

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA DE PETRÓLEO, GAS NATURAL Y
PETROQUÍMICA**



APROVECHAMIENTO DE LIQUIDOS DEL GAS NATURAL

TESIS

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN CIENCIAS
CON MENCIÓN EN INGENIERÍA DE PETRÓLEO Y GAS NATURAL**

**ELABORADO POR:
JOSÉ C. ROBLES FREYRE**

**ASESOR:
MSC FELIX BERNABEL**

**LIMA - PERÚ
2013**

AGRADECIMIENTO

Por su valiosa ayuda en las pruebas de laboratorio

LABORATORIO DE LA FACULTAD DE PETROLEO, GAS
Y PETROQUIMICA

LABORATORIO DE REFINERIA CONCHAN

LABORATORIO DE REFINERIA TALARA

BACHILLER JOHN PAUL SALCEDO VILLASANTE

RESUMEN

El propósito del presente trabajo es ofrecer una manera de mejorar los ingresos de los productores de Líquidos del Gas Natural (LGN) produciendo productos que se puedan comercializar como combustibles. Esto puede lograrse utilizando Destilación Fraccionada. Actualmente, los combustibles que se consumen en las áreas productivas deben ser transportados de las refinerías de la costa abonando un elevado costo de transporte.

Se evaluó, además, la posibilidad de producir combustible de aviación y solventes ligeros.

Se efectuaron pruebas de laboratorio de muestras e fracciones de LGN obtenidas de la destilación TBP de una muestra de LGN, y se simularon operaciones de destilación utilizando el Pro II 8.2, con los siguientes resultados:

- a) Las fracciones del rango de la gasolina no cumplen los requerimientos de Octanaje; pero, pueden mezclarse con fracciones de gasolina de mayor octanaje, traídas de la costa, para alcanzar los mínimos de las gasolinas comerciales.
- b) En todos los casos las fracciones de diesel se pueden usar en mezclas de ese combustible, y
- c) Se puede producir combustible de aviación de acuerdo a las especificaciones de ese combustible

Sería conveniente obtener que el gobierno acepte que se comercialice en las zonas altas de nuestra sierra gasolinas de menor octanaje a las actuales. El efecto de altitud sobre los requerimientos de los motores, más la adición de Etanol a las gasolinas, incrementa el octanaje en 6 números octanos; por ejemplo, una gasolina de 84 RON se comporta como una gasolina de 90 RON a 3,000 metros de altitud sobre el nivel del mar.

ABSTRACT

The purpose of the present paper is to find out a way to improve the income of the producers of NGL obtaining products who can be sold as fuels. It can be done in the production area using only fractional distillation. The fuels consumed in the production area have to bear a high transportation cost from the Refineries located in the coast.

It will be explored also the production of aviation fuel and solvents.

It was done laboratory tests of NGL fractions obtained from a TBP unit and Fractional Distillation Simulation using the Pro II 8.2 software and the results are the followings:

a) The gasoline fractions obtained meet the gasoline distillation specifications, but they do not comply with the RON requirements. But, they can be blended with adequate high octane gasoline fractions and improve their RON up to the commercial specs.

b) In all cases the heavy components can be blended with commercial diesel, and

c) The aviation fuel meet their required specs.

It should be worth to try to obtain the government approval to commercialize low octane gasolines at the high altitude of the Andes mountains. The altitude effect, at more than 3,000 meters above the sea level, plus the effect of the Ethanol added to the gasoline, increases the octane performance of the gasolines in more than 6 octane numbers; for example: a 84 RON gasoline behaves as a 90 RON gasoline at 3,000 meters above sea level.

INDICE

	Pagina
INTRODUCCION	1
CAPITULO I	2
1.1 El Problema de investigación	2
1.2 Objetivos	2
1.3 Importancia	2
1.4 Limitaciones	2
1.5 Alcances	2
CAPITULO II	3
2.1 Marco Teórico	3
2.2 Antecedentes	3
2.3 Bases Teóricas	4
2.3.1 Gasolinas	5
2.3.2 Diesel	10
2.3.3 Solventes	13
2.4 Hipótesis	14
2.5 Variabilidad y operacionalidad	14
2.6 Matriz de Consistencia	15
CAPITULO III	16
3.1 Metodología	16
3.1.1 Experimental	16
3.1.2 Simulación	17
3.2 Casos a evaluar	17
3.3 Población y muestra	18
3.4 Técnicas de recolección de datos	18
3.5 Técnicas de análisis e interpretación de datos	18

CAPITULO IV	19
4.1 Análisis y resultados de la investigación	19
4.1.1 Método experimental	19
4.1.1.1 Datos iniciales	19
4.1.1.2 Gasolinas	21
4.1.1.3 Diesel	23
4.1.2 Simulación Pro II 8.2	25
4.1.2.1 Gasolina rendimiento 50/50	25
4.1.2.2 Gasolina Rendimiento 40/60	28
4.1.2.3 Solventes 1 y 3	29
4.1.2.4 Solvente 1 y Diesel	31
4.1.2.5 Solvente 3 y Diesel	33
4.1.2.6 Solvente Especial	35
4.1.2.7 Turbo combustible	37
4.1.2.8 Turbo combustible y Solvente Especial	39
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	41
Conclusiones	41
Recomendaciones	42
CAPITULO V	43
Referencias Bibliográficas	43

ANEXOS

ANEXO A	LIQUIDOS DEL GAS NATURAL	46
A.1	Descripción Genérica	46
A.2	Gasolina Natural	46
ANEXO B	CARACTERISTICAS DE LOS HIDROCARBUROS LIGEROS	49
B.1	Punto de Ebullición y Octanaje	49
B.2	Condensado de Pucallpa	51
ANEXO C	LA MUESTRA	53
ANEXO D	PRODUCTOS A OBTENERSE	62
D.1	Gasolina	62
D.1.1	Descripción	62
D.1.2	Antidetonancia – Octanaje	63
D.1.3	Efectos de la altura sobre los requerimientos de octanaje	66
D.1.4	Volatilidad	67
D.1.5	Adición de Etanol	68
D.1.6	Rendimiento de la gasolina	68

D.2 Diesel	68	
D.2.1 Descripción	68	
D.2.2 Tipos de Diesel	69	
D.2.2.1 Diesel 1	70	
D.2.2.2 Diesel 2	70	
D.2.2.3 Diesel 4	71	
D.2.3 Contenido de Azufre	71	
D.2.4 Índice de Cetano	71	
D.2.5 Viscosidad	71	
D.2.6 Punto de Niebla	71	
D.2.7 Especificaciones ASTM D 975	72	
D.3 Solventes	73	
D.3.1 Características	73	
D.3.2 Solventes Especiales	76	
ANEXO E	PRODUCTOS ESPECIALES	78
ANEXO F	MERCADO NACIONAL DE GASOLINAS	79
ANEXO G	DESPOJADORES	81
G.1 Corrección del Flash Point en el Diesel	81	
ANEXO H	MEZCLAS DE DIESEL	84

INDICE DE TABLAS

		Pagina
Tabla 2.1	Productos Especiales Derivados del Gas Natural	4
Tabla 2.2	Especificaciones de Gasolina Motor	6
Tabla 2.3	Variaciones de la performance del Octanaje con la altura	8
Tabla 2.4	Especificaciones del Diesel 1 y Diesel 2	12
Tabla 2.5	Especificaciones de Solventes	13
Tabla 4.1	Destilación TBP de la muestra	19
Tabla 4.2	Caracterización de los cortes de la destilación TBP de la muestra	20
Tabla 4.3	Octanaje de los cortes de la muestra	21
Tabla 4.4	Muestras seleccionadas de gasolina	22
Tabla 4.5	Muestras seleccionadas de diesel	24
Tabla 4.6	Especificaciones de Diesel 1 y Diesel 2	24
Tabla 4.7	Caracterización de productos - 50/50	26
Tabla 4.8	Condiciones de operación - 50/50	27
Tabla 4.9	Caracterización de productos - 40/60	28
Tabla 4.10	Condiciones de operación - 40/60	29
Tabla 4.11	Caracterización de productos: Solventes 1 y 3	30
Tabla 4.12	Condiciones de operación: Solventes 1 y 3	31
Tabla 4.13	Caracterización de productos: Solvente 1 y Diesel	32
Tabla 4.14	Condiciones de operación Solvente1 y Diesel	33
Tabla 4.15	Caracterización de productos: Solvente 3 y Diesel	34
Tabla 4.16	Condiciones de operación: Solvente 3 y diesel	35
Tabla 4.17	Caracterización de productos: Solvente Especial	36

Tabla 4.18	Condiciones de operación: Solvente Especial	37
Tabla 4.19	Caracterización de productos: Turbo	38
Tabla 4.20	Condiciones de operación: Turbo	38
Tabla 4.21	Caracterización: Turbo y Solvente Especial	39
Tabla 4.22	Condiciones de operación: Turbo y Solvente	40
Tabla A.1	Especificaciones de la Gasolina Natural	47
Tabla A.2	Condensados del Gas Natural - Solvente	47
Tabla B.1	Punto de Ebullición y Octanaje	49
Tabla B.2	Cromatografía - Condensado de Pucallpa	51
Tabla C.1	Destilación TBP de la Muestra	53
Tabla C.2	Caracterización de cortes de TBP	55
Tabla C.3	Cromatografía de cortes de productos livianos	57
Tabla C.4.1	Octanaje de cortes 1 al 9	59
Tabla C.4.2	Octanaje de cortes 1 a 4 y 1 a 5	60
Tabla D.2.7	Especificaciones ASTM D 975, Diesel	72
Tabla D.3.2	Especificaciones Solvente 1	74
Tabla D.3.3	Especificaciones Solvente 3	75
Tabla D.3.4	Especificaciones de Hexano	76
Tabla D.3.5	Características de Hidrocarburos cercanos al Hexano	77
Tabla E.1	Productos Especiales derivados de LGN	78
Tabla F.1	Mercado nacional de gasolinas	79
Tabla G.1	Caracterización de productos de despojadores	82
Tabla G.2	Condiciones de operación de Despojadores	83

INDICE DE GRAFICOS

		Pagina
Grafico C.1	Curva de Destilación del TBP de la muestra	54
Grafico C.2	Curvas de destilación ASTM D 86 de los cortes	
	TBP	56
Grafico C.4	Análisis Cromatografico de los cortes de TBP	58

INTRODUCCION

La producción de Líquidos del Gas Natural (LGN) es, en el país, cada vez mas abundante; nuestros yacimientos de gas natural de la selva sur están produciendo, actualmente, mas de 100,000 barriles por día de LGN; en la selva central la producción no es muy abundante pero no seria extraño que se incremente; y, en el noroeste la prospección por gas natural se muestra prometedora.

