejidad de los marcadores es el uso de marcadores encubiertos, los cuales son similares a los colorantes simples, pero que contienen una característica determinada escondida, que puede ser detectada por un análisis espectrométrico de laboratorio [faqs.org].

De las tecnologías de marcadores disponibles, las más utilizadas son las que se basan en moléculas fluorescentes específicas, las cuales son invisibles. Estas moléculas pueden ser detectadas por medio de un equipo portátil que se utiliza directamente en las estaciones de

servicio a un grado considerable de exactitud. La última y más sofisticada opción de marcadores, es el uso de moléculas específicas o anticuerpos que son disponibles a través de compañías especializadas. En este caso, la detección en el laboratorio brinda un fuerte, confiable y exacto método de medición, el cual es prácticamente imposible de duplicar, pero tiene la desventaja de ser muy costoso [faqs.org].

## 2) Comparación de las Opciones de Marcadores

Tabla 17. Comparaciones entre marcadores colorantes

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Disponibilidad	Fácilmente duplicado
Cuantitativo	Puede presentar problemas con la calidad del combustible
Económico (Q0.00001/L)	No determina fraude por dilución
Análisis rápido y sencillo	Presenta problemas si ya está teñido el combustible, como es el caso de Guatemala
Pocos problemas de compatibilidad	No es único

[faqs.org]

Tabla 18. Comparaciones entre marcadores de colorante encubierto

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Generalmente tienen un número limitado de proveedores	Posibles problemas de compatibilidad
Relativamente económico (Q0.000003/L)	No necesariamente único
Demostración más fuerte que un colorante	Puede presentar problemas si ya está teñido el combustible, como es el caso de Guatemala
Más difícil de duplicar que los colorantes	El análisis requiere un operador con conocimiento.
Cuantitativo	Análisis es más lento (10 min)

[faqs.org]

Tabla 19. Comparaciones entre marcadores fluorescentes

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Generalmente Patentados y Únicos	Puede presentar incompatibilidades y afectar la calidad de los combustibles (se requieren extensas pruebas para su aprobación)
Cuantitativo	El análisis requiere un operador con conocimiento.
Altamente específico	Pocos proveedores
Fuerte demostración	Menos económico (Q0.00006/L)
Imposible de duplicar	Análisis es más lento (10 min)

[faqs.org]

## **f. Otras pruebas indirectas de la calidad de los productos**

### **1) Cantidad de agua en los tanques**

Se utilizan pastas solubles en soluciones acuosas que no lo son en soluciones orgánicas, las cuales al contacto con agua no sólo se diluyen, sino que cambian de color drásticamente. Se introduce una varilla con pasta en la parte inferior de la misma (el agua es más densa que los combustibles) y dependiendo de lo que marque la pasta untada en la misma, se anota la cantidad de agua presente en el tanque. La prueba sirve para determinar si existe agua en los tanques de la estación de servicio, la cual, dependiendo de la cantidad existente en el tanque, puede llegar a la bomba y ser succionada hacia el motor de algún motorista, causando daños serios en el automóvil. Generalmente las estaciones no deberían tener una cantidad de agua mayor a una pulgada de altura (su equivalente en volumen dependiendo del tanque) [faqs.org].

### **2) Cantidad despachada por los dispensadores**

Esta prueba sirve para determinar si los dispensadores están calibrados correctamente, a fin de que lo que aparece que se está despachando, se esté despachando efectivamente, ni más ni menos. Para este fin se utilizan unos recipientes metálicos graduados, denominados serafines, de 5 galones de capacidad (estándar). Se verte el combustible en el serafín y se anota si hay alguna diferencia entre el volumen despachado por la bomba y la marca de los 5 galones del mismo [faqs.org].

## **B. Descripción de las pruebas a realizar en el laboratorio móvil**

Tiempo total estimado: 2h 00min

### **1. Contenido de agua en el tanque**

Tiempo máximo estimado: 15min

Con una varilla de madera o aluminio de suficiente largo (generalmente mayor a 3m), determine el nivel de agua presente en el tanque siguiendo los siguientes pasos:

1. Unte la pasta para detectar agua en la parte inferior de la varilla, cuidando que ésta no toque ninguna parte mojada del piso
2. Introduzca la varilla en el medidor del tanque.
3. Deje que ésta toque el fondo del tanque y manténgala ahí por unos segundos.
4. Saque la varilla y anote el nivel al que marca la pasta que hay agua, si es que la hay.

5. Repetir para todos los tanques de la estación.

Normalmente el contenido no debería ser mayor a una pulgada. En tal caso es necesario reportarlo para que lleguen a sacar el agua del tanque.

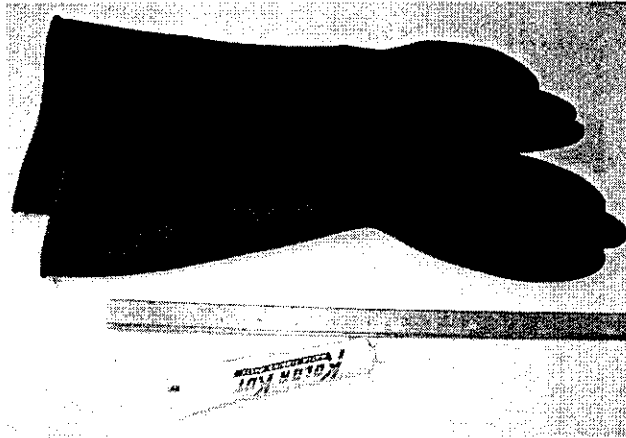


Figura 8. Pasta, guantes y varilla para la detección de agua en los tanques

## 2. Control de cantidad despachada

Tiempo máximo estimado: 20min

A fin de realizar el control de la cantidad despachada por los dispensadores de las estaciones de servicio, se debe:

1. Marcar en el dispensador 5 galones, a manera que la bomba despache exactamente dicha cantidad.
2. Este producto es despachado directamente al serafín, el cual debe ser colocado en una superficie plana a nivel.
3. Si existiera diferencia mayor a 2 unidades, respecto a la marca de la calibración del serafín, se deberá anotar dicha diferencia, cerrar temporalmente la bomba y enviar de inmediato al contratista correspondiente a calibrar los dispensadores.
4. Una vez terminado el proceso, el producto deberá regresarse al depósito de donde se obtuvo utilizando para ello las cubetas de plástico. El serafín **no** deberá utilizarse para transportar el combustible de regreso a los tanques, pues es un equipo de precisión, que

deberá tratarse con sumo cuidado para no golpearlo, abollarlo, mancharlo, derramarlo, o en general cualquier cosa que tienda a dañarlo en su integridad.



Figura 9. Serafín de cinco galones estándar.

NOTA: Para optimizar el tiempo del laboratorio móvil en las estaciones de servicio, y debido a que es necesario por ley calibrar los dispensadores cada dos meses, el control de la cantidad despachada por los dispensadores se hace aleatoriamente en un número moderado de bombas.

### 3. Octanaje y cetanaje Zeltex ZX-101C

Tiempo máximo estimado: 15min

Para la determinación de octanaje RON, MON y AKI en las gasolinas, así como el índice de cetano, número de cetano y porcentaje de azufre en el diesel, es necesario:

1. Encender el equipo zeltex zx-101c
2. Esperar hasta que el mensaje **zero adjust** se muestre en la pantalla, para luego colocar la tapa negra.
3. Presionar **clear 882** (menú de pruebas)
4. Seleccionar el producto
  - a) **0** Gasolina: aparece el siguiente menú:
    - i) Presione **1** para activar. Debe aparecer un asterisco
    - ii) Presione **0** para desactivar. Desaparece el asterisco

- iii) Presione **clear**, tantas veces como sea necesario hasta llegar al mensaje **zero adjust** en la pantalla.
- b) **2 Diesel**: aparece el siguiente menú
  - i) Presione **1** para activar. Debe aparecer un asterisco
  - ii) Presione **0** para desactivar. Desaparece el asterisco
  - iii) Presione **clear** tantas veces como sea necesario hasta llegar al mensaje **zero adjust** en la pantalla.
- 5. Presione la tecla **zero adjust**
- 6. Espere hasta que el mensaje **put in sample** se muestre en la pantalla
- 7. Coloque la muestra que contiene el recipiente aprobado en la cámara del equipo y coloque la tapa negra
- 8. Presione **enter**
- 9. Espere hasta obtener el mensaje **remove and replace**
- 10. Mueva el contenedor de la muestra a la posición opuesta (180°) y recolóque la tapa negra
- 11. Presione **enter**
- 12. Espere hasta obtener el mensaje **remove and press z**
- 13. Remueva el recipiente de la muestra de la cámara y coloque de nuevo la tapa negra
- 14. Presione **zero adjust**. En este momento el equipo imprimirá inmediatamente el resultado de la prueba.
- 15. Remueva la impresión de resultados y anote el resultado en el reporte de resultados
- 16. Anexe la impresión al reporte de resultados ya sea diesel o gasolina

NOTA: Realice pruebas de octanaje solamente en gasolinas sin plomo.  
 No puede seleccionarse los dos productos al mismo tiempo.  
 Guarde siempre la muestra en un recipiente adecuado, por si es necesario volver a realizar cualquier prueba.

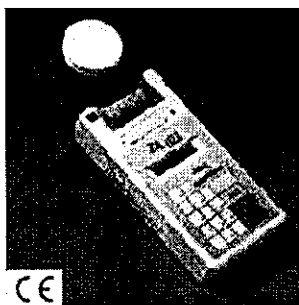


Figura 10. Octanómetro Zeltex ZX-101C

Los valores encontrados de octanaje, cetanaje y cantidad de azufre deben estar dentro de la especificación  $\pm 1$ , que es la precisión del equipo. Si éstos no cumplen, se debe anotar y notificar a las autoridades correspondientes.

#### 4. Densidad ASTM D 1298

Tiempo máximo estimado: 20min

Para correr la prueba de densidad API, se debe proceder de la siguiente manera:

1. Recoger las muestras en recipientes adecuados y previamente rotulados.
2. Verter el contenido de la muestra dentro de las probetas de 500 mL hasta aproximadamente  $\frac{3}{4}$  del volumen de la probeta.
3. Con sumo cuidado, colocar el hidrómetro correspondiente de acuerdo al tipo de combustible a analizar, siguiendo la siguiente tabla:

Tabla 20. Tipos de hidrómetro por combustible

<b>Producto</b>	<b>Escala del hidrómetro (<math>\pm 0.05^\circ \text{API}</math>)</b>
Regular (mogas 87 y 91)	59-71
Super y V Power (mogas 95 y 98)	49-61
Diesel	32-45

4. Para fines de esa medición, es necesario tener una superficie plana a nivel. Para esto, se puede utilizar una mesa de corrección de nivel, con tornillos de ajuste en cada una de sus 4 patas y con niveles incorporados.
5. Colocar la probeta con la muestra y con el hidrómetro sobre la mesa a nivel. Girar el hidrómetro de manera que la escala de temperatura y API queden de manera que sea fácil la lectura de los mismos. Se debe permitir que la muestra, el hidrómetro y el termómetro lleguen tanto al equilibrio térmico como al de movimiento.
6. Tomar la lectura de API correspondiente, de la siguiente manera:
  - a) Para líquidos claros: en los extremos del menisco
  - b) Para líquidos opacos: en el borde del menisco, sobre el plano horizontal de la superficie del líquido
7. Anotar la lectura de API y la temperatura, y proceder a realizar las correcciones necesarias para llevar la densidad a  $60^\circ \text{F}$ .

8. Posteriormente se debe retirar el hidrómetro, limpiarlo cuidadosamente, escurrirlo y secarlo levemente con papel mayordomo, a fin de proceder con la siguiente lectura.
9. Devolver la muestra analizada al recipiente de muestra.

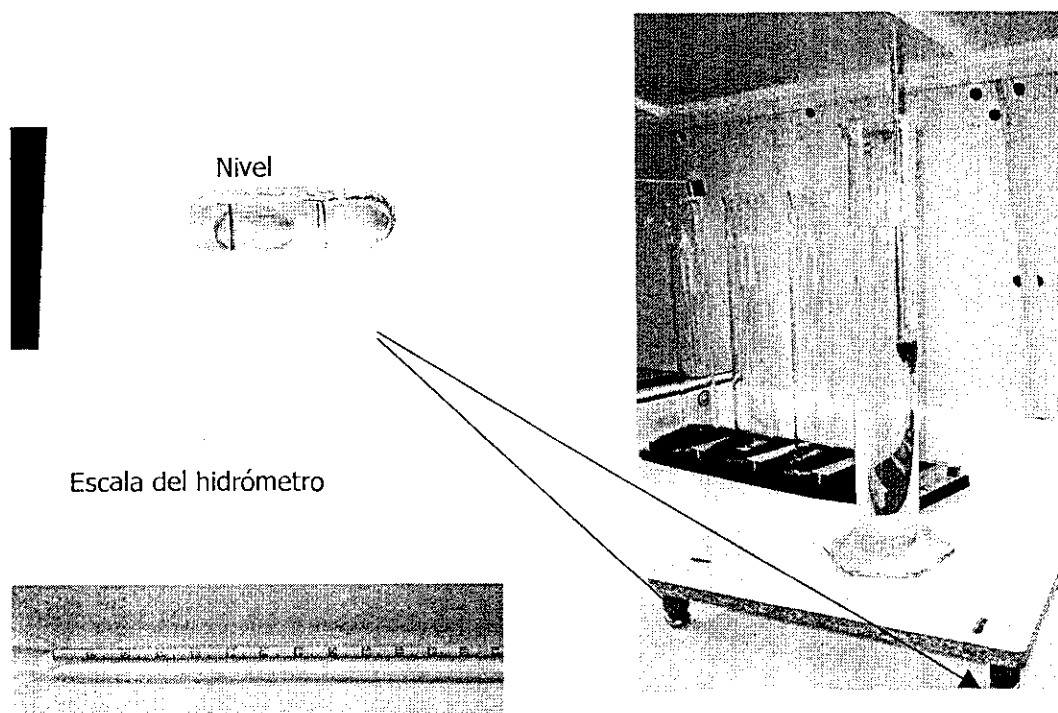


Figura 11. Cristalería para la determinación de la densidad API

## 5. Destilación Minidis

Tiempo máximo estimado: 50min

Para realizar la destilación por medio de la unidad Minidis, se debe:

1. Preparación del Equipo:
  - a. Encienda la unidad
  - b. En el menú principal (que aparecerá al encender), utilizando el cursor colóquese sobre **setup** y presione **task**. En este menú podrá seleccionar las unidades de presión barométrica y temperatura.
  - c. Mueva el cursor hasta **output** y seleccione la escala de temperatura deseada
  - d. Siga el mismo proceso para seleccionar la escala de presión.
  - e. Para determinar el % de evaporación a una temperatura determinada, se debe seleccionar el grupo respectivo e introducir la temperatura de interés.

- f. Salga del menú **output** oprimiendo **task**.
2. Selección del grupo de destilación
    - a. En el menú **setup**, mueva el cursor a **program 0/0** y seleccione el grupo deseado con el cursor y los botones + y -. Luego mueva el cursor al campo a la izquierda de / y seleccione el número del programa deseado.
    - b. Ajustando las temperaturas de calentamiento inicial y final
      - i. Mueva el cursor a **A** (inicial) o **B** (final) e incremente o disminuya los valores utilizando los botones + y - hasta obtener el valor deseado.
    - c. Salga del menú oprimiendo **task** con el cursor en **end**.
  3. Realización de las mediciones
    - a. Llene alrededor de 100-200mg de gránulos en el recipiente para la muestra
    - b. Tare el recipiente y anote el peso: en el menú principal, mueva el cursor a **measure** y presione **task**.
    - c. Ingrese el **id** de la muestra por medio de los botones + y -.
    - d. Seleccione el grupo y programa adecuado
    - e. Introduzca el peso del recipiente ( en gramos)
    - f. Presione **run** para iniciar las mediciones.
    - g. Coloque el recipiente en el portador de muestra
    - h. Limpie el anillo de la parte inferior de la columna de destilación con un paño suave.
    - i. Cierre la tapa y presione **task**.
    - j. Inserte el tubo en el recipiente con muestra al cambiar el mensaje en la pantalla.
    - k. Presione **task**
    - l. Luego de finalizada la determinación, remueva el recipiente y presione **task**
    - m. Pese el recipiente e introduzca el valor en **cup weight**.
    - n. Presione **task**. Inmediatamente aparecerán los resultados en la pantalla.
    - o. Utilice el cursor para navegar a través de la pantalla y lograr ver el reporte total.
    - p. Presione **stop** para finalizar las pruebas.

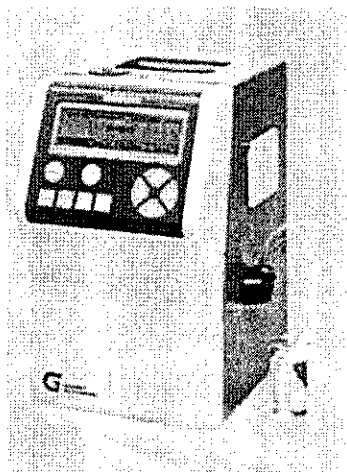


Figura 12. Destilador Automático Minidis

### C. Resultados del trabajo de campo

#### 1. Pruebas de octanaje y cetanaje de los combustibles de 10 estaciones de servicio de la ciudad capital, por medio del Zeltex ZX-101C

Tabla 21. Distribución de las muestras

Muestra	Marca	Dirección aproximada
1	Marca 1	Z.10
2	Marca 1	San José Pinula
3	Marca 2	Z. 12
4	Marca 1	Z. 12
5	Marca 2	San José Pinula
6	Marca 3	Z. 10
7	Marca 4	Z. 12
8	Marca 3	Z. 11
9	Marca 1	Z. 11
10	Marca 5	Mixco

Tabla 22. Octanaje de las muestras de MOGAS 87

<b>Muestra</b>	<b>Marca</b>	<b>RON (<math>\pm 0.1</math>)</b>	<b>MON (<math>\pm 0.1</math>)</b>	<b>AKI (<math>\pm 0.14</math>)</b>
1	Marca 1	93.9	84.7	89.3
2	Marca 1	<b>86.6</b>	80.4	83.5
3	Marca 2	93.0	83.6	88.3
4	Marca 1	93.4	84.5	89.0
5	Marca 2	88.6	81.8	85.2
6	Marca 3	93.8	84.8	89.3
7	Marca 4	<b>82.9</b>	78.1	80.5
8	Marca 3	<b>82.4</b>	77.6	80.0
9	Marca 1	94.5	84.9	89.7
10	Marca 5	<b>83.3</b>	78.6	81.0

Tabla 23. Octanaje de las muestras de MOGAS 95

<b>Muestra</b>	<b>Marca</b>	<b>RON (<math>\pm 0.1</math>)</b>
1	Marca 1	98.5
2	Marca 1	96.4
3	Marca 2	97.0
4	Marca 1	97.6
5	Marca 2	97.0
6	Marca 3	97.5
7	Marca 4	94.6
8	Marca 3	97.1
9	Marca 1	98.1
10	Marca 5	95.7

Tabla 24. Octanaje de las muestras de MOGAS 91 y 98

<b>Muestra</b>	<b>Estación de servicio</b>	<b>MOGAS</b>	<b>RON (<math>\pm 0.1</math>)</b>
1	Marca 1	98	100.4
3	Marca 2	91	96.9
4	Marca 1	98	100.1

Tabla 25. Resultados de índice de cetano, número de cetano y concentración de azufre en las muestras de diesel

Muestra	Marca	Índice de cetano ( $\pm 0.1$ )	Número de cetano ( $\pm 0.1$ )	Azufre presente (% m/m) ( $\pm 0.01$ )
1	Marca 1	42.9	53.0	0.08
2	Marca 1	44.5	54.6	0.04
3	Marca 2	45.6	54.4	0.04
4	Marca 1	43.8	53.7	0.07
5	Marca 2	44.1	53.0	0.08
6	Marca 3	45.1	55.7	0.04
7	Marca 4	45.4	55.8	0.01
8	Marca 3	45.9	55.4	0.03
9	Marca 1	44.3	54.8	0.06
10	Marca 5	45.2	56.0	0.03

## 2. Pruebas de densidad de los combustibles de 10 estaciones de servicio de la ciudad capital. Método ASTM D 1298.

Tabla 26. Resultados de densidad en las muestras de gasolina MOGAS 87

Muestra	Marca	Densidad (g/mL a 15.5°C)	(°API)
1	Marca 1	0.750	(57.22)
2	Marca 1	0.737	(60.51)
3	Marca 2	0.746	(58.21)
4	Marca 1	N/A	N/A
5	Marca 2	0.735	(61.02)
6	Marca 3	0.755	(56.02)
7	Marca 4	0.735	(61.01)
8	Marca 3	0.743	(59.01)
9	Marca 1	0.757	(55.41)
10	Marca 5	0.735	(61.01)

Tabla 27. Resultados de densidad en las muestras de gasolina MOGAS 95

Muestra	Marca	Densidad (g/mL a 15.5°C)	(°API)
1	Marca 1	0.752	(56.82)
2	Marca 1	0.757	(55.51)
3	Marca 2	0.746	(58.31)
4	Marca 1	N/A	N/A
5	Marca 2	0.736	(60.82)
6	Marca 3	0.754	(56.32)

Muestra	Marca	Densidad (g/mL a 15.5°C)	(°API)
7	Marca 4	0.741	(59.51)
8	Marca 3	0.756	(55.81)
9	Marca 1	0.756	(55.61)
10	Marca 5	0.761	(54.51)

Tabla 28. Resultados de densidad en las muestras de gasolina MOGAS 98/91

Muestra	1)	Marca MOGAS	Densidad (g/mL a 15.5°C)	(°API)
1	Marca 1	98	0.739	(60.02)
3	Marca 2	91	0.747	(58.01)
4	Marca 1	98	N/A	N/A

Tabla 29. Resultados de densidad en las muestras de diesel

Muestra	Marca	Densidad (g/mL a 15.5°C)	(°API)
1	Marca 1	0.841	(36.91)
2	Marca 1	0.850	(35.00)
3	Marca 2	0.851	(34.81)
4	Marca 1	N/A	N/A
5	Marca 2	0.845	(36.01)
6	Marca 3	0.849	(35.31)
7	Marca 4	0.853	(34.41)
8	Marca 3	0.851	(34.91)
9	Marca 1	0.845	(36.01)
10	Marca 5	0.853	(34.51)

### 3. Pruebas de presión de vapor de las gasolinas de 10 estaciones de servicio de la ciudad capital, con el Minivap VPS. Método ASTM D 5191.