El aprovechamiento de estos hidrocarburos es muy limitada, realmente solo se aprovecha adecuadamente el GLP, la gasolina natural se coloca en el mercado de una manera irregular la cual se utiliza, sin control, como insumos o solventes no claramente identificados.

Se da el caso de que la zona de Ucayali no lo utiliza como combustible y que casi toda las necesidades de esa zona son abastecidas por carretera desde el Callao.

El propósito del presente trabajo es mostrar que se puede utilizar toda la producción de Líquidos del Gas Natural dentro de combustibles y disminuir la necesidad de traer combustibles desde la costa, mejorando, de esa manera, la rentabilidad de la producción de hidrocarburos de esa zona y de otras similares que puedan surgir de condiciones parecidas.

Se propone demostrar que con procesos simples de destilación fraccionada se puede lograr el objetivo buscado; y que, de ese modo, se puede ahorrar el transporte por tierra de una parte importante de las necesidades de combustible de la zona.

Se propone mostrar que fraccionando los líquidos del gas natural se pueden obtener combustibles que cumplen los estándares nacionales o fracciones que se puedan incluir dentro de los combustibles que vienen de la costa y ser utilizados de esa manera en su lugar de origen; de esa manera los componentes de los Líquidos del Gas Natural tendrán el valor de combustible, gasolina o diesel.

Inicialmente se tomará una muestra de LGN a la cual se le han retirado el GLP y se separan diez (10) fracciones obtenidas de una unidad TBP, a las cuales se les determinarán sus propiedades. Se mezclaran las fracciones que se encuentren dentro del rango de gasolina y del diesel y se les hará las pruebas de laboratorio respectivas.

Utilizando el Pro II 8.2 se simularan condiciones de fraccionamiento para obtener resultados que se asemejen a las especificaciones de gasolina y diesel; en adición a ello se simularan operaciones para obtener Turbo combustible y Solventes.

CAPITULO I

1.1 El Problema de investigación

Encontrar la forma en que los hidrocarburos que se pueden obtener de los Líquidos del Gas Natural se comercialicen dentro de los combustibles de uso común en el país y se deje de introducir hidrocarburos combustibles o solventes no denominados en el mercado.

1.2 Objetivos

Eliminar las distorsiones que se producen en el abastecimiento de combustibles e insumos en zonas delicadas del país en las que pueden convertirse en insumos para la fabricación de productos prohibidos y/o se utilicen para degradar los combustibles de uso corriente, y al mismo tiempo, mejorar su valor comercial permitiéndoles que ingresen a la masa de hidrocarburos de uso como combustibles.

1.3 Importancia

Normalizar el abastecimiento de combustibles en zonas críticas del país y abrir la posibilidad de producir combustibles terminados en lugares alejados de los centros refineros

1.4 Limitaciones

No se tienen .limitaciones normativas para las soluciones planteadas, mas aun, se eliminarían procedimientos que se han desviado de las normas

1.5 Alcances

Los resultados del presente trabajo serian aplicables a cualesquier situación similar a la mostrada en cualquier lugar del país.

CAPITULO II

2.1 Marco Teórico

Las características de los combustibles que se utilizan en el país y el resto del mundo tienen características determinadas dentro de rangos definidos y características de mínimos o máximos permisibles dentro de dichas características.

El rango de destilación es una característica que en todos los casos se debe cumplir y en esas características se tienen condiciones mínimas, máximas etc.

En una refinería, normalmente se obtienen las características finales de los combustibles por mezclas de las diferentes fracciones que se obtienen de los diferentes procesos que se realizan en ella; por medio de las mezclas, se ajustan las características de cada uno de los productos finales. Entre ellos, el Turbo combustible, es el combustible que normalmente se obtiene directamente, es decir con todas sus características, los demás son mezclas de diferentes productos de los diferentes procesos.

En el presente caso, si los cortes de destilación de los insumos locales no cumplen con todas las características que indican las normas, se puede llegar a ellas mezclándolos con cortes provenientes de refinerías; de ese modo no se tendría que transportar el total de la demanda de la zona en cuestión, solo se requerirá transportar los componentes necesarios que se requieren mezclar con los productos locales, para obtener los combustibles que se comercializan en la zona.

2.2 Antecedentes

A solicitud de los productores de LGN se autorizó la comercialización, como insumos químicos y combustibles de los denominados HAL, NAFTOIL y HAS. Con dicha autorización se pudo obtener mercado para los mismos. Las especificaciones de dichos productos son:

TABLA 2.1**PRODUCTOS ESPECIALES DERIVADOS DEL GAS NATURAL**

	HAL*	NAFTOIL	HAS*
Categoría	Insumo químico	Combustible Residual	Insumo químico
RVP	12	4.0 (min.)	8.1
ASTM D 86 °C			
IBP		85	46
Recuperado 5%		108 (máx.)	
Recuperado 10%		115	
Recuperado 20%		122	
Recuperado 50%		133	78
Recuperado 75%	60		
Recuperado 90%		153 (max)	
Recuperado 95%		160	
Recuperado 96%	135		
FBP		178	172
API		62.0 (max)	74.5

Fuente: INDECOPI

*Típico

2.3 BASES TEORICAS

Los hidrocarburos que conforman los Líquidos del Gas Natural son mayormente hidrocarburos parafínicos, desde cuatro hasta más de doce carbonos, en diferentes proporciones, cada uno de estos hidrocarburos tiene diferente punto de ebullición. Es posible que se tenga presencia de hidrocarburos de más de doce carbonos pero lo pequeño de su cantidad no permite una clara diferenciación de los mismos.

Se define como Condensado de Líquidos del Gas Natural los hidrocarburos que quedan después de retirar el GLP de los productos líquidos recuperados del Gas Natural producido por los yacimientos de Gas Retrogrado o del gas asociado a la producción de petróleo crudo; aunque, en este último caso, se tiene menor porcentaje de hidrocarburos pesados.

Una característica importante es que, en su mayoría, los hidrocarburos son parafínicos, lo cual no es muy conveniente en lo que a octanaje se refiere; pero como componentes de diesel aportan un elevado índice de cetano.

Los hidrocarburos que se encuentran en los combustibles diesel (gasoleos o destilados medios) están en el rango entre siete y hasta más de doce carbonos; su calidad depende únicamente de su rango de destilación y en ella la temperatura del 90% de recuperado y la temperatura final son las más importantes, la cual está influenciada por el total de hidrocarburos en el recuperado por encima del 80 % del volumen recuperado en la destilación ASTM D 86.

Dentro de los combustibles diesel se diferencia el diesel 1 y el diesel 2; siendo el diesel 1 del rango de destilación del kerosene.

2.3.1 GASOLINAS

En el país, actualmente, se comercializan 5 calidades de gasolina: 84 RON, 90 RON, 95 RON, 97 RON y 98 RON; debemos hacer notar que en el país, hasta el año 1973, se comercializaba gasolina de 66 RON.

En el pasado se usó el plomo tetraetílico para incrementar el octanaje, lo cual ha sido prohibido por ser altamente tóxico.

Las especificaciones de gasolina motor válidas para el Perú en lo que refiere a rango de destilación son:

TABLA 2.2
ESPECIFICACIONES DE GASOLINA MOTOR

	Destilación (ASTM D 86)			
	°C a 760 mm Hg		° F a 760 mm Hg	
10% recuperado Vol.	70 máx.		158 máx.	
50% recuperado Vol.	77 min.	121 máx.	170 min.	250 máx.
90% recuperado Vol.	190 máx.		374 máx.	
Punto Final	225 máx.		437 máx.	
Residuo, % Vol.	2 máx.		2 máx.	

Fuente: NTP 321.102

La antidetonancia esta delimitada por el Octanaje Research (RON) en 5 niveles cuyos mínimos son: 84, 90, 95, 97 y 98 RON

En la preparación de las gasolinas se usan las fracciones volátiles del petróleo; nafta liviana y nafta pesada, que son los cortes más livianos en la destilación del petróleo crudo; esta mezcla tiene un octanaje menor que 84 RON, y por ello se le mezcla con gasolinas de procesos de Craqueo Catalítico, Reformación, Alquilación, Platforming, Isomerización, etc. que son naftas de mayor octanaje; y, por ese medio se obtienen las mezclas de hidrocarburos del rango de destilación de la gasolina y el octanaje que se requiere.

En la preparación de la gasolina se emplean, también, alcoholes de diverso tipo para incrementar el octanaje de la mezcla (MTBE y otros), limitándose su inclusión a 10% en volumen, por ser cancerígenos. El alcohol etílico (129 RON) también se emplea en mezcla con la gasolina y es obligatorio, en el país, incluir 7.8% en volumen en todos los rangos de gasolina a partir del 1º de Enero del 2010. Por ello, en el país, debido a la obligatoriedad del uso de etanol, no se puede usar otro tipo de alcoholes porque se tendría mayor porcentaje de alcoholes a lo permitido por la norma.

Del Condensado, como en todos los hidrocarburos, se pueden separar, por destilación fraccionada, los hidrocarburos de acuerdo a su punto de ebullición. Esto hace factible que por ese procedimiento se puedan retirar del condensado las fracciones de rango de ebullición semejante a la gasolina, las cuales se segregarán, de acuerdo al octanaje que tienen. Se separaran las de mejor octanaje; las cuales si no llegan al

octanaje mínimo de gasolinas motor se podrían mezclar con cortes de gasolina de mayor octanaje para llegar al octanaje requerido.

Sin embargo, debido a que la separación, por destilación, de las fracciones de mejor octanaje, dentro de esos cortes, es muy difícil por la cercanía de sus puntos de ebullición; no se plantea la separación de las fracciones de gasolina de mayor octanaje.

Las Tablas B.1 y B.2 muestran el octanaje de hidrocarburos livianos y su punto de ebullición.

De acuerdo a pruebas efectuadas en el laboratorio de la Refinería de Talara la adición de 7.8% de Etanol (129 RON), en la gasolina, incrementa en 4.7 octanos el octanaje de la gasolina de 84 RON y algo menos a las gasolinas de mayor octanaje, lo que haría más factible alcanzar el octanaje 84 RON a las gasolinas a producirse a partir del Condensado.