Tabla 30. Presión de vapor de las muestras de MOGAS 87

Muestra	Estación de Servicio	Presión de Vapor ( $\pm 0.01$ Bar)	Presión Total ( $\pm 0.01$ Bar)
1	Marca 1	0.48	0.53
2	Marca 1	0.52	0.58
3	Marca 2	0.53	0.58
4	Marca 1	0.45	0.51
5	Marca 2	0.52	0.58
6	Marca 3	0.47	0.52

Muestra	Estación de Servicio	Presión de Vapor ( $\pm 0.01$ Bar)	Presión Total ( $\pm 0.01$ Bar)
7	Marca 4	0.47	0.52
8	Marca 3	0.45	0.50
9	Marca 1	0.43	0.49
10	Marca 5	0.47	0.52

Tabla 31. Presión de vapor de las muestras de MOGAS 95

Muestra	Estación de Servicio	Presión de Vapor ( $\pm 0.01$ Bar)	Presión Total ( $\pm 0.01$ Bar)
1	Marca 1	0.44	0.50
2	Marca 1	0.46	0.51
3	Marca 2	0.43	0.48
4	Marca 1	0.36	0.41
5	Marca 2	0.47	0.52
6	Marca 3	0.39	0.44
7	Marca 4	0.44	0.49
8	Marca 3	0.47	0.52
9	Marca 1	0.40	0.45
10	Marca 5	0.42	0.48

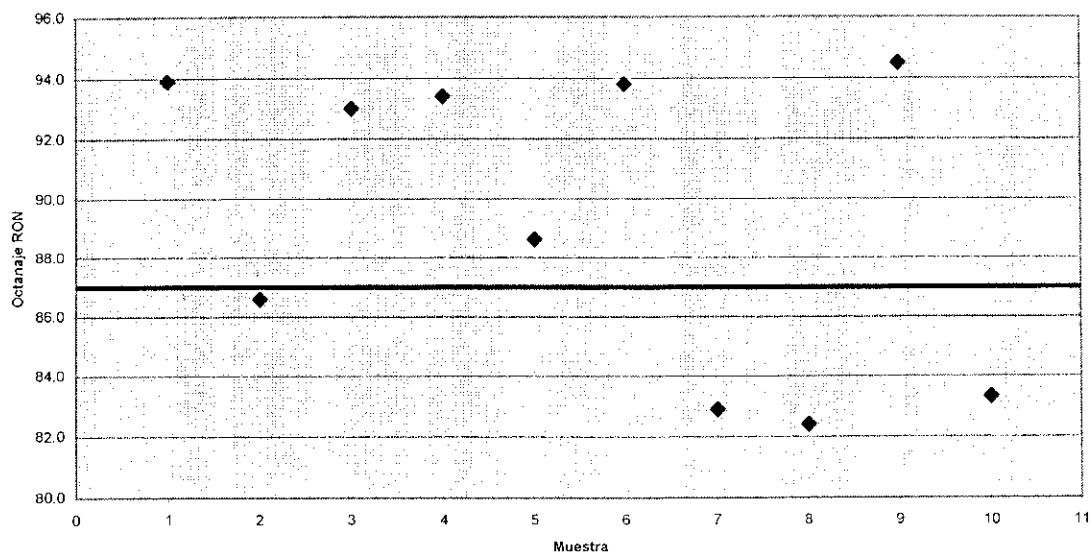
Tabla 32. Presión de vapor de las muestras de MOGAS 98/91

Muestra	Estación de Servicio	Presión de Vapor ( $\pm 0.01$ Bar)	Presión Total ( $\pm 0.01$ Bar)
1	Marca 1	0.43	0.48
3	Marca 2	0.50	0.56
4	Marca 1	0.36	0.41

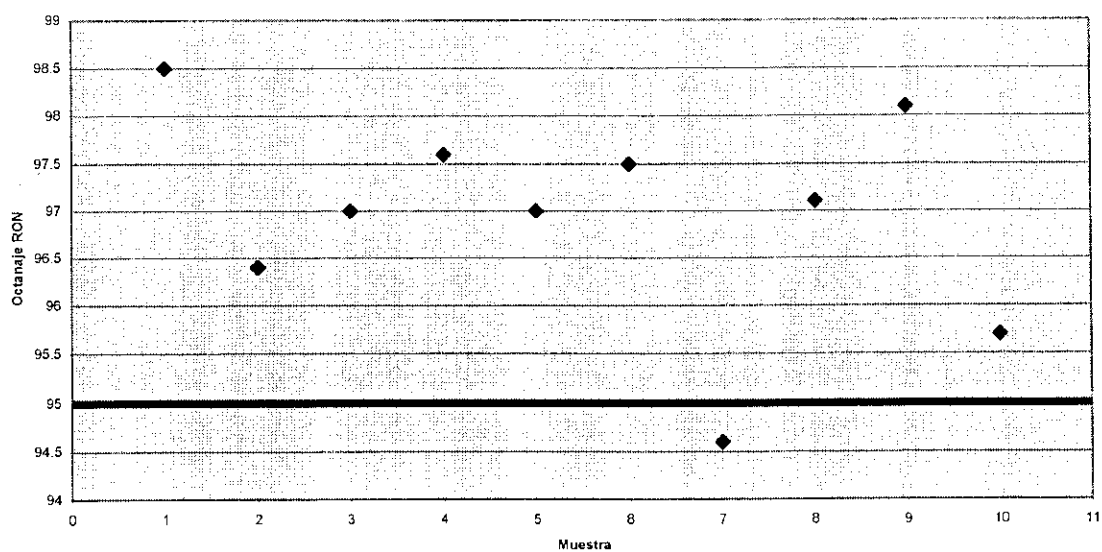
## 4. Gráficas de los resultados

### a. Octanaje, cetanaje y azufre

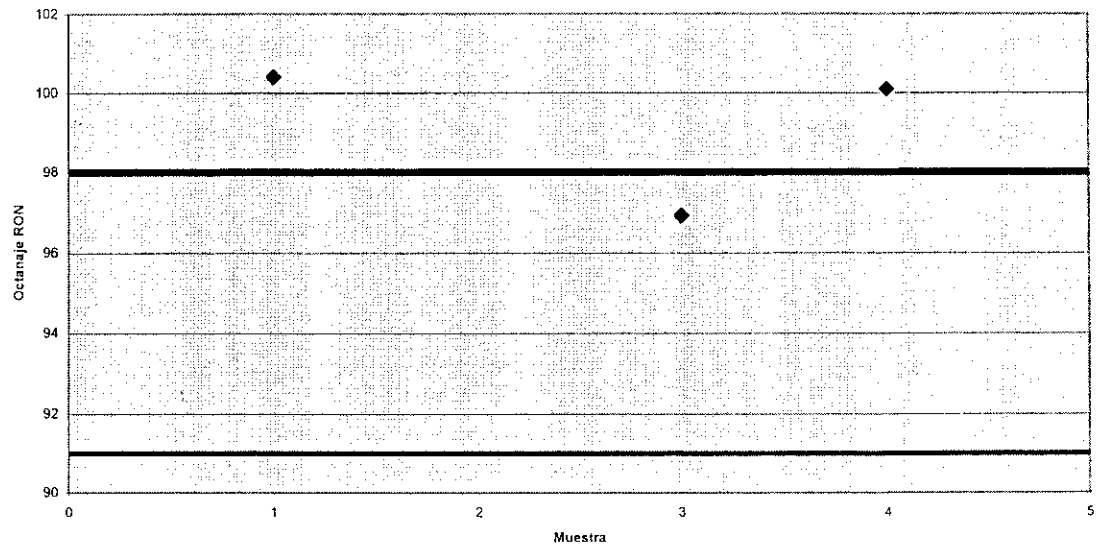
Gráfica 1. Valores obtenidos de octanaje RON de las gasolinas regular (MOGAS 87)



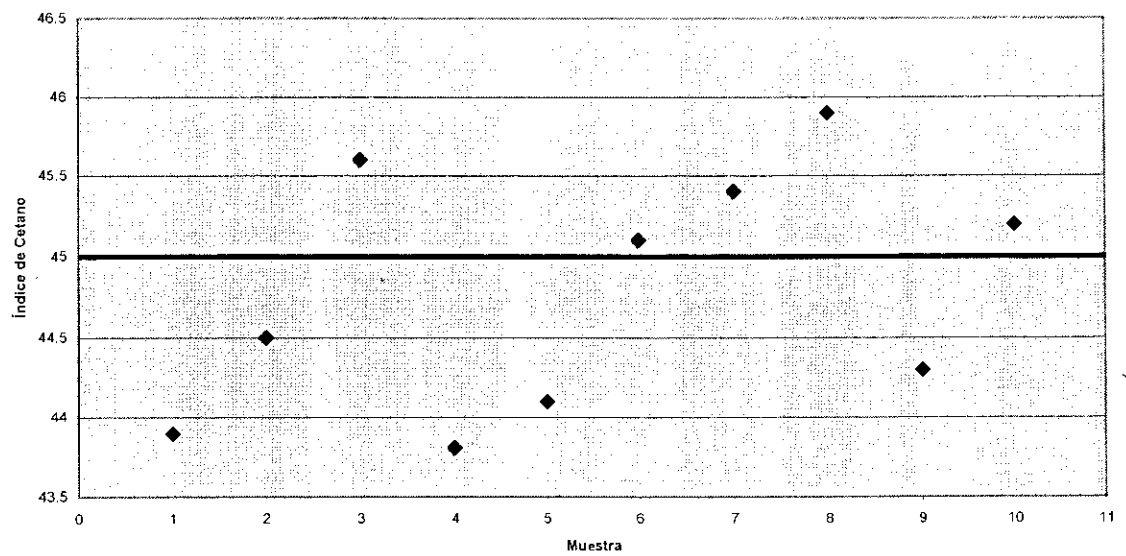
Gráfica 2. Valores obtenidos de octanaje RON de las gasolinas súper (MOGAS 95)



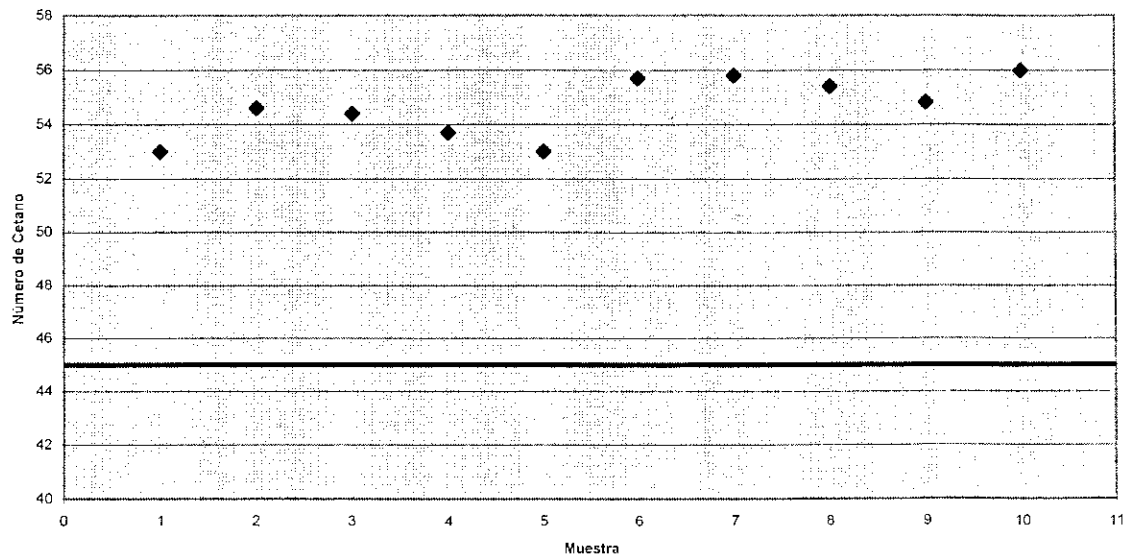
Gráfica 3. Valores obtenidos de octanaje RON de las gasolinas MOGAS 98 Y 91



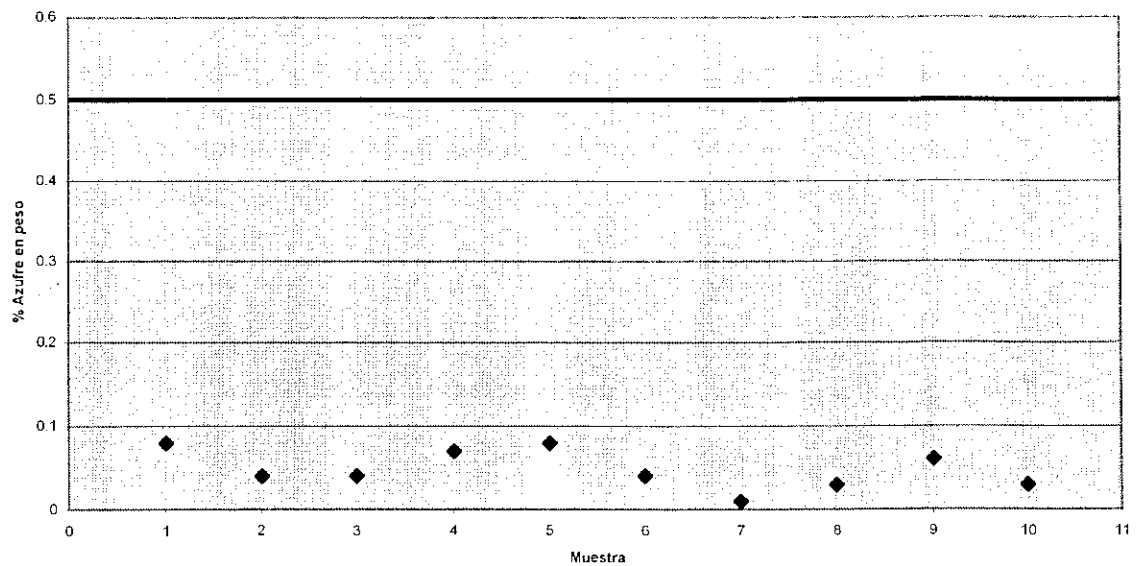
Gráfica 4. Valores obtenidos de índice de cetano de las muestras de diesel



Gráfica 5. Valores obtenidos de número de cetano de las muestras de diesel

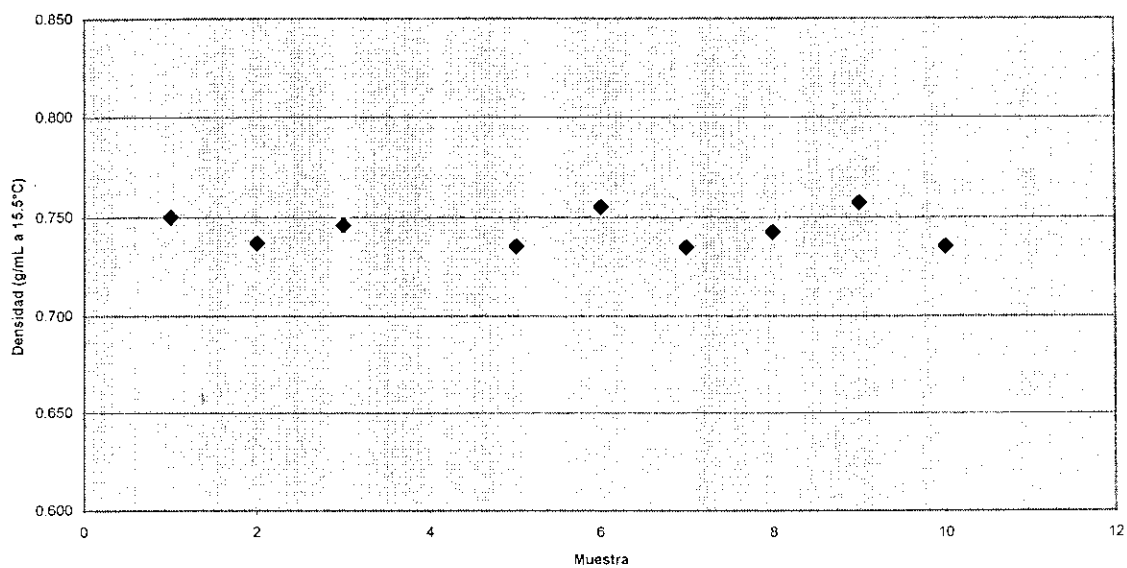


Gráfica 6. Valores obtenidos de cantidad de azufre en el diesel

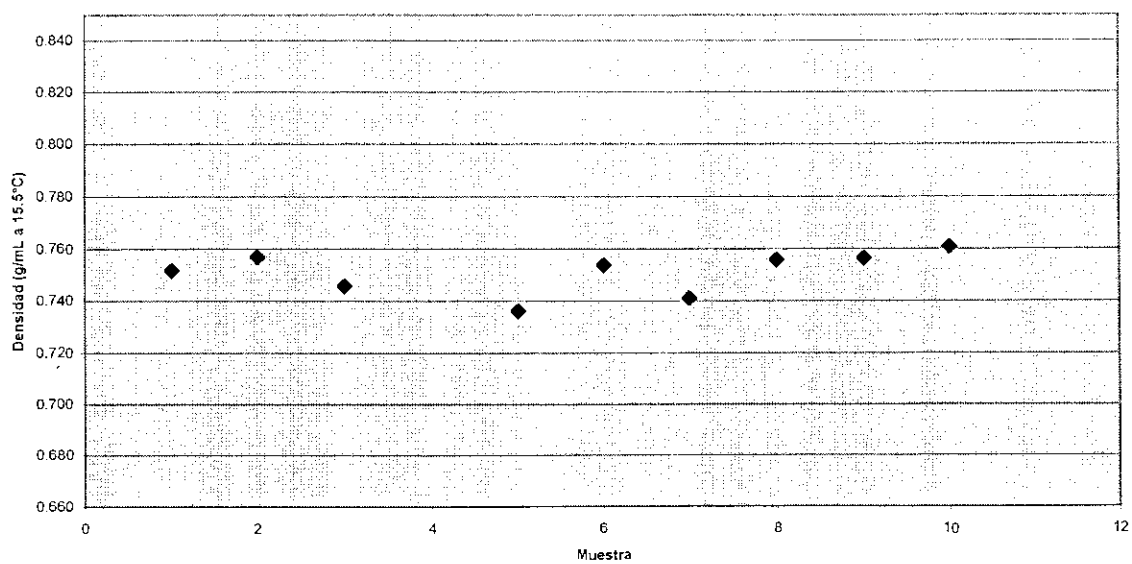


**b. Densidad**

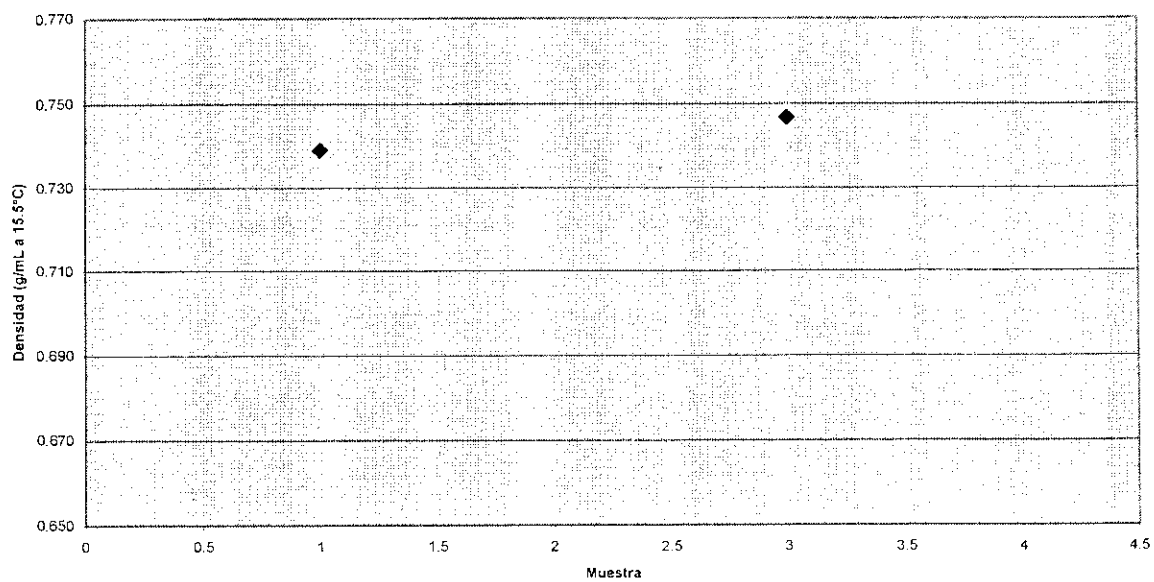
Gráfica 7. Densidades de las muestras de gasolina MOGAS 87 (Regular)