Un aspecto muy importante en la performance de las gasolinas es la disminución del requerimiento de octanaje de un motor con la altitud; el requerimiento de octanaje requerido para un adecuado funcionamiento del motor disminuye con el incremento en altitud. Este fenómeno se debe a:

- a) Reducción de la densidad del aire con la altitud que produce menores presiones y temperaturas en la cámara de combustión
- b) La cantidad de combustible que ingresa al cilindro depende del volumen de aire que ingresa, debido a la reducción de la densidad del aire que ingresa, la relación aire combustible se enriquece, reduciendo el requerimiento de octanaje
- c) El avance del momento de la ignición es controlado por el vacío en el manifold de admisión; como la presión se reduce por la altitud, resulta en menor vacío en el manifold y por consiguiente menor avance del momento de encendido y esto reduce el requerimiento de octanaje

Evaluaciones experimentales cuyos resultados fueron incluidos en el SAE J312 Recommended Practice for Automotive Gasolinas 1993, tomados de pruebas de campo muestran una reducción en requerimientos de octanaje en vehículos de uso común, entre 1 y 2 octanos por cada 300 metros de altitud; utilizando el menor de este

factor tendríamos que las gasolinas se comportan como una gasolina de mayor octanaje de acuerdo a lo siguiente:

TABLA 2.3

VARIACIONES DE LA PERFORMANACE DEL OCTANAJE CON LA ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR

Altitud	Nivel del mar	1000 mts	2000 mts	3000 mts
Octanaje RON	84	87	90	93
Octanaje RON	90	93	96	99

Fuente: Elaboración propia

Esto indica que la gasolina que en la costa tiene 84 RON se comportaría como una gasolina de 93 RON a 3,000 metros de altura sobre el nivel del mar, y la de 90 RON como una gasolina de 99 RON a esa altura.

A este resultado debe adicionarse el efecto de la inclusión de Etanol (7.8%) en la gasolina que incrementa el octanaje en 4.7 octanos a la gasolina de 84 RON y menos a las de mayor octanaje, cuanto mayor es el octanaje de una gasolina el incremento por la adición de Etanol es menor.

En la selva se utiliza con profusión motores de bajo octanaje en motocicletas y botes de pequeño calado, lo cual proporcionará un buen mercado para un producto de bajo octanaje, calidad no autorizada por la norma para su comercialización; norma que quizás valga la pena cambiar.

Siendo en las zonas altas del país el requerimiento de octanaje de los motores de ciclo Otto menor que a nivel del mar, se tiene un amplio mercado para gasolinas de bajo octanaje, menor que 84 RON; ésta característica de las gasolinas motor se conoce desde hace muchos años. Como referencia, en el ASTM D 4814-03a se muestra, en un mapa de Estados Unidos, la disminución de requerimiento de octanaje de vehículos con la altura. Se indica, por ejemplo que en la denominada Área V (la mas elevada en Estados Unidos) la reducción en el requerimiento de octanaje de un vehiculo que debe utilizar a nivel del mar gasolina con un Índice Antiknock menor de 89 AKI es de 4.5 octanos; y, para un requerimiento de gasolina de 89 AKI o mayor, la disminución del requerimiento de octanaje para el Area V es de 3.0 octanos.

Debe tomarse en cuenta que la prueba de octanaje estándar es una prueba experimental en la cual se busca el inicio del golpeteo al utilizar la gasolina dentro de

un motor estandarizado a condiciones de operación preestablecidas en comparación con una gasolina que esta formada por una mezcla prefijada de isooctano con heptano: por lo tanto la prueba física del motor de un vehiculo operando en una zona elevada sin golpeteo alguno es valida.

El conocimiento práctico de nuestro pueblo ha originado que en las zonas elevadas se utilice mayormente gasolina 84 RON, en vehículos que a nivel del mar utilizarían 90 o 95 RON; no se produce golpeteo en las zonas elevadas del pais utilizando la gasolina 84 RON. Esto se refleja en las estadísticas de consumo por regiones; y, en términos globales recién, a partir del año 2011, el volumen de gasolina de 90 RON consumida en el país, ha sobrepasado ligeramente al volumen consumido de gasolina 84 RON.

El proyecto de investigación busca lograr una mezcla, extraíble del condensado, de los componentes de mayor octanaje; el resultado constituiría un producto de octanaje mayor que la gasolina natural original, ésta mezcla se probaría para determinar si cumple con las especificaciones de las gasolinas motor.

Se han introducido en los vehículos de los últimos años aditamentos para proteger a los vehículos que usan combustibles para altitudes elevadas cuando descienden y requerirían de un combustible de mayor octanaje; esto no invalida la reversión del cambio de requerimiento, es decir que a mayor altitud se requiere de menor octanaje, ergo la gasolina se comporta como si fuera de mayor octanaje.

Debemos tomar nota de que en una parte importante del país se esta desperdiciando calidad en la gasolina, efecto que ya ha sido tomado en cuenta por los usuarios, lo que ocasiona que la demanda de gasolina 84 RON sea altamente mayoritaria en el interior del país y que se mantiene una alta demanda de gasolina de 84 ¹, e indica que sería posible ofrecer gasolinas de menor octanaje en el interior del país.

La porción del Condensado más pesada que la gasolina se podría comercializar como diesel o como componente de mezclas de destilados medios o como solvente; en caso esto no sea factible totalmente, el remanente siempre se podrá exportar dentro de la exportación de nafta petroquímica. De acuerdo a los pronósticos de demanda y suministro de combustibles líquidos, el país exportará nafta constantemente por todo el futuro previsible.

¹ Tabla F

2.3.2 DIESEL

Las características que se especifican para los combustibles a utilizarse en motores diesel están definidas en el ASTM D 975², donde se reconocen tres tipos: Diesel 1, Diesel 2 y Diesel 4, los que se diferencia mayormente por su rango de destilación y la viscosidad. El Diesel 1 corresponde al rango de destilación del kerosene, mientras el diesel 2 tiene gasóleos mas pesados y el diesel 4 tiene componentes del petróleo residual.

Dentro de las características de los combustibles diesel, una característica importante es el índice de cetano, para lo cual el porcentaje de hidrocarburos parafínicos es mandatorio, los líquidos del gas natural tienen mayor porcentaje de hidrocarburos parafínicos que el diesel de destilados de petróleo; además, los líquidos de gas natural tienen bastante menos contenido de azufre que los que provienen del petróleo crudo, lo cual, unido a que la tendencia a la mala combustión y la emisión de particulados en los gases de escape es menor cuanto, más liviano sea el diesel, hacen que el diesel que se podría obtener de los líquidos de gas natural sean mejores que aquellos provenientes de la destilación del petróleo crudo.

El Índice de Cetano o número de Cetano, muestra la facilidad de combustión que posee el combustible. A temperaturas bajas y altitudes elevadas el índice de cetano debe incrementarse para la misma performance.

La norma Técnica Peruana NTP 321.003 reconoce dos tipos de Diesel: Diesel 1 y Diesel 2, que se describen como sigue:

Diesel 1. Combustible destilado liviano para uso especial en motores diesel en aplicaciones que requieren mayor volatilidad que las del diesel 2; apropiado para su uso en motores de elevada velocidad con frecuentes variaciones de velocidad y carga

Diesel 2. Combustible destilado medio para uso en motores de alta velocidad, cargas altas y relativamente velocidad constante, también apropiado para su uso general en motores estacionarios.

² Tabla 6.2.3

En el ASTM D 975 se reconocen tres tipos de diesel:

Diesel 1.- Diesel especial para vehículos que requieren un diesel de elevada volatilidad para cargas y velocidades variables

Diesel 2.- Diesel para todo uso, puede usarse en todo tipo de motores, especialmente en condiciones de cargas elevadas y velocidades constantes.

Diesel 4.- Destilado pesado o mezcla de diesel con petróleo residual, para motores de velocidades medianas o lentas, normalmente de velocidades constantes y elevadas cargas.

La viscosidad es una característica importante, un diesel de baja viscosidad tiende a hacer perder eficiencia al motor por el resbalamiento que puede ocasionarse en la bomba de combustible y la menor dispersión que se produce en los inyectores. La característica de los destilados medios producidos del condensado es su baja viscosidad, lo que no hace recomendable su utilización directa.

El contenido de azufre representa actualmente un punto importante en las especificaciones, el uso de diesel en vehículos en las grandes ciudades origina smog³ por la emisión de compuestos de azufre y de particulados, por lo que se ha estado reduciendo el contenido de azufre permisible a niveles de 10 ppm en ciertas ciudades de Europa y Estados Unidos. En el país el máximo es de 50 ppm. El contenido de azufre del condensado proveniente del gas natural es bastante bajo.

La norma ASTM reconoce dos niveles de contenido de azufre como % masa, 15, y 500 ppm para los Diesel 1 y Diesel 2. La norma nacional indica 50 ppm máximo.

Para el Diesel 4 no se fija, para la destilación, temperaturas máximas, lo cual es común para los combustibles que tienen compuestos pesados.

Para los componentes livianos únicamente se fija la temperatura de encendido (Flash Point).

La limitación en la lubricidad ha sido introducida debido al desgaste excesivo de las partes mecánicas de las bombas que se utilizan para introducir el diesel al cilindro cuando la viscosidad es baja. La disminución del contenido de azufre y aromáticos hace necesaria una viscosidad más elevada del diesel.

³ Neblina originada por la mala combustión

El excesivo contenido de aromáticos incrementa las emisiones, la norma establece limitaciones a la misma, máximo 35 % en volumen o un índice de cetano de 40 mínimo.

Las especificaciones más importantes para la comercialización de diesel 2 en el país están dadas por el NTP 321.003. Estas son:

ESPECIFICACIONES DE DIESEL 1 Y DIESEL 2

	Diesel 1	Diesel 2
Destilación ASTM D 86		
90% Vol. recuperado (máximo)	288° C	357° C
FBP (máximo)		385° C
Flash Point (mínimo)	38° C	52° C

Fuente: NTP 321.003

TABLA 2.4

ESPECIFICACIONES DE DIESEL 2

Característica	Especificaciones		ASTM
	Mínimo	Máximo	
Densidad a 15°C, Kg/m ³	Reportar		
Viscosidad cinemática, cSt a 40°C	1.9	4.1	D 445
Punto de Escurrimiento, °C		4	D 97
Numero de Cetano	45		D 613
Indice de Cetano	45		D 4737
Azufre total, mg/Kg, (ppm)		50	D 4294
Contenido de Biodiesel, % Vol.	5*		D 7371
Flash Point °C	52		D 93-99

Fuente: 321.003

2.3.3 SOLVENTES

En el país se comercializan dos tipos de solventes: Solvente 1 y Solvente 3, anteriormente y como un producto derivado de la gasolina natural, en el norte del país, se producía y comercializaba Hexano. Los rangos de destilación de estos solventes están dentro del rango de destilación del condensado. Sus especificaciones más importantes son:

TABLA 2.5
ESPECIFICACIONES DE SOLVENTES

	Solvente 1		Solvente 3	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Color Saybolt	25		21	
Gravedad Especifica			0.7949	
Presión vapor a 37.9°C psi		69		
Flash Point °C			37.8	
Destilación °C				
Punto inicial	37.8		149	
10% Vol.		70		
50% Vol.		100		177
90% Vol.		125		190
Punto Final		154		210

Fuente: 321.011

En cuanto al hexano, era un producto cuya temperatura inicial de ebullición estaba limitada a 60°C (140°F) mínimo y el Punto Seco a 71°C (160°F) máximo.