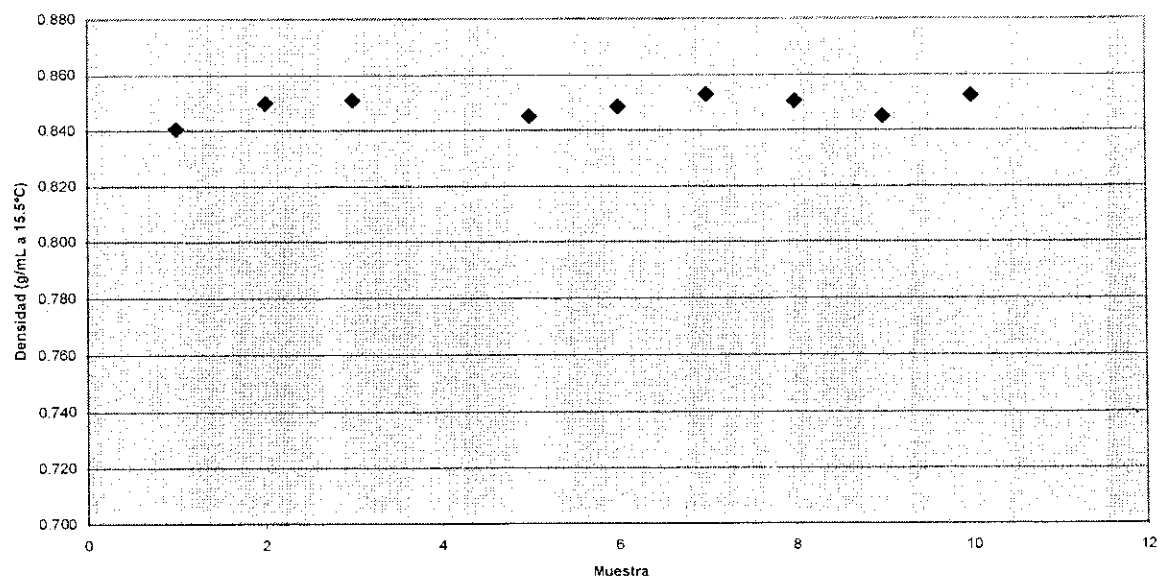
Gráfica 8. Densidades de las muestras de gasolina MOGAS 95 (Super)

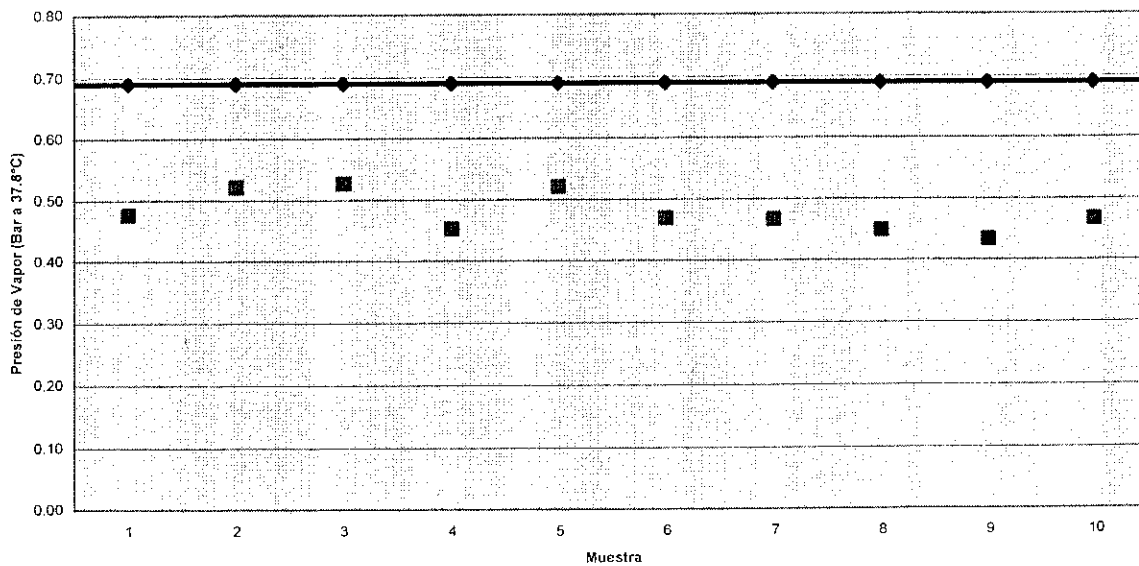
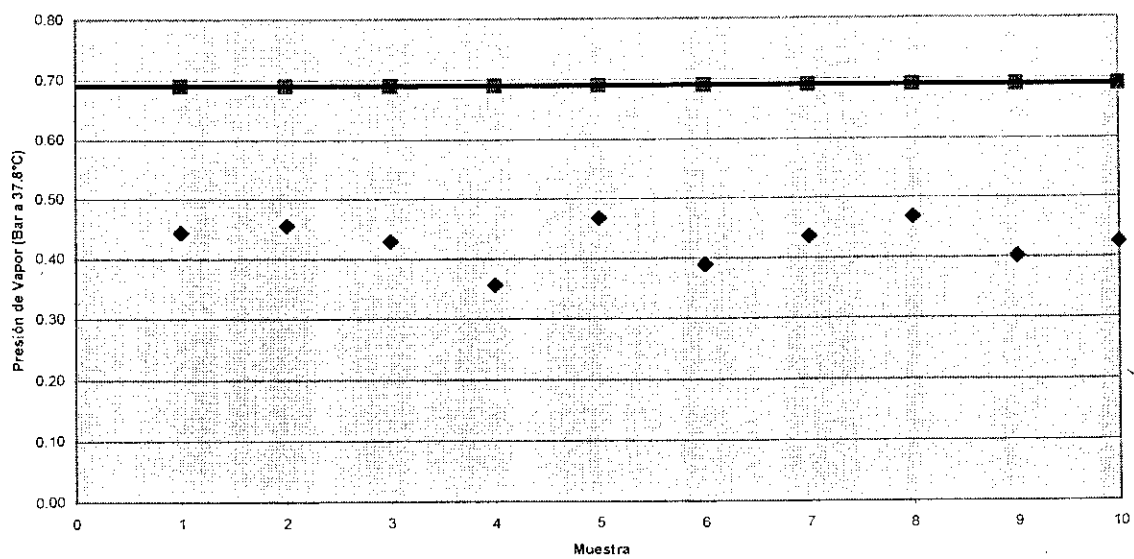


Gráfica 9. Densidades de las muestras de gasolina MOGAS 98/91

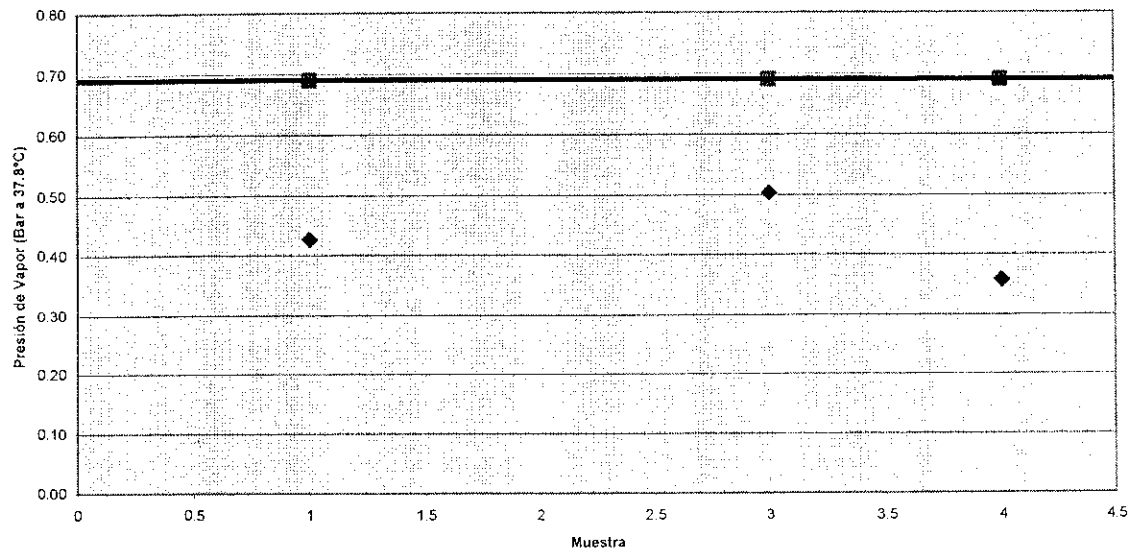


Gráfica 10. Densidades de las muestras de diesel



**c. Presión de Vapor****Gráfica 11. Presión de vapor de las muestras de gasolina MOGAS 87 (Regular)****Gráfica 12. Presión de vapor de las muestras de gasolina MOGAS 95 (Super)**

Gráfica 13. Presión de vapor de las muestras de gasolina MOGAS 98/91



## VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Debido a las limitadas facilidades para la obtención del equipo de análisis de las muestras, se tuvo que recurrir a la recolección de muestras para su posterior análisis en el laboratorio. Esto puede representar diferencias significativas en los resultados de las pruebas, debido a que a pesar de que los envases son cerrados, y herméticos, al ser bastante volátil el combustible (especialmente las gasolinas), éstos tienden a evaporarse, perdiendo sustancialmente dichos componentes volátiles de las muestras al abrir el envase al hacer la muestra.

Esta pérdida de muestras no sería problema y no afectaría los resultados si los combustibles fueran compuestos simples, y no una mezcla de compuestos de diferentes propiedades físicas, ya que no afecta el tamaño de la muestra. Sin embargo, debido a que la gasolina y el diesel son una mezcla de compuestos, y éstos poseen compuestos que son más volátiles que otros (generalmente los hidrocarburos de menor peso molecular serán más volátiles), tienden a evaporarse cierto tipo de compuestos, quedando como remanente los elementos más pesados (menos volátiles). Como se establece en la página 15, los hidrocarburos de menor tamaño y más ramificados (más volátiles) son los que poseen números de octanaje y cetanaje mayor, permaneciendo los compuestos con mayor peso molecular y no ramificados (menos volátiles).

Así, la recolección de las muestras, por las características de su manejo, puede afectar negativamente (disminuir) los valores de octanaje, cetanaje y especialmente presión de vapor, y dependiendo de la cantidad de compuestos que se hayan volatilizado, será la diferencia de los análisis al valor real. Esto evidencia la necesidad de llevar a cabo en el mismo lugar las pruebas de octano, cetano, presión de vapor y densidad, a fin de tener un resultado que sea más significativo de la muestra analizada. Es ésta una de las razones por las que es necesario que el laboratorio de control de calidad sea de móvil.

Como se puede ver en la gráfica 1 (Pág. No. 72), de los valores de RON de las gasolinas MOGAS 87, cuatro de las 10 estaciones no cumplen con la especificación de ley. Además, tres de éstas tienen valores de octanaje RON de cerca de 83, lo cual es casi cuatro unidades debajo de la especificación de 87, medidos con un equipo que tiene una precisión de  $\pm 1$  octano, es prácticamente certero que el combustible ha sido alterado en alguna parte de la cadena de distribución, a menos que al ingresar el producto al país, el gobierno no se haya percatado de ello y haya dejado entrar producto con propiedades por debajo de la especificación.

Los valores de octanaje RON del combustible MOGAS 95, tal como se observa en la gráfica 2 (Pág. No. 72), están bastante dispersos, sin embargo no están por debajo de la especificación, la mayoría cumple con la especificación e incluso algunos están muy por encima de la misma. El único caso es la estación No. 7, la cual no cumple con la especificación pero la precisión del octanómetro es mayor a la diferencia con la especificación, por lo que no se puede asegurar que no cumple. Esto sólo aumenta las dudas de la procedencia y la integridad de los productos comercializados a través de la estación, ya que la estación es reincidente en el hecho que no cumple con la especificación de ley en el caso de la MOGAS 87.

En el caso del índice de cetano del diesel, son varias las estaciones que no cumplen con la especificación, sin embargo la diferencia de la mayoría con la especificación es menor a la precisión del equipo, por lo que no es posible determinar si realmente cumplen o no con la especificación. En el caso del número de cetano, todas las estaciones están por encima de la especificación, con lo cual se puede concluir que las estaciones están comercializando productos de buena calidad, mas no es posible asegurar la procedencia exacta de los mismos. Lo mismo ocurre con la cantidad de azufre en las muestras de diesel, en las que todas las muestras cumplen con estar por debajo del límite máximo establecido por ley.

Además de la venta de combustibles fuera de especificación por parte de algunas estaciones, tal cual se puede observar y se discutió anteriormente, es notoria la diferencia entre algunos de los valores encontrados entre las gasolinas de la misma marca y el mismo octanaje.

Así, se puede observar en la gráfica 1 (Pág. No. 72) que los valores de octanaje RON de las muestras Nos. 1, 4 y 9 son consistentemente similares entre sí ( $\pm 1$  octano, la precisión del instrumento), mientras que la muestra de la estación No. 2 tiene un valor totalmente alejado de éstos y que incluso no cumple con la especificación de ley. Por esto se puede decir que el combustible vendido a través de la estación No. 2, ha sido adulterado, pudiendo ser así de varias maneras, o no es producto de la marca 1, o es parcialmente de la marca 1 mezclado con alguna otra marca, o ha sido adulterado con algún otro producto que no es gasolina MOGAS 87.

De igual manera en la gráfica 2 (Pág. No. 72), se puede observar que los valores de octanaje RON de las muestras de las estaciones Nos. 1, 4 y 9 son consistentemente similares, y es fácil observar que la muestra No.2 de nuevo no muestra un valor similar a éstos (varía  $\pm 2$  RON), a pesar de que en este producto sí cumple con la especificación de ley. En el diesel y en la gasolina MOGAS 98 no hay diferencias significativas entre los octanajes y cetanajes de los

productos marca 1 de las 4 estaciones analizadas, sin embargo la estación No.2 no comercializa MOGAS 98.

Son evidentes las diferencias existentes entre los valores encontrados en las estaciones de la marca 1 con los de la estación No. 2 (también marca 1), específicamente en el octanaje de las gasolinas MOGAS 87 y 95, lo cual hace dudar fuertemente de la procedencia de éstas en este momento, y lo cual hace pensar que puede adulterar éstos y otros productos todo el tiempo.

Como se puede ver a través de los resultados obtenidos en el trabajo de campo en cuanto a la medición del octanaje, cetanaje y cantidad de azufre en las muestras, las pruebas con el Zeltex ZX 101C resultaron ser de gran utilidad para detectar las variaciones de la calidad de los combustibles en las diferentes estaciones. Basándose en los demás resultados obtenidos de densidad y presión de vapor, a simple vista se puede determinar que la determinación de estos valores es de vital importancia para el laboratorio móvil de control de calidad.

Las densidades de las muestras de MOGAS 87 se mantienen todas en un mismo rango, bastante similares entre sí. De igual manera se comportan las muestras de los demás productos, la MOGAS 95, 91 y 98, e incluso el diesel, bastante similares todas. Sin embargo, como se puede observar, las densidades de la MOGAS 95, comparadas con las de las de las MOGAS 87,91 y 98 no varían considerablemente, mas sí con las densidades del diesel. Así, la única manera de que sería visible una adulteración de producto a través de la densidad, sería si éste es mezclado con diesel o kerosina o con algún otro de diferente densidad, ya que si es adulterada la MOGAS 95 con MOGAS 87, a través de la densidad será imposible determinarlo.

Como se mencionó anteriormente, a partir de la densidad no es posible determinar si existe algún tipo de adulteración de producto, a menos que los productos entren al país con diferencias bastante significativas de densidad unos con otros. Así, la medición de la densidad de los productos sólo es un control vago de la calidad de los combustibles, en cuanto a determinación de adulteraciones se refiere, mas es de gran importancia ya que es una característica que está relacionada en cierta manera la composición del combustible y a sus características de volatilidad.

Los valores de Presión de vapor de las diferentes estaciones están considerablemente dispersos, sin embargo, como se mencionó anteriormente, el efecto del traslado de las muestras para su análisis posterior afecta principalmente esta propiedad de las gasolinas.

Comparando estos datos con los obtenidos de octanaje de las muestras, y haciendo una correlación de los resultados de los mismos, para corroborar las sospechas obtenidas de los resultados de octanaje y cetanaje, no fue posible realizar una correlación con los últimos. Todas las muestras están dentro de especificación, ya que todas están por debajo del límite máximo establecido en la ley.

De manera parecida a la densidad, las pruebas de volatilidad son de gran importancia como herramientas de control de calidad, ya son análisis que sirven para evaluar y detectar problemas con la calidad del combustible de origen. Además, por el mismo principio que los compuestos volátiles se evaporan antes de la gasolina, quedando únicamente los más pesados, y por lo tanto cambiando sus características de presión de vapor y destilación, este análisis es de utilidad para evaluar la calidad de los combustibles que permanecen cantidades considerables de tiempo almacenados en los tanques de determinadas estaciones, para determinar si la calidad de dichos productos no ha variado considerablemente.

Para evaluar la volatilidad de los combustibles resulta ser de mayor utilidad la destilación, ya que además de determinar la volatilidad de los combustibles, determina las concentraciones de los diferentes grupos de compuestos contenidos en los combustibles, lo cual es una información extra y que puede ser de gran utilidad para el control de calidad.

No está de más recalcar que a través de estos análisis realizados a los combustibles es posible determinar únicamente si existe una adulteración del producto con otro de diferentes propiedades, o incluso con diferentes productos, mas no con productos similares de características similares de otras marcas, ya sea que éstos tengan o no aditivos. En este caso sólo dará indicios de adulteración. En el caso de la presión de vapor y la densidad, éstos análisis nunca han sido destinados para probar la procedencia o integridad de los productos, sino simplemente su calidad.

Los análisis de cantidad de agua en los tanques y de cantidad despachada por los dispensadores no pudieron ser realizadas en este trabajo de campo, por falta de equipo y de autorización para hacer auditoría en las estaciones. Sin embargo éstos se adecuan técnicamente a las necesidades del programa de control de calidad, al ser el agua en el combustible una medida de calidad importante, al igual que la cantidad despachada por los dispensadores.

La tecnología de los marcadores es bastante útil para la determinación de la integridad y procedencia de los combustibles. Sin embargo, como se describe en los resultados, es una

tecnología que para que funcione bien, es necesario adquirir una bastante costosa, y ésta debiera ser incluida a criterio de las compañías importadoras, de acuerdo como se desarrolle el programa de control de calidad.

Finalmente, como se puede observar en el detalle de las pruebas propuestas a realizar en las estaciones de servicio, el tiempo máximo estimado de la duración de las pruebas, tomadas linealmente, es de dos horas. Esto implica que se realice una prueba y hasta terminar dicha prueba no se inicie con otra, lo cual asume que en el laboratorio opera únicamente una persona. Si trabajara únicamente una persona en el laboratorio, éste tendría capacidad para analizar cerca de 4 estaciones de servicio diarias, para un total de 22 semanales. Con esto, si se implementa el programa para las 200 estaciones de la red de Shell en Guatemala, se estaría terminando de analizar todas las estaciones en cerca de dos meses, lo cual es un período bastante aceptable para llevar a cabo los controles de calidad, y por lo que únicamente sería necesario el equipamiento de un laboratorio móvil.

## IX. CONCLUSIONES

- A. Los resultados obtenidos son una prueba más de la necesidad de la implementación del programa de control de calidad, ya que como se puede ver, existen varias estaciones que comercializan producto que no cumplen con las especificaciones mínimas de calidad.
- B. Es necesaria la implementación del laboratorio de manera móvil, para que los resultados de las pruebas sean más confiables al ser obtenidos directamente de la estación en la que se están comercializando los combustibles al mismo tiempo que se están llevando a cabo los análisis, sino que también los resultados estén disponibles de manera expedita para la Compañía así como para el Gobierno.
- C. El equipo utilizado para la determinación del octanaje de las gasolinas y el cetanaje del diesel se adecua a las necesidades técnicas del programa de control de calidad. El octanómetro Zeltex ZX-101C es la unidad que mejor se adapta para los fines de determinación de octanaje y cetanaje en el programa de control de calidad, debido a:
1. Su fácil movilidad para uso en el campo
  2. Que no es necesaria gran capacitación del personal que opere el equipo
  3. Su rapidez en los resultados de los análisis
  4. Su precio
- D. Los análisis de densidad se adecuan a las necesidades técnicas del programa de control de calidad, ya que brindan importante información de la calidad y pueden ayudar a evitar o detectar errores de calidad en la cadena de distribución.
- E. Los análisis de volatilidad de los distintos combustibles se adecuan también al programa de control de calidad. Para fines de su determinación, el equipo que mejor se adapta a las necesidades del programa es el destilador Minidis, debido a:
1. Se logra determinar concentraciones de grupos de compuestos
  2. Portátil, de fácil de uso
  3. No es necesaria gran capacitación de personal
  4. Determinaciones expeditas
  5. Precio, y conocimiento de tecnología Grabner

- F. El método de determinación de la densidad ASTM D 1298 resultó ser de fácil manejo para la determinación de las densidades, además de ser bastante rápida su ejecución. Asimismo, el equipo utilizado para la determinación de octanaje y cetanaje y el equipo utilizado para la determinación de la presión de vapor resultaron ser bastante fáciles de utilizar y se evidenció que no es necesario un operario altamente capacitado para su operación.