Lo importante en los solventes es su rango de destilación y su poder de dilución.

Las características que definen la calidad como solventes son: Número de Bromo, Valor Kauri Butanol y Punto de Anilina.

2.4 Hipótesis

Por destilación fraccionada se separaran los diferentes hidrocarburos que componen los Líquidos del Gas Natural, separando los que constituyen las gasolinas de los que son parte del diesel. Igualmente por el mismo procedimiento se puede aislar los componentes que conforman el Turbo combustible, el Solvente 1 y el Solvente 3

2.5 Variabilidad y operacionalidad

Las torres de destilación fraccionada permiten que se separen los hidrocarburos de acuerdo a su punto de ebullición, en estas torres se pueden variar las condiciones de presión de trabajo y la gradiente de temperatura desde el fondo de la torre a la parte superior, provocando de esa manera que se obtenga por la parte superior los hidrocarburos ligeros y los mas `pesados por la parte inferior. En caso necesario se pueden operar dos o tres torres de fraccionamiento en serie, es decir el producto de fondo de una torre se utiliza como carga para la siguiente, con lo que se puede obtener tres tipos de productos, o se puede rectificar alguna característica que se desea obtener.

2.6 Matriz de Consistencia

	DESCRIPCION
Título	Aprovechamiento de Líquidos del Gas Natural (LGN)
Problema General	Aprovechar la producción de LGN para proveer de combustibles su zona de influencia
Problema Especifico	Cumplir con las especificaciones nacionales de combustibles
Objetivo General	Mejorar la rentabilidad de los productores de LGN
Objetivos Específicos	Producir gasolina motor, diesel y combustible de aviación. Adicionalmente solventes que puedan ser consumidos en su zona de influencia
Hipótesis General	Los combustibles mencionados están conformados por hidrocarburos desde cuatro carbonos hasta doce carbonos, estos están presentes en los LGN, y, pueden separarse por destilación fraccionada. La gasolina esta conformada por los hidrocarburos mas livianos, los mas pesados conforman el diesel; y, el turbo tiene parte de la porción mas pesada de la gasolina y la mas liviana del diesel
Variables Independientes de la Hipótesis	El rango de destilación define el que una fracción de hidrocarburos líquidos sea considerado como gasolina, turbo combustible o diesel; las normas los limitan como mínimos o máximos recuperados de una destilación ASTM D 86. En todos los casos se ha logrado obtener fracciones que cumplen con estas características variando las condiciones de operación de las torres de fraccionamiento.
Operacionalización de las Variables Dependientes	Como variables dependientes se tiene el octanaje para las gasolinas y la viscosidad y el Punto de Inflamación para el diesel. El tipo de hidrocarburos que se encuentran en los LGN no alcanzan al octanaje mínimo (84 RON); mezclando la gasolina de los LGN con gasolinas de alto octanaje se obtendría el octanaje requerido para la gasolina motor. En el diesel la viscosidad y el punto de inflamación no se obtienen con los destilados medios del LGN; el punto de inflamación se corrige con un despojador y la viscosidad mezclando el diesel de LGN con diesel de mayor densidad. En cuanto al Turbo, su característica netamente parafínica le permite cumplir con las especificaciones del combustible de aviación.

CAPITULO III

3.1 METODOLOGÍA

Utilizando una muestra de Líquidos del Gas Natural se realizará una aproximación a la solución del problema con una fase experimental, dividiendo la muestra en cortes del 10% del destilado TBP, a los que se les tomará sus características, se hará lo mismo con mezclas de los mismos dentro del rango de gasolinas y destilados medios. La segunda fase consiste en simular destilación fraccionada de los Líquidos del Gas Natural tratando de obtener componentes dentro del rango de gasolinas y diesel utilizando el Pro II 8.2; por el mismo método se realizara la simulación para la obtención de Turbo combustible y solventes.

3.1.1. EXPERIMENTAL

El procedimiento para determinar la factibilidad de las hipótesis es el siguiente:

- 1.- De una muestra de gasolina natural (Condensado) se tomará, por destilación TBP (true boiling point – punto de ebullición verdadero), las fracciones que destilan en porciones que representen cada intervalo de 10% de recuperación, acumulándolas en depósitos separados para cada fracción de 10% del recuperado; se obtendrán diez (10) juegos de muestras de un galón.
- 2.- Se determinan las características de rango de destilación, gravedad API y la presión a la que se inicia el golpeteo en la maquina para determinar el octanaje (Relación de Compresión Crítica - Critical Compresión Ratio) para la gasolina natural (Condensado), y para cada una de las fracciones de 10% recuperadas.
- 3.- Las presiones de golpeteo (Relación de Compresión Crítica) así determinadas, nos permiten obtener el octanaje relativo de cada fracción y se escogerá, de las muestras de 10%, la/las que inician el golpeteo en la prueba a menor presión que la de la muestra total, esa/esas serán las de menor octanaje; retirándolas, el octanaje del remanente será mayor que el octanaje del total original.
- 4.- Se determinará el rango de destilación de la combinación de las muestras restantes y su prueba de presión de golpeteo, el cual debe ser superior al de la

muestra total; debe comprobarse su rango de destilación para conocer si es compatible con las especificaciones de gasolina motor.

5.- Si el rango de destilación no estuviera dentro del rango de la norma, deberá revisarse la mezcla para comprobar si ingresando alguno de los componentes retirados o retirando alguno de los seleccionados se cumple con el rango de destilación, y, se tomaría la prueba de golpeteo. El proceso se seguirá hasta obtener un resultado aceptable.

Las porciones de la destilación más pesadas cuyo octanaje es muy bajo pueden estar en el rango del Diesel 1. Se determinarán las características del remanente para comprobarlo.

3.1.2 SIMULACION

Por simulación, utilizando el software Pro II 8.2., se simularan las operaciones de fraccionamiento. De acuerdo a los parámetros obtenidos de las pruebas experimentales; y, la posibilidad de obtener gasolina con un rango de destilación adecuado, de acuerdo con las normas. El mismo procedimiento se realizará para obtener el diesel, los solventes y Turbo. El uso del Pro II 8.2 permite obtener las características de los productos resultantes.

En todos los casos se determinaran las características de las porciones remanentes para determinar si pueden constituir productos comerciales.

El uso del Simulador permite tener el rango de destilación de los productos a obtenerse, el simulador determinará, además, alguna de sus propiedades.

3.2 CASOS A EVALUAR

Caso A.- Se realizaran las determinaciones que siguen utilizando el software Pro II 8.2:

- 1) Producción de gasolinas / diesel 50/50
- 2) Producción de gasolinas / diesel 40 / 60
- 3) Producción de solventes 1 y 3
- 4) Producción de Solvente 1 y diesel

- 5) Producción de Solvente 3 y diesel
- 6) Producción de solvente de corto rango de destilación
- 7) Producción de Turbo combustible
- 8) Producción de Turbo combustible y un solvente de corto rango de destilación

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

Se ha utilizado, para las pruebas, 55 galones de Líquidos del Gas Natural producidos del gas de Aguaytia

3.4 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

En la fase experimental los datos se obtendrán por análisis de laboratorio, en la fase de simulación serán los resultados que suministre el Pro II 8.2.

3.5 TÉCNICAS DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

Para la investigación a realizar se utilizan dos métodos: a) experimental (basada en pruebas de laboratorio),y, b) Simulaciones utilizando un software matemático: Pro II 8.2. Los datos se analizan por comparación con las especificaciones de los productos comerciales vigentes en el país.

CAPITULO IV

4.1 ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1.1 METODO EXPERIMENTAL

4.1.1.1 DATOS INICIALES

Utilizando la muestra se dividió, por destilación TBP, diez porciones iguales, 10% de recobrado cada una, con el siguiente resultado:

Tabla 4.1

DESTILACION TBP DE LA MUESTRA

Corte	%Volumen inicial	% Volumen final	Temp. inicial del corte °C	Temp. Final del corte °C
1	0	10	28.8	64.8
2	10	20	64.8	75.0
3	20	30	75.0	86.0
4	30	40	86.0	101.0
5	40	50	101.0	117.3
6	50	60	117.3	136.9
7	60	70	136.9	155.9
8	70	80	155.9	181.9
9	80	90	181.9	218.0
10	90	100	218.0	

Fuente: Elaboración propia

Nota.- No se registró temperatura final por tratarse de producto de fondo
Se caracterizó cada uno de los diez lotes por destilación ASTM D 86

TABLA 4.2
CARACTERIZACION DE LOS CORTES DE LA DESTILACION TBP DE LA
MUESTRA
DESTILACION (D86) °C y API

Corte	API	IBP	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	FBP
1	84.7	30.25	37.25	39.25	41.25	43.26	46.26	50.26	55.27	66.27	86.29	125.23
2	81.2	39.17	44.17	46.17	48.17	51.17	56.18	62.18	71.19	82.19	103.20	156.23
3	77.0	38.20	50.20	54.21	57.21	61.21	67.21	74.22	82.22	93.23	110.24	164.28
4	71.6	57.24	63.24	68.25	72.25	78.25	84.26	89.26	97.27	108.27	126.29	174.32
5	66.4	60.27	81.29	86.29	90.29	94.30	99.30	105.31	113.31	122.32	138.33	182.37
6	62.5	85.32	99.34	103.34	107.34	112.35	117.35	124.36	130.36	140.37	155.39	198.42
7	59.2	106.24	118.25	123.25	128.25	132.26	137.26	143.26	150.27	160.27	174.28	212.31
8	55.9	131.18	143.19	148.19	152.19	157.19	162.20	167.20	175.20	183.21	197.21	230.23
9	52.4	164.43	178.45	181.45	185.45	190.46	195.46	200.47	206.47	215.48	227.50	255.52
10	46.6	211.48	228.50	235.50	240.51	246.51	253.52	260.53	269.54	281.55	298.57	320.59
G Nat*	56.6		93.5		103.3		124.7		156.3		190.3	

- Destilación ASTM D 86
- Fuente: Elaboración propia

Se hizo pruebas en la maquina de octanaje con los resultados siguientes:

TABLA 4.3
OCTANAJE DE LOS CORTES DE LA MUESTRA
Octanaje Research – RON

Muestra	Critical Compresión Ratio	Octanaje Research – RON
Cortes		
1	544	73.0
2	505	67.3
3	471	62.1
4	417	53.0
5	362	42.5
6	316	<40
7	268	<40
8	233	<40
9	203	<40

Fuente: Elaboración propia

A partir de la muestra 6 no se debe considerar que son cortes susceptibles de usarse en la gasolina, su octanaje es muy bajo.