## **X. RECOMENDACIONES**

- A. Se recomienda tener un laboratorio fijo de control de calidad con equipo distinto (y si es posible de mayor precisión) al utilizado en el campo, en el que se puedan corroborar los valores obtenidos de los análisis realizados, a manera de tener un control cruzado de los resultados y para poder tener una mayor seguridad de los resultados de los análisis de las muestras.
  
- B. Se recomienda no incluir inicialmente los métodos de detección de aditivos, puesto que los que son de bajo costo son vagamente confiables y fácilmente duplicables, y los que son confiables son considerablemente costosos. Por el momento, con el equipo de detección de octanaje ha sido demostrado que se puede detectar cierto nivel de adulteración, y con ello se espera disminuir y desincentivar las posibles prácticas. De permanecer la situación a pesar del presente programa, se recomienda la utilización de marcadores para determinar la integridad y la calidad de los productos.

## XI. APÉNDICE

### A. Trabajo de Campo

#### 1. Procedimiento

A fin de ejemplificar las pruebas realizables con la unidad de control de calidad, se realizaron ciertas pruebas a combustibles de 10 estaciones de servicio aleatorias, de todas las marcas y en varios sectores de la ciudad. Para tener una muestra real de los que es el mercado, se tomaron cuatro estaciones de servicio marca 1, y 2 de cada una de las demás marcas, incluyendo dos independientes.

Las pruebas realizadas a estas 10 estaciones son, octanaje para gasolinas, cetanaje y nivel de azufre en diesel, pruebas de la presión de vapor y densidad para todas las muestras.

Se determinó la densidad de las muestras en cada estación de servicio, y se colectaron las muestras en envases de PVC para ser llevadas al laboratorio del Ministerio de Energía y Minas para medir octanaje y posteriormente a marca 1 para medirles la presión de vapor.

#### 2. Datos originales

##### a. Octanaje, cetanaje y cantidad de azufre

Tabla A1. Octanaje de las muestras de MOGAS 87

Muestra	Estación de servicio	RON ( $\pm 0.1$ )	MON ( $\pm 0.1$ )	AKI ( $\pm 0.14$ )
1	Marca 1	93.9	84.7	89.3
2	Marca 1	<b>86.6</b>	80.4	83.5
3	Marca 2	93.0	83.6	88.3
4	Marca 1	93.4	84.5	89.0
5	Marca 2	88.6	81.8	85.2
6	Marca 3	93.8	84.8	89.3
7	Marca 4	<b>82.9</b>	78.1	80.5
8	Marca 3	<b>82.4</b>	77.6	80.0
9	Marca 1	94.5	84.9	89.7
10	Marca 5	<b>83.3</b>	78.6	81.0

Tabla A2. Octanaje de las muestras de MOGAS 95

<b>Muestra</b>	<b>1) Estación de servicio</b>	<b>RON (<math>\pm 0.1</math>)</b>
1	Marca 1	98.5
2	Marca 1	96.4
3	Marca 2	97.0
4	Marca 1	97.6
5	Marca 2	97.0
6	Marca 3	97.5
7	Marca 4	94.6
8	Marca 3	97.1
9	Marca 1	98.1
10	Marca 5	95.7

Tabla A3. Octanaje de las muestras de MOGAS 91 y 98

<b>Muestra</b>	<b>Estación de servicio</b>	<b>MOGAS</b>	<b>RON (<math>\pm 0.1</math>)</b>
1	Marca 1	98	100.4
3	Marca 2	91	96.9
4	Marca 1	98	100.1

Tabla A4. Índice de cetano, número de cetano y concentración de azufre en las muestras de diesel

<b>Muestra</b>	<b>2) Estación de servicio</b>	<b>Índice de cetano (<math>\pm 0.1</math>)</b>	<b>Número de cetano (<math>\pm 0.1</math>)</b>	<b>Azufre presente (% m/m) (<math>\pm 0.01</math>)</b>
1	Marca 1	42.9	53.0	0.08
2	Marca 1	44.5	54.6	0.04
3	Marca 2	45.6	54.4	0.04
4	Marca 1	43.8	53.7	0.07
5	Marca 2	44.1	53.0	0.08
6	Marca 3	45.1	55.7	0.04
7	Marca 4	45.4	55.8	0.01
8	Marca 3	45.9	55.4	0.03
9	Marca 1	44.3	54.8	0.06
10	Marca 5	45.2	56.0	0.03

**b. Densidad**

Tabla A5. Densidad API y temperatura de las muestras de gasolina MOGAS 87

<b>Muestra</b>	<b>1) Estación de servicio</b>	<b>Temperatura (<math>\pm 0.5^{\circ}\text{F}</math>)</b>	<b>Densidad (<math>\pm 0.05^{\circ}\text{API}</math>)</b>
1	Marca 1	86.0	57.20
2	Marca 1	68.0	60.50
3	Marca 2	80.0	58.20
4	Marca 1	N/A	N/A
5	Marca 2	82.0	61.00
6	Marca 3	84.0	56.00
7	Marca 4	79.0	61.00
8	Marca 3	80.0	59.00
9	Marca 1	80.0	55.40
10	Marca 5	76.0	61.00

Tabla A6. Densidad API y temperatura de las muestras de gasolina MOGAS 95

<b>Muestra</b>	<b>2) Estación de servicio</b>	<b>Temperatura (<math>\pm 0.5^{\circ}\text{F}</math>)</b>	<b>Densidad (<math>\pm 0.05^{\circ}\text{API}</math>)</b>
1	Marca 1	86.0	56.80
2	Marca 1	68.0	55.50
3	Marca 2	80.0	58.30
4	Marca 1	N/A	N/A
5	Marca 2	82.0	60.80
6	Marca 3	84.0	56.30
7	Marca 4	79.0	59.50
8	Marca 3	80.0	55.80
9	Marca 1	80.0	55.60
10	Marca 5	76.0	54.50

Tabla A7. Densidad API y temperatura de las muestras de gasolina MOGAS 98/91

<b>Muestra</b>	<b>3) Estación de servicio</b>	<b>Temperatura (<math>\pm 0.5^{\circ}\text{F}</math>)</b>	<b>Densidad (<math>\pm 0.05^{\circ}\text{API}</math>)</b>
1	Marca 1	86.0	60.00
3	Marca 2	80.0	58.00
4	Marca 1	N/A	N/A

Tabla A8. Densidad API y temperatura de las muestras de diesel

Muestra	4) Estación de servicio	Temperatura ( $\pm 0.5^\circ\text{F}$ )	Densidad ( $\pm 0.5^\circ\text{API}$ )
1	Marca 1	92.0	36.90
2	Marca 1	68.0	35.00
3	Marca 2	80.0	34.80
4	Marca 1	N/A	N/A
5	Marca 2	82.0	36.00
6	Marca 3	84.0	35.30
7	Marca 4	79.0	34.40
8	Marca 3	80.0	34.90
9	Marca 1	80.0	36.00
10	Marca 5	76.0	34.50

## c. Presión de Vapor

Tabla A9. Presión de vapor de las muestras de MOGAS 87

Muestra	Estación de servicio	Temperatura ( $\pm 0.1^\circ\text{F}$ )	Presión de vapor ( $\pm 0.01\text{PSI}$ )	Presión total ( $\pm 0.01\text{PSI}$ )	Presión gas ( $\pm 0.01\text{PSI}$ )	Presión absoluta ( $\pm 0.01\text{PSI}$ )
1	Marca 1	100.0	6.90	7.72	0.49	7.22
2	Marca 1	100.0	7.56	8.40	0.51	7.89
3	Marca 2	100.0	7.64	8.48	0.49	7.99
4	Marca 1	100.0	6.56	7.35	0.48	6.87
5	Marca 2	100.0	7.56	8.40	0.51	7.89
6	Marca 3	100.0	6.80	7.61	0.49	7.12
7	Marca 4	100.0	6.77	7.59	0.35	7.24
8	Marca 3	100.0	6.51	7.31	0.54	6.77
9	Marca 1	100.0	6.29	7.09	-2.09	9.18
10	Marca 5	100.0	6.77	7.59	0.35	7.24

Tabla A10. Presión de vapor de las muestras de MOGAS 95

Muestra	Estación de servicio	Temperatura (±0.1 °F)	Presión de vapor (±0.01PSI)	Presión total (±0.01PSI)	Presión gas (±0.01PSI)	Presión absoluta (±0.01PSI)
1	Marca 1	100.0	6.44	7.24	0.48	6.76
2	Marca 1	100.0	6.60	7.40	0.48	6.92
3	Marca 2	100.0	6.22	7.01	0.48	6.53
4	Marca 1	100.0	5.15	5.90	0.46	5.44
5	Marca 2	100.0	6.77	7.59	0.49	7.09
6	Marca 3	100.0	5.64	6.41	0.49	5.92
7	Marca 4	100.0	6.32	7.12	0.45	6.67
8	Marca 3	100.0	6.77	7.59	0.49	7.09
9	Marca 1	100.0	5.82	6.58	0.49	6.09
10	Marca 5	100.0	6.16	6.95	0.46	6.48

Tabla A11. Presión de vapor de las muestras de MOGAS 98/91

Muestra	Estación de servicio	Temperatura (±0.1 °F)	Presión de vapor (±0.01PSI)	Presión total (±0.01PSI)	Presión gas (±0.01PSI)	Presión absoluta (±0.01PSI)
1	Marca 1	100.0	6.19	6.98	0.55	6.43
3	Marca 2	100.0	7.30	8.12	0.48	7.64
4	Marca 1	100.0	5.19	5.95	0.55	5.40

### 3. Cálculo de muestra

#### Conversión de escalas de temperatura

$$^{\circ}C = \frac{(^{\circ}F - 32) \times 5}{9} \quad (\text{Ec. 2})$$

#### Ejemplo: Conversión de temperatura de la muestra 1 de gasolina MOGAS 87

Temperatura de la muestra: 86°F

Conversión:

$$^{\circ}C = \frac{(86^{\circ}F - 32) \times 5}{9} = 30.0^{\circ}C$$

Temperatura en °C: 30.0°C

**Cambio de escala de API a g/mL**

$$g/mL = \frac{141.5}{^{\circ}API + 131.5} \quad (\text{Ec. 3})$$

**Ejemplo: Cambio de escala de API a g/mL de la muestra 1 de Gasolina MOGAS 87**

Densidad de la Muestra: 57.20 °API

Conversión:

$$g/mL = \frac{141.5}{57.20^{\circ}API + 131.5} = 0.7498 g/mL$$

Densidad en g/mL: 0.750g/mL

**Corrección de Densidad por Temperatura**

$$\rho_r = \frac{\rho_t}{1 - [23 \times 10^{-6}(t-r) - 2 \times 10^{-8}(t-r)^2]} \quad (\text{Ec. 4})$$

donde,  $\rho_r$  = Densidad de referencia

$\rho_t$  = Densidad a temperatura analizada

t = Temperatura de análisis

r = Temperatura de referencia

**Ejemplo: Corrección de la densidad a 15.5°C de la muestra 1 de Gasolina MOGAS 87**

Densidad original: 0.7498g/mL

Temperatura: 30.0°C

Temperatura de referencia: 15.5°C

Conversión:

$$-\rho_r = \frac{0.7498 \text{ g/mL}}{1 - [23 \times 10^{-6}(30.0 - 15.5) - 2 \times 10^{-8}(30.0 - 15.5)^2]} = 0.7500 \text{ g/mL}$$