4.1.1.2 GASOLINAS

Se probaron las mezclas de los primeros 4 cortes y luego la de los primeros 5 cortes por tener octanaje detectado por la prueba y se determinaron sus características, con los siguientes resultados:

TABLA 4.4
MUESTRAS SELECCIONADAS DE GASOLINAS

Propiedad	Muestra 1 a 4	Muestra 1 a 5
Octanaje RON	63.8	59.5
Gravedad API	78.1	75.7
Destilación ASTM D86 °C		
Punto inicial	37.0	36.0
5% Recuperado Vol.	44.0	48.3
10% Recuperado Vol.	47.0	51.0
20% Recuperado Vol.	50.5	54.8
50% Recuperado Vol.	64.0	73.1
90% Recuperado Vol.	114.0	125.2
95% Recuperado Vol.	137.0	145.2
Punto Final	164.0	176.3
Recuperado, % Vol.	98.0	98.2
Residuo, % Vol.	1.1	1.4

Fuente: Elaboración propia

La especificación de rango de destilación ASTM D 86 para gasolinas es:

10 % Recuperado	70° C máximo
50 % Recuperado	77° C a 118° C
90 % Recuperado	190 ° C máximo
FBP	221° C máximo

En ninguno de los dos casos se alcanza la temperatura mínima del recobrado a 50%. Para alcanzar esa temperatura se debería tomar una fracción un poco más pesada que la del corte 5; pero ello disminuirá más aún el octanaje, lo que es inconveniente para los propósitos de la evaluación.

La mezcla obligatoria de la gasolina comercial con etanol elevará el octanaje de la gasolina en 4.7 octanos, a la gasolina de 84.0 RON, pero no mejoraría el contenido de la parte media de la mezcla, la haría más ligera. El resultado sería que la gasolina sería muy liviana.

No se considera necesario estimar la volatilidad de las gasolinas resultantes porque ello se tendría que evaluar con la mezcla total con las gasolinas de mayor octanaje. La volatilidad estará fuertemente influenciada por la presencia de butanos, lo cual es un resultado de la mayor o menor inclusión de butanos en el GLP, producto de la separación previa del GLP en los productos líquidos del gas natural.

Una simulación de la mezcla de estas gasolinas con las que normalmente se comercializan en el país ha mostrado que con una mezcla 50/50 de la gasolina que se produce comercialmente en el país la mezcla alcanza el mínimo de recuperado a 50%.

4.1.1.3 DIESEL

Los hidrocarburos obtenidos de acuerdo a la mezcla de las fracciones recuperadas de la destilación TBP, son desde el 5^o corte al 10^o corte y desde el 6^o corte al 10^o corte, que reflejan el 60% y el 50% de la muestra original respectivamente, los que dieron el siguiente resultado

TABLA 4.5
MUESTRAS SELECCIONADAS DE DIESEL
Destilación ASTM D 86 - °C

	Cortes 5 - 10	Cortes 6 - 10
IBP	86.3	110.8
5 Vol. %	108.6	129.6
10 Vol. %	115.6	132.2
20 Vol. %	127.0	143.9
50 Vol. %	161.8	176.8
90 Vol. %	239.6	250.1
95 Vol. %	264.1	273.1
FBP	288.7	298.1
API	56.7	54.8
Índice de Cetano	57.1	59.3
Flash Point	12.0	23.3

Fuente: Elaboración propia

Las especificaciones para el diesel son:

TABLA 4.6
ESPECIFICACIONES DE DIESEL 1 Y DIESEL 2

	Diesel 1	Diesel 2
Destilación ASTM D 86		
90% Recuperado (máximo)	288° C	357° C
FBP (máximo)		385° C
Flash Point (mínimo)	38° C	52° C

Fuente: NTP 321.003

Las dos combinaciones son aceptables dentro del rango de Diesel 1; pero tienen un Flash Point muy bajo. Se podrían utilizar como componentes del Diesel o usar un corrector de flash utilizando un despojador. El índice de cetano es elevado por el porcentaje elevado de hidrocarburos parafínicos.

4.1.2 SIMULACION Pro II 8.2

Utilizando el Pro II 8.2 se realizaron simulaciones de procesos de destilación con el condensado para obtener: gasolinas, turbo, diesel y solventes. Para ello se corrieron ocho casos:

- 1) Producción de gasolinas / diesel, rendimiento 50/50
- 2) Producción de gasolinas / diesel, rendimiento 40 / 60
- 3) Producción de solventes 1 y 3
- 4) Producción de Solvente 1 y diesel
- 5) Producción de Solvente 3 y diesel
- 6) Producción de solvente de corto rango de destilación
- 7) Producción de Turbo combustible
- 8) Producción de Turbo combustible y un solvente de corto rango de destilación

En todos los casos se busca obtener el producto dentro del rango de destilación del combustible o del solvente

4.1.2.1 GASOLINA RENDIMIENTO 50/50

En este Caso se requiere únicamente de un Fraccionador el cual producirá la gasolina por el tope y el Diesel por el fondo

La recuperación de los diferentes productos fue la siguiente:

PRODUCTOS

Volumen por ciento

Gasolina	50.0 %
Diesel	50.0 %
Total	100.0 %

La simulación determinó las características de los productos obtenidos, las características reportadas como destilación ASTM D 86 fue la siguiente:

TABLA 4.7
CARACTERIZACION DE PRODUCTOS DE
Rendimiento 50/50
ASTM D 86 en °C

	Gasolina	Diesel
IBP	62.0	134.9
5 %	64.5	139.9
10 %	67.2	143.3
30 %	75.2	152.1
50 %	81.2	166.5
70 %	89.3	186.0
90 %	100.8	262.3
95 %	105.7	277.6
98 %	111.7	287.2
API	64.7	49.1
cSt		0.3341
Flash Point		30.5
Vol. %	50.0	50.0

Fuente: Elaboración propia

La destilación ASTM D86 muestra que la gasolina está dentro de las especificaciones, Pero resulta una nafta muy volátil, podrá ser usada directamente si se permitiera dentro de la norma su comercialización, su octanaje debería estar cerca del RON 59.5 de acuerdo a los resultados de la prueba experimental; puede utilizarse como componente de mezclas de gasolina, posiblemente podría dar problemas de “Vapor Lock” (Sello de Vapor), lo cual no se ha podido calcular.

Debido a que ha debido limitarse el contenido de los componentes más ligeros (butanos) a una cantidad estimada, no se consideran validos los cálculos de Volatilidad y Punto de Inflamación. El Pro II 8.2 recomienda, cuando se trata de simulaciones con hidrocarburos livianos, se limite la creación de seudo componentes ligeros colocando un componente que lo limite, en este caso se ha utilizado el iso Butano, debido a que en la separación de GLP de la gasolina natural normalmente queda una pequeña proporción de ese hidrocarburo en la gasolina.

El rango de destilación de destilados medios esta dentro del rango de un Diesel 1 muy ligero; el producto es adecuado para mezclas de diesel 2. La viscosidad es bastante baja debido a lo liviano de la composición, lo cual es una constante en todos los casos desarrollados. El Flash Point es muy bajo, no cumple, a menos que se corrija con un despojador.

TABLA 4.8

CONDICIONES DE OPERACIÓN

Rendimiento 50/50

	T1
Psig	20
Condenso °C	104.5
Tope °C	116.4
Fondo °C	194.0

Fuente: Elaboración propia

4.1.2.2 GASOLINA RENDIMIENTO 40/60

Como en el caso anterior solo se requiere de un Fraccionador; se utilizan los parámetros de la prueba experimental

PRODUCTOS

Volumen por ciento:

Gasolina	40.0 %
Diesel	60.0 %
Total	100.0 %

La destilación ASTM D 86 dio el siguiente resultado:

TABLA 4.9
CARACTERIZACION DE PRODUCTOS RENDIMIENTO 40/60

	ASTM D 86 en °C	
	Gasolina	Diesel
IBP	58.4	119.9
5 %	61.2	125.1
10 %	63.4	128.0
30 %	70.8	139.3
50 %	76.0	154.2
70 %	80.9	178.1
90 %	89.5	247.8
95 %	94.2	263.5
98 %	99.9	273.6
API	66.1	50.8
Flash Point		20.2
cSt		0.3341
Vol. %	40.0	60.0

Fuente: Elaboración propia

En este caso se tiene mayor presencia de componentes volátiles en la gasolina y el recuperado a 50% no está dentro de la especificación; la diferencia con los recuperados a 90% con respecto al caso anterior es notoria.

Mezclando esta gasolina con 20% de gasolina de craqueo de Talara la mezcla alcanza a tener el recuperado a 50% dentro de la norma; por lo que se podría tener una mezcla de gasolina de mejor octanaje. Puede ser utilizada como parte de mezclas de gasolina.

El rango de destilación de destilados medios es inferior al del caso anterior, pero esta dentro del rango de Diesel 1; el producto sirve para mezclas de Diesel. El Flash es menor que el mínimo. Puede mejorarse utilizando un despojador.

TABLA 4.10
CONDICIONES DE OPERACIÓN
Rendimiento 40/60

	T1
Psig	20
Condensó °C	99.2
Tope °C	107.8
Fondo °C	178.0

Fuente: Elaboración propia

4.1.2.3 SOLVENTES 1 Y 3

En el país se comercializa Solvente 1 y Solvente 3.

En este caso se tienen que usar tres Fraccionadores, debido a que para tener la especificación del Solvente 1 se requiere eliminar un pequeño porcentaje de hidrocarburos ligeros. Un Despojador podría reemplazar al primer fraccionador.

PRODUCTOS

Volumen por ciento

1. Livianos	0.2 %
2. Solvente 1	62.4 %
3. Solvente 3	28.4 %
4. Diesel	9.0 %
5. TOTAL	100.0 %

TABLA 4.11

CARACTERIZACION DE PRODUCTOS

PRODUCCION DE SOLVENTE 1 Y SOLVENTE 3

ASTM D 86 en °C

	Livianos	Solvente 1	Solvente 3	Diesel
IBP	-30.2	65.1	152.0	238.0
5 %	-29.1	67.5	154.7	241.7
10 %	-27.7	72.3	156.9	243.9
30 %	-17.8	80.7	171.0	248.8
50 %	- 9.4	88.4	171.1	260.0
70 %	- 7.2	101.7	180.7	274.0
90 %	- 5.1	119.5	195.0	284.1
95 %	2.1	125.9	202.0	289.3
API	117.8	62.8	49.7	38.3
cSt				0.3135
Flash Point				99.0
Vol. %	0.2	62.4	28.4	9.0

Fuente: Elaboración propia

Para obtener la temperatura inicial del Solvente 1, se tiene que separar los hidrocarburos más ligeros, los cuales podrían ser utilizados como combustible en la refinería. La fracción pesada que queda puede ser usada dentro de la mezcla de Diesel.

La temperatura del recuperado a 10% del Solvente 1 es ligeramente mayor a la norma, 70°C versus 72.3°C

TABLA 4.12

CONDICIONES DE OPERACION

PRODUCCION SOLVENTES 1 Y 3

	T1	T2	T3
Psig	100	40	4
Condensó °C	57.3	132.0	177.6
Tope °C	57.7	149.2	189.0
Fondo °C	190	240	272.6

Fuente: Elaboración propia

4.1.2.4 SOLVENTE 1 Y DIESEL

En este sub caso se considera producir únicamente Solvente 1 y Diesel, se requiere de únicamente dos fraccionadores con el siguiente resultado

PRODUCTOS

Volumen por ciento

Livianos	1.3 %
Solvente 1	59.0 %
Diesel	39.7 %
TOTAL	100.0 %

TABLA 4.13
CARACTERIZACION DE PRODUCTOS
PRODUCCION DE SOLVENTE 1 Y DIESEL
ASTM D 86 en °C

	Livianos	Solvente 1	Diesel
IBP	5.5	65.2	154.3
5 % Vol.	12.2	69.1	156.6
10 % Vol.	14.8	73.1	158.9
30 % Vol.	41.4	80.5	166.7
50 % Vol.	43.6	87.5	179.1
70 % Vol.	47.1	99.8	198.1
90 %Vol.	51.4	115.2	273.0
95 % Vol.	54.5	122.2	285.7
98 % Vol.	56.3	127.2	296.1
Flash Point			41.4
API	79.7	63.0	47.3
cSt			0.3182

Fuente: Elaboración propia

El volumen producido de componentes livianos no es muy importante se podría utilizar como combustible en la misma refinería. El diesel se utilizaría como mezcla.

TABLA 4.14
CONDICIONES DE OPERACIÓN
PRODUCCION DE SOLVENTE 1 Y DIESEL

	T1	T2
Psig	65	10
Condenso °C	88.3	98.5
Tope °C	100.8	114.8
Fondo °C	170.0	195.0

Fuente: Elaboración propia

4.1.2.5 SOLVENTE 3 Y DIESEL

En este caso se considera producir Solvente 3 y Diesel, solo se requiere de dos fraccionadores, se tiene lo siguiente:

PRODUCTOS

Los rendimientos son:

Gasolinas	64.8 %
Solvente 3	24.3 %
Diesel	10.9 %
Total	100.0 %

TABLA 4.15**CARACTERIZACION DE PRODUCTOS****PRODUCCION DE SOLVENTE 3 Y DIESEL****ASTM D 86 en °C**

	Gasolina	Solvente 3	Diesel
IBP	65.3	153.2	233.6
5%	68.9	157.4	228.4
10%	72.9	159.0	230.8
30%	81.6	164.7	239.7
50%	89.9	171.4	253.3
70%	104.0	179.4	271.7
90%	123.2	189.9	292.9
95%	128.8	195.3	299.3
98%	135.2	200.9	303.1
cSt			0.3258
Flash Point			90.0

Fuente: Elaboración propia

La porción ligera puede ser utilizada en la mezcla de gasolina como la pesada en la mezclas de diesel

TABLA 4.16
CONDICIONES DE OPERACIÓN
PRODUCCION DE SOLVENTE 3 Y DIESEL

	T1	T2
Psig	17	4
Condenso °C	108.0	179.2
Tope °C	128.7	187.2
Fondo °C	215.7	260.0

Fuente: Elaboración propia

4.1.2.6 SOLVENTE ESPECIAL (CORTO RANGO DE DESTILACION)

En algunos procesos de extracción de aceites vegetales se usan solventes recuperables, estos son normalmente de corto rango de destilación y suficientemente alejados del rango de destilación del producto al que disuelven, que permita una fácil y completa recuperacion para volverlo a utilizar. Como ejemplo se ha simulado un solvente que tiene 24°C de rango de destilación, para lo cual se requiere de dos fraccionadores, con los siguientes resultados:

PRODUCTOS

Rendimientos

Livianos	44.0%
Solvente	1.0%
Diesel	55.0%
Total	100.0%

TABLA 4.17**CARACTERIZACION DE PRODUCTOS****PRODUCCION DE SOLVENTE ESPECIAL**

	Livianos	Solvente	Diesel	Livianos + Diesel
IBP	10.2	98.4	129.3	72.1
5%	20.7	100.7	132.6	78.5
10%	32.6	101.8	135.5	84.3
30%	60.1	105.5	145.8	95.3
50%	77.8	108.0	160.7	117.6
70%	91.5	111.2	182.1	149.3
90%	101.5	116.3	256.8	215.3
95%	118.4	120.1	272.3	234.5
98%	125.4	122.1	282.5	249.1
API	65.5	59.7	50.0	56.6
Vol. %	44.0	1.0	55.0	99.0
Flash Point			25.0	

Fuente: Elaboración propia

Si se desea disponer en forma conjunta de los productos más livianos y más pesados que el solvente, su caracterización es la indicada, bastante parecida al producto original. Los productos livianos y el diesel pueden ser utilizados en mezclas de gasolina y diesel respectivamente.

TABLA 4.18
CONDICIONES DE OPERACIÓN
PRODUCCION DE SOLVENTE ESPECIAL

	T1	T2
Psig	52.0	15.0
Condenso °C	130.2	134.2
Tope °C	139.1	135.8
Fondo °C	219.3	178.3

Fuente: Elaboración propia

4.1.2.7 TURBO COMBUSTIBLE

En las refinerías de la selva se produce Turbo, siendo suficiente un fraccionador; en el presente caso se podría tener el siguiente resultado:

Productos

Livianos	60.0 %
Turbo	40.0 %
Total	100.0 %

TABLA 4.19

CARACTERIZACION DE PRODUCTOS

PRODUCCION DE TURBO

Destilación ASTM D 86 en °C

	Livianos	Turbo
IBP	64.1	154.1
5%	67.4	156.3
10%	70.9	158.6
30%	79.5	166.3
50%	86.4	178.8
70%	98.9	197.8
90%	114.6	272.8
95%	121.3	280.5
98%	126.5	290.0
API	63.3	47.3

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.20

CONDICIONES DE OPERACIÓN

PRODUCCION DE TURBO

	T1
Psig	20.0
Condenso °C	109.5
Tope °C	126.8
Fondo °C	211.3

Fuente: Elaboración propia

El Turbo está dentro del rango de especificación de éste combustible, el producto liviano se utilizaría para mezcla en la preparación de gasolina

4.1.2.8 TURBO Y SOLVENTE ESPECIAL

Se puede combinar la producción de turbo con un solvente del tipo de corto rango de destilación, se requiere de dos fraccionadores, en el ejemplo escogido se tendría:

Productos (volumen %)

Livianos	70.1 %
Solvente	5.6 %
Turbo	24.3 %
Total	100.0 %

TABLA 4.21

CARACTERIZACION DE LOS PRODUCTOS

PRODUCCION DE TURBO Y SOLVENTE ESPECIAL

Destilación ASTM D 86 en °C

	Livianos	Solvente	Turbo
IBP	66.5	154.2	180.5
5%	70.6	154.6	184.9
10%	75.0	155.1	186.6
30%	83.8	158.4	192.7
50%	93.7	160.9	202.6
70%	109.9	164.1	230.0
90%	131.4	169.7	284.0
95%	138.2	173.3	294.0
98%	143.8	175.5	300.8
API	61.8	51.3	43.9

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.22
CONDICIONES DE OPERACIÓN
PRODUCCION DE TURBO Y SOLVENTE ESPECIAL

	T1	T2
Psig	35.0	15.0
Condenso °C	130.3	192.2
Tope °C	153.6	193.4
Fondo °C	250.0	235.0

Fuente: Elaboración propia

El producto liviano se utilizaría para mezcla en la preparación de gasolina

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

5.1 La fracción en el rango de gasolina que se obtiene no alcanza el octanaje mínimo de la norma (84 RON); sin embargo en los dos casos evaluados: 50% del total y 40% del total, es utilizable como parte de una mezcla con una gasolina como la que se produce normalmente en la refinería Talara. En todos los otros casos en los que se ha obtenido una fracción de ese rango puede ser utilizada en mezclas de gasolina motor.

5.2 La fracción del rango del Diesel, en todos los casos evaluados es utilizable en mezcla de Diesel. En casi todos los casos tiene un Flash Point menor que el mínimo, no cumple, en todos los casos puede corregirse con una mezcla apropiada; tampoco cumple con la viscosidad, es menor a la mínima, lo cual se puede corregir con una mezcla apropiada para aprovechar mejor esta fracción debería utilizarse en mezclas de Diesel 1

5.3 Se puede producir simultáneamente Solvente 1 y Solvente 3; o se puede producir cualquier de estos solventes quedando una fracción utilizable en mezclas de diesel, o de gasolina y diesel.

5.4 La producción de solventes de corto rango de destilación es factible quedando un remanente utilizable dentro de las mezclas totales.

5.5 La producción de Turbo es factible quedando un producto muy ligero que podría quemarse dentro de la misma refinería y una fracción pesada utilizable en las mezclas de diesel

5.6 La utilización de estos productos en la forma que se sugiere es factible, permitiría utilizar dentro de la zona de producción los hidrocarburos producidos y disminuiría la necesidad de llevar toda la demanda de productos desde la costa, solo se requeriría cubrir una parte de las necesidades reduciendo la dependencia, disminuyendo los costos del suministro y recibiendo un mayor precio por su producción propia.