Densidad a 15.5°C: 0.75g/mL

### Conversión de escalas de presión

$$1 \text{ Bar} = 14.503 \text{ PSI} \quad (\text{Ec. 5})$$

**Ejemplo: Conversión de la presión de vapor de la muestra 1 de gasolina MOGAS**

**87**

Presión de vapor en PSI: 6.90 PSI

Conversión:

$$\text{Bar} = \frac{6.90 \text{ PSI}}{14.503} = 0.48 \text{ Bar}$$

Presión de vapor en Bar: 0.48 Bar

#### 4. Datos calculados

##### a. Densidad

Tabla A13. Correcciones de datos de densidad a 15.5°C de las muestras de gasolina MOGAS 87

Muestra	Estación de Servicio	Temperatura (±0.1 °F)	Densidad (±0.05°API)	Temperatura (±0.5°C)	Densidad (±0.05g/mL)	Densidad (g/mL a 15.5°C)	Densidad (°API a 15.6°C)
1	Marca 1	86.0	57.2	30.0	0.7	0.750	57.22
2	Marca 1	68.0	60.5	20.0	0.7	0.737	60.51
3	Marca 2	80.0	58.2	26.7	0.7	0.746	58.21
4	Marca 1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
5	Marca 2	82.0	61.0	27.8	0.7	0.735	61.02
6	Marca 3	84.0	56.0	28.9	0.8	0.755	56.02
7	Marca 4	79.0	61.0	26.1	0.7	0.735	61.01
8	Marca 3	80.0	59.0	26.7	0.7	0.743	59.01
9	Marca 1	80.0	55.4	26.7	0.8	0.757	55.41
10	Marca 5	76.0	61.0	24.4	0.7	0.735	61.01

Tabla A14. Correcciones de datos de densidad a 15.5°C de las muestras de gasolina MOGAS 95

Muestra	Estación de Servicio	Temperatura (±0.1 °F)	Densidad (±0.05°API)	Temperatura (±0.5°C)	Densidad (±0.05g/mL)	Densidad (g/mL a 15.5°C)	Densidad (°API a 15.6°C)
1	Marca 1	86.0	56.8	30.0	0.8	0.752	56.82
2	Marca 1	68.0	55.5	20.0	0.8	0.757	55.51
3	Marca 2	80.0	58.3	26.7	0.7	0.746	58.31
4	Marca 1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
5	Marca 2	82.0	60.8	27.8	0.7	0.736	60.82
6	Marca 3	84.0	56.3	28.9	0.8	0.754	56.32
7	Marca 4	79.0	59.5	26.1	0.7	0.741	59.51
8	Marca 3	80.0	55.8	26.7	0.8	0.756	55.81
9	Marca 1	80.0	55.6	26.7	0.8	0.756	55.61
10	Marca 5	76.0	54.5	24.4	0.8	0.761	54.51

Tabla A15. Correcciones de datos de densidad a 15.5°C de las muestras de gasolina MOGAS 98/91

Muestra	Estación de servicio	Temperatura (±0.1 °F)	Densidad (±0.05°API)	Temperatura (±0.5°C)	Densidad (±0.05g/mL)	Densidad (g/mL a 15.5°C)	Densidad (°API a 15.6°C)
1	Marca 1	86.0	60.0	30.0	0.7	0.739	60.02
3	Marca 2	80.0	58.0	26.7	0.7	0.747	58.01
4	Marca 1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Tabla A16. Correcciones de datos de densidad a 15.5°C de las muestras de diesel

Muestra	Estación de servicio	Temperatura (±0.1 °F)	Densidad (±0.05°API)	Temperatura (±0.5°C)	Densidad (±0.05g/mL)	Densidad (g/mL a 15.5°C)	Densidad (°API a 15.6°C)
1	Marca 1	92.0	36.9	33.3	0.840	0.841	36.91
2	Marca 1	68.0	35.0	20.0	0.849	0.850	35.00
3	Marca 2	80.0	34.8	26.7	0.852	0.851	34.81
4	Marca 1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
5	Marca 2	82.0	36.0	27.8	0.844	0.845	36.01
6	Marca 3	84.0	35.3	28.9	0.848	0.849	35.31
7	Marca 4	79.0	34.4	26.1	0.854	0.853	34.41
8	Marca 3	80.0	34.9	26.7	0.850	0.851	34.91
9	Marca 1	80.0	36.0	26.7	0.844	0.845	36.01
10	Marca 5	76.0	34.5	24.4	0.852	0.853	34.51

b. Presión de Vapor

Tabla A17. Presión de vapor de las muestras de MOGAS 87

Muestra	Estación de servicio	Presión de vapor (±0.01PSI)	Presión total (±0.01PSI)	Presión de vapor (±0.01Bar)	Presión total (±0.01Bar)
1	Marca 1	6.90	7.72	0.48	0.53
2	Marca 1	7.56	8.40	0.52	0.58
3	Marca 2	7.64	8.48	0.53	0.58
4	Marca 1	6.56	7.35	0.45	0.51
5	Marca 2	7.56	8.40	0.52	0.58
6	Marca 3	6.80	7.61	0.47	0.52
7	Marca 4	6.77	7.59	0.47	0.52
8	Marca 3	6.51	7.31	0.45	0.50
9	Marca 1	6.29	7.09	0.43	0.49
10	Marca 5	6.77	7.59	0.47	0.52

Tabla A18. Presión de vapor de las muestras de MOGAS 95

Muestra	Estación de servicio	Presión de vapor ( $\pm 0.01$ PSI)	Presión total ( $\pm 0.01$ PSI)	Presión de vapor ( $\pm 0.01$ Bar)	Presión total ( $\pm 0.01$ Bar)
1	Marca 1	6.44	7.24	0.44	0.50
2	Marca 1	6.60	7.40	0.46	0.51
3	Marca 2	6.22	7.01	0.43	0.48
4	Marca 1	5.15	5.90	0.36	0.41
5	Marca 2	6.77	7.59	0.47	0.52
6	Marca 3	5.64	6.41	0.39	0.44
7	Marca 4	6.32	7.12	0.44	0.49
8	Marca 3	6.77	7.59	0.47	0.52
9	Marca 1	5.82	6.58	0.40	0.45
10	Marca 5	6.16	6.95	0.42	0.48

Tabla A19. Presión de vapor de las muestras de MOGAS 98/91

Muestra	Estación de servicio	Presión de vapor ( $\pm 0.01$ PSI)	Presión total ( $\pm 0.01$ PSI)	Presión de vapor ( $\pm 0.01$ Bar)	Presión total ( $\pm 0.01$ Bar)
1	Marca 1	6.19	6.98	0.43	0.48
3	Marca 2	7.30	8.12	0.50	0.56
4	Marca 1	5.19	5.95	0.36	0.41

## XII. BIBLIOGRAFÍA

1. *ASTM D 4814-01a. Standard Specification for Automotive Spark-Ignition Engine Fuel.* 2003. American Society for Testing Materials, U.S.A.
2. *ASTM D 975-02. Standard Specification for Diesel Fuel Oils.* 2003. American Society for Testing Materials, U.S.A.
3. *ASTM D 2699-92. Standard Test Method for Knock Characteristics of Motor Fuels by the Research Method.* 2003. American Society for Testing Materials, U.S.A.
4. *ASTM D 2700-92. Standard Test Method for Knock Characteristics of Motor and Aviation Fuels by the Motor Method.* 2003. American Society for Testing Materials, U.S.A.
5. *ASTM D1298-99. Standard Test Method for Density, Relative Density, or API Gravity of Crude Petroleum and Liquid Petroleum Products by Hydrometer Method.* 2003. American Society for Testing Materials, U.S.A.
6. *ASTM D 86-01. Standard Test Method for Distillation of Petroleum Products at Atmospheric Pressure.* 2003. American Society for Testing Materials, U.S.A.
7. *ASTM D 5191-02. Standard Test Method for Vapor Pressure of Petroleum Products (Mini Method).* 2003. American Society for Testing Materials, U.S.A.
8. Guatemala. 2001. Acuerdo gubernativo No. AG-207-2001. Propiedades de los combustibles para la República de Guatemala. Diario De Centroamérica, 21 de noviembre de 2001.
9. Guatemala 1999. Ministerio de Energía y Minas. Ley de Comercialización de Hidrocarburos y su Reglamento. Gobierno de Guatemala.
10. <http://www.faqs.org/faqs/autos/gasoline-faq>
11. <http://www grabner-instruments.com>
12. <http://www.Petroleum-Analyzer.com>
13. <http://www.petrospec.com>
14. <http://www.pac.com>
15. <http://www.zeltex.com>
16. [www.earlham.edu/~chem/pages/gasoline/grades.html](http://www.earlham.edu/~chem/pages/gasoline/grades.html)
17. [www.shell.ca/code/motoring/encyclopedia/info/jargon.html](http://www.shell.ca/code/motoring/encyclopedia/info/jargon.html)
18. [www.Shell.com](http://www.Shell.com)
19. [www.Shellglobalsolutions.com](http://www.Shellglobalsolutions.com)

### **XIII. GLOSARIO**

<b>-iso</b>	terminación ramificada de un hidrocarburo
<b>MTBE</b>	Metil ter-butil eter compuesto oxigenado mejorador de octanaje
<b>CO</b>	Monóxido de Carbono, compuesto producto de una mala combustión
<b>NOx</b>	Óxidos de Nitrógeno. Gases de combustión dañinos para el ambiente
<b>ASTM</b>	American Society for Testing Materials
<b>EPA</b>	Environment Protection Agency, de USA
<b>Aldehídos</b>	Tipo de Compuestos orgánicos
<b>Calor de evaporación</b>	Energía necesaria para evaporar un compuesto a determinada temperatura
<b>Autoignición</b>	encendido espontáneo del combustible
<b>Alquilos</b>	compuestos orgánicos con triple enlace de carbonos
<b>Quelante</b>	compuesto que atrapa el metal en su molécula
<b>Absorbancias</b>	Cantidad de luz absorbida, por medio de la cual se identifican los compuestos en una mezcla química

Imprenta "GORA"  
25 Av. 25-71, Zona 5  
Telefax: 335-5733 - 218-7292