RECOMENDACIONES

5.7 Las refinerías constituyen instalaciones industriales cuya función es preparar combustibles para un mercado definido contando con los elementos más cercanos y abundantes en su entorno. Una de sus operaciones lo constituyen las mezclas entre los componentes que se tienen a la mano. El trabajo presentado muestra que utilizando los elementos que se tienen en una refinería, con operaciones simples, se puede obtener mayor provecho de los mismos, con lo que se obtiene un mejor rendimiento tanto para la empresa que opera la refinería como para su público objetivo.

5.8 Las especificaciones sobre octanaje mínimo de las gasolinas comerciales indicadas en el NTP 321.102 tiene como fin determinar el impuesto selectivo al consumo que se deba abonar al adquirirlas; pero al mismo tiempo condiciona la calidad pues se fijan como un mínimo. Actualmente, con la adición obligatoria de 7.8% de Etanol en las gasolinas motor, el octanaje mínimo de la gasolina se ha incrementado en proporciones variables que dependen del octanaje de la misma. En la refinería de Talara se producía gasolina de 66 RON, la cual se retiró del mercado en 1973. Podría evaluarse la reimplantación de la comercialización de gasolinas de bajo octanaje y permitir su comercialización en las zonas altas del país, el precio de venta de la misma sería bastante inferior a la gasolina 84 RON.

CAPITULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Novell Wheeler; Knocking Characteristics of Hydrocarbons, Industrial and Engineering Chemistry; December 1948
- Engineering Data Book; Gas Processors Suppliers Association; 1994
- ASTM D 56; Test Method for Flash Point by Tag Closed Tester
- ASTM D 86; Standard test method for Distillation of Petroleum Products at Atmospheric Pressure
- ASTM D 93 Test Method for Flash Point by Pensky Martens Closed Cup Tester
- ASTM D 323 Standard Test Method for Vapor Pressure of Petroleum Products (Reid Method)
- ASTM D 439 Especificaciones para gasolina usada en automóviles
- ASTM D 445 Test Method for Kinematic Viscosity of transparent and opaque liquids (and the calculation of Dynamic Viscosity)
- ASTM D 975; Diesel
- ASTM D 976; Test Method for Ignition Quality of Diesel Fuels by the Cetane Method
- ASTM D 1133 Standard Test Method for Kauri Betanol Value of Hydrocarbons Solvents
- ASTM D 2500 Test Method for Cloud Point of Petroleum Oils
- ASTM D 2533 Standard Method for vapor liquid ratio of spark ignition engine fuels
- ASTM D 2553 Método para obtener la relación V/L de combustibles encendidos por chispa
- ASTM D 2699-08 Método para obtener el Research Octane Number (RON) de combustibles encendidos por chispa
- ASTM D 4814; Standard Specification for Automotive Spark-Ignition engine fuel
- ASTM D 4953 Standard Test Method for vapor pressure of gasoline and gasoline-oxygenated blends (Dry Method)
- NTP 321.003; Norma Técnica Peruana – INDECOPI, Diesel
- NTP 321.006; Niorma Técnica Peruana – INDECOPI, Turbo Combustible A-1
- NTP 321.009; Norma Técnica Peruana – ITINTEC, Hexanos Comerciales

- NTP 321.011; Norma Técnica Peruana – INDECOPI, Solvente 1 y Solvente 3
- NTP 321.102; Norma Técnica Peruana – INDECOPI; Gasolina motor
- NTP 111.200; Norma Técnica Peruana – INDECOPI, Condensados del Gas Natural
- SAE J 312; American Society for Testing and Materials (ASTM), Gasolinas Uso Motor
- NTP 321.108; Norma Técnica Peruana - INDECOPI; Prueba de octanaje research

ANEXOS

ANEXO A

LIQUIDOS DEL GAS NATURAL

A.1 DESCRIPCION GENERICA

Se denomina líquidos de gas natural al conjunto de hidrocarburos líquidos que se obtienen del gas natural.

Cuando éste es obtenido del gas asociado se obtienen hidrocarburos desde 2 hasta 9 carbonos; cuando el gas proviene de un reservorio de gas retrogrado se obtienen hidrocarburos desde 2 carbonos hasta 12 carbonos. De estos hidrocarburos únicamente los que corresponden al GLP (Gas licuado de Petróleo) se comercializan directamente como combustibles; los que corresponden al rango de destilación de la gasolina tienen un octanaje bajo, se puede utilizar para mezclas de gasolinas o como nafta petroquímica; y, los que corresponden a destilados medios se comercializan para combinarlos con los destilados medios provenientes del petróleo crudo. De algunos cortes de estos productos se pueden obtener solventes y Turbo combustible.

Los líquidos del gas natural que se obtienen de yacimientos de gas retrogrado de la zona de Camisea y Aguaytia, tienen componentes hasta de doce carbonos.

Los líquidos de gas natural se separan del gas que se produce de los yacimientos por Compresión y Enfriamiento, por Adsorción, por Absorción o por Expansión y Enfriamiento, siendo éste último el método más eficiente. En Camisea se utiliza la expansión y enfriamiento.

A.2 GASOLINA NATURAL

Los Líquidos del Gas Natural están compuestos casi totalmente por hidrocarburos parafínicos e iso parafínicos. La Gasolina Natural es la porción mas liviana una vez separado el GLP. Su presión de vapor esta limitada por el porcentaje de butano que contiene, el GLP; se comercializa independientemente de la gasolina natural.

Se considera que la gasolina natural se puede clasificar en varios tipos o Grados determinados por la presión de vapor a 100 °F y el porcentaje evaporado a 140° F, se tiene, de acuerdo a lo publicado por el Gas Processors Suppliers Association⁴:

TABLA A.1
ESPECIFICACIONES DE LA GASOLINA NATURAL

Característica	Especificaciones	Método de Ensayo
Presión de Vapor REID	10 – 34 psi	ASTM D-323
Porcentaje evaporado a 140°F	25 - 85	ASTM D-86
Porcentaje evaporado a 275°F	No menor de 90	ASTM D-86
Punto Final	Máximo 375°F	ASTM D-86
Corrosión	No menor de Calificación 1	ASTM D-130
Color	No menor de +25 (Saybolt)	ASTM D-156
Azufre Reactivo (Reactive Sulfur)	Negativo (dulce)	GPA 1138

Fuente: Engineering Data Book – Gas Processors Suppliers Association

INDECOPI ha determinado las especificaciones para Condensados del Gas Natural como sigue:

TABLA A.2
CONDENSADOS DEL GAS NATURAL
Requisitos de Calidad como Solvente

Características	Especificación	Método de Ensayo
Presión de Vapor Reid, máximo	20 psi	ASTM D 323
Punto inicial de ebullición	Reportar	ASM D 86
Punto Final de Ebullición	Reportar	ASTMD 86
Corrosión, máximo	Lamina 1	ASTM D 130
Color, mínimo	+ 25	ASTM D 156
Azufre reactivo	negativo	ASTM D 4952
Kauri Butanol, mínimo	28	ASTM D 1133

Fuente: NTP 111.200

Nota.- Esta especificación no indica rango de destilación

ANEXO B

CARACTERISTICAS DE LOS HIDROCARBUROS LIGEROS

B.1 PUNTO DE EBULLICION Y OCTANAJE

Las características de los hidrocarburos, relevantes para el propósito de esta Tesis, tratándose de las fracciones ligeras, son el punto de ebullición y el octanaje de sus componentes, como productos puros se tienen las siguientes características:

TABLA B.1

PUNTO DE EBULLICION Y OCTANAJE DE HIDROCARBUROS

HIDROCARBURO	PUNTO DE EBULLICION °F	OCTANAJE RESEARCH
Metano	- 258.71	
Etano	-127.46	+1.6
Propano	-43.73	+1.8
i Butano	10.78	+ 0.1
n Butano	31.08	93.8
i Pentano	82.11	92.3
n Pentano	96.90	61.7
Neopentano	49.10	85.5
n Hexano	155.72	24.8
2 Metil pentano	140.44	73.4
3 Metil pentano	145.86	74.5
Neohexano	121.50	91.8
2.3 Dimetil butano	136.33	+ 0.3
n Heptano	209.13	0.0
2 Metil hexano	194.05	42.4
3 Metil hexano	197.33	52.0
3 Etil pentano	200.26	65.0

2.2 Dimetil pentano	174.50	92.8
2.4 Dimetil pentano	176.85	83.1
3.3 Dimetil pentano	186.87	80.8
2.2.3 Trimetil butano	177.54	+ 1.8
n Octano	258.17	0.0
Diisobutil	228.34	55.7
Isooctano	210.58	100.0
n Nonato	303.41	0.0
n Decano	345.41	0.0
Ciclopentano	120.60	+0.1
Metil ciclopentano	161.29	91.3
Ciclo hexano	177.40	83.0
Metilciclohexano	213.69	74.8
Etileno	-154.71	+0.03
Propileno	-53.83	+0.2
Butileno	20.79	97.4
Cis 2 buteno	38.69	100.0
Trans 2 buteno	33.58	0.00
Isobuteno	19.57	0.00
1 penteno	85.92	90.9
1.2 butadieno	51.52	0.0
1.3 butadieno	24.06	0.0
Isopreno	93.29	99.1

Fuente: ENGINEERING DATA BOOK – GASOLINE PROCESSORS SUPLIERS ASSOCIATION

B.2 CONDENSADO DE PUCALLPA

Una muestra del condensado de Pucallpa reportado por esa empresa el 2005 dio los siguientes resultados de un análisis cromatográfico:

TABLA B.2
CROMATOGRAFÍA DEL CONDENSADO DE PUCALLPA

COMPONENTE	Volumen %	Boiling Point °F	RON
n Butano	0.96	31.08	93.8
2 Metil Butano	0.92	49.10	85.5
i Pentano	22.70	82.11	92.3
n Pentano	29.25	96.90	61.7
2.2 Dimetil butano	1.05	49.55	94.0
Ciclo pentano	4.15	120.60	+ 0.1
2.3 Di metil butano	1.90	136.33	+ 0.3
2 Metil pentano	10.15	140.44	73.4
3 Metil pentano	6.55	145.86	74.5
n Hexano	7.38	155.69	24.8
2.2 Dimetil pentano	0.15	174.50	92.8
Metil ciclo pentano	5.86	161.29	91.3
2.4 Dimetil pentano	0.31	176.85	83.1
Benceno	0.42	176.13	+3.0
3.3 Dimetil pentano	0.04	186.87	80.8
Ciclo hexano	3.70	177.40	83.0
2 Metil hexano	0.84		
2.3 Dimetil pentano	0.35		
1.1 Ciclo pentano	0.69		

3 Metil hexano	0.97		
cis 1.3 dimetil ciclo pentano	0.68		
trans 1.3 dimetil ciclo pentano	0.94		

Fuente: Maple Corp.

De acuerdo a las proporciones de los componentes y su octanaje las muestras de gasolina natural obtenida deberían tener un octanaje mayor que el que resulta de las pruebas de octanaje.

Es notable el porcentaje de pentanos. El hexano se encuentra después de evaporar el 77.64 % en volumen del condensado; de acuerdo a la muestra reproducida de los trabajos en Pucallpa del 2005: sin embargo, en la simulación aparece después de haberse retirado el 28 % en volumen, lo que está de acuerdo con la destilación TBP de la muestra trabajada.

El conjunto de curvas de la destilación D 86 de las diferentes porciones de 10% recuperado del TBP corroboran lo mostrado en el análisis cromatográfico, lo cerca que están unas de otras y la horizontalidad de las curvas.

Todo ello muestra la dificultad para separar componentes, entre ellos la separación del hexano permitiría mejorar la calidad de la gasolina remanente; en el Caso Solventes Especiales se simula el resultado de ello. Durante la experiencia de producción de hexano, efectuada en el noroeste en los años 50 y 60; no se tuvo registro de los octanajes de los componentes más livianos ni más pesados después de la extracción del hexano; y no ha sido posible reproducirla en laboratorio.

Infortunadamente en la literatura no se ha encontrado la temperatura de ebullición de hidrocarburos en el rango de 8 a 12 carbonos.

ANEXO C

LA MUESTRA

La muestra con la que se realizaron las pruebas de laboratorio tiene las siguientes características:

TABLA C.1

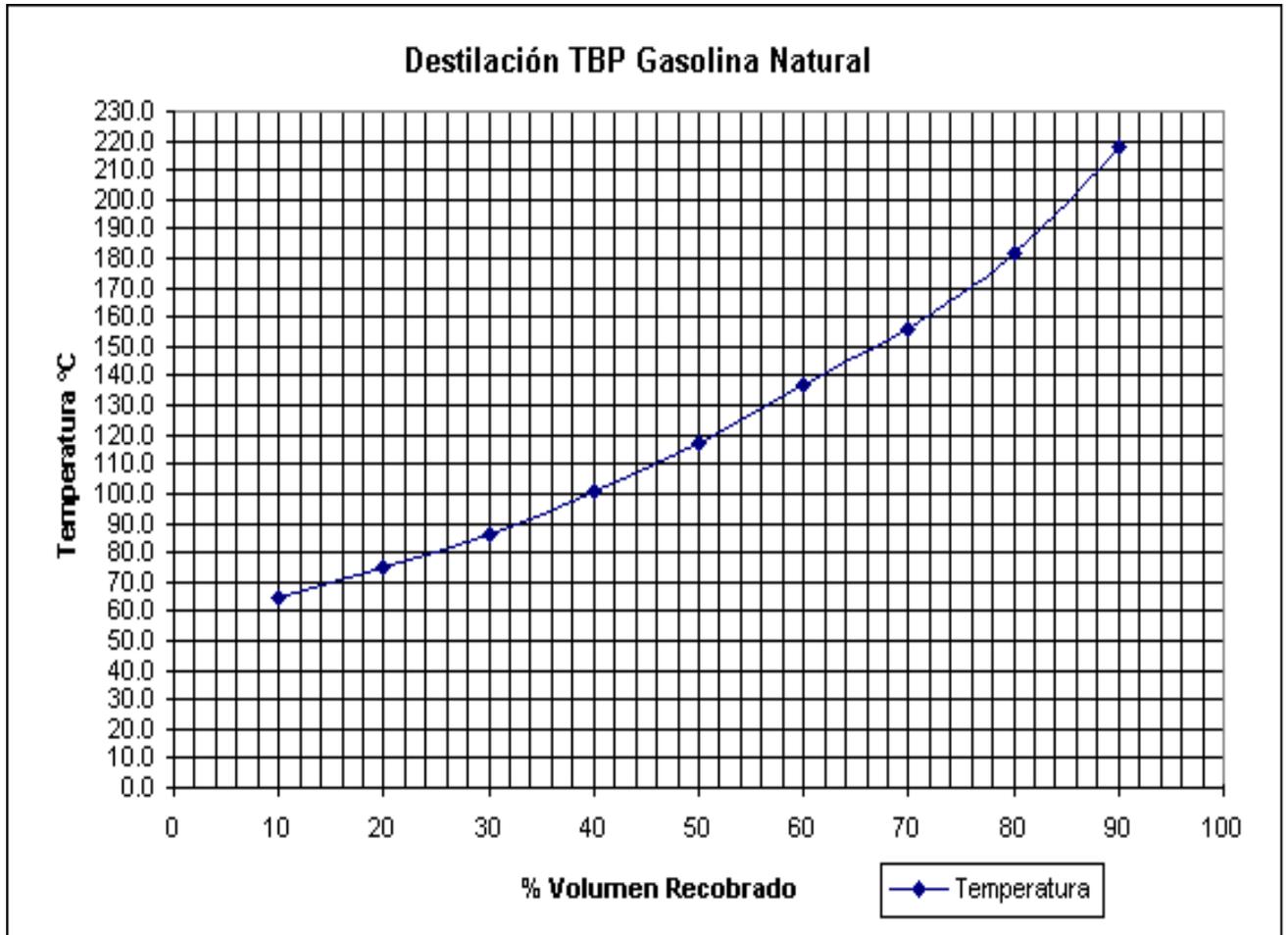
DESTILACION TBP DE LA MUESTRA

Recuperado	TBP			ASTM D86	
	°C	°F		°C	°F
IBP	28.8	83.8		73.2	163.8
10% Vol.	64.8	148.6		93.5	200.4
20% Vol.	75.0	167.0			
30% Vol.	86.0	186.8		103.3	218.0
40% Vol.	101.0	213.8			
50% Vol.	117.3	243.1		124.7	256.4
60% Vol.	136.9	278.4			
70% Vol.	155.9	312.7		156.3	313.4
80% Vol.	181.9	359.4			
90% Vol.	218.0	424.0		190.3	374.6
API	56.6	56.6		56.6	56.6

Fuente: Laboratorio Refinería Conchan

GRAFICO C.1

CURVA DE DESTILACIÓN TBP DE LA MUESTRA



Fuente: Laboratorio Refinería Conchan

La caracterización de cada uno de los cortes mediante destilación ASTM D 86, dio el siguiente resultado

TABLA C.2

C 2 CARACTERIZACION DE LOS CORTES TBP DE LA MUESTRA

DESTILACIÓN ASTM (D86) °C y API

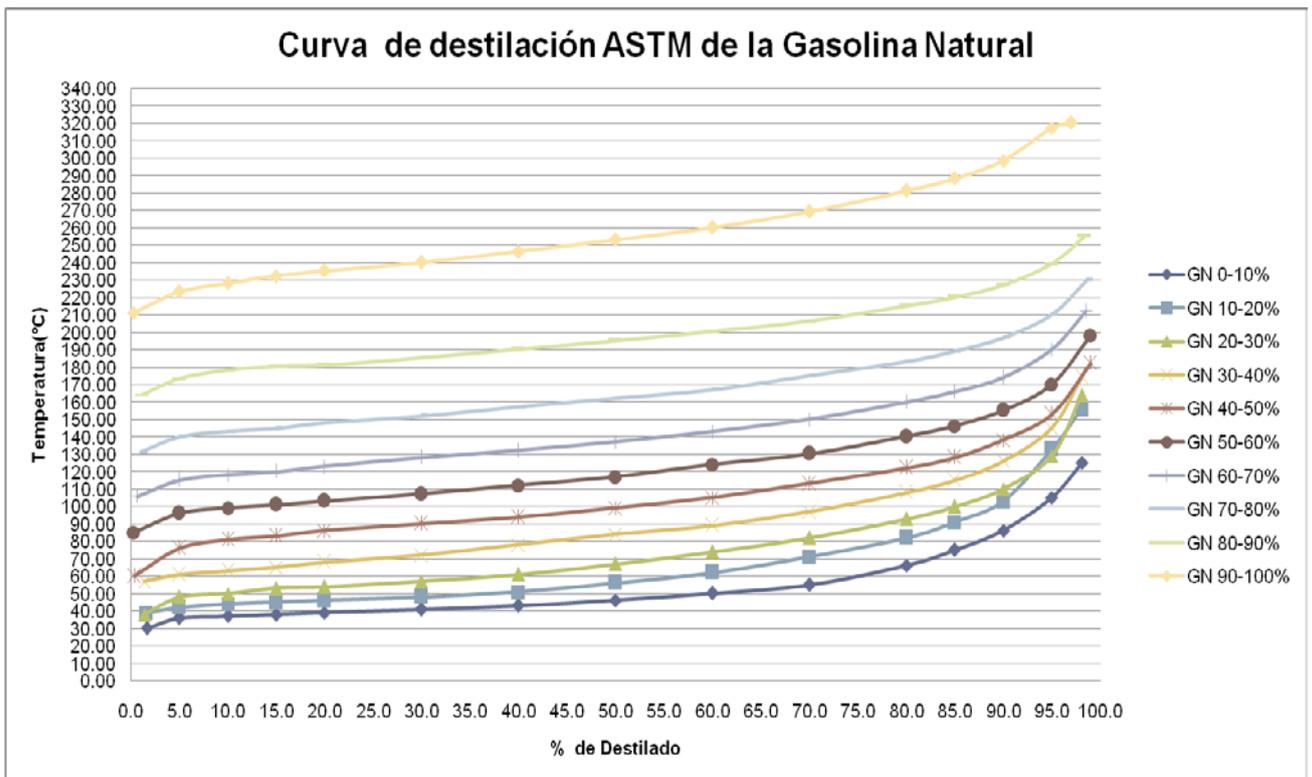
Corte	API	IBP	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	FBP
1	84.7	30.25	37.25	39.25	41.25	43.26	46.26	50.26	55.27	66.27	86.29	125.23
2	81.2	39.17	44.17	46.17	48.17	51.17	56.18	62.18	71.19	82.19	103.20	156.23
3	77.0	38.20	50.20	54.21	57.21	61.21	67.21	74.22	82.22	93.23	110.24	164.28
4	71.6	57.24	63.24	68.25	72.25	78.25	84.26	89.26	97.27	108.27	126.29	174.32
5	66.4	60.27	81.29	86.29	90.29	94.30	99.30	105.31	113.31	122.32	138.33	182.37
6	62.5	85.32	99.34	103.34	107.34	112.35	117.35	124.36	130.36	140.37	155.39	198.42
7	59.2	106.24	118.25	123.25	128.25	132.26	137.26	143.26	150.27	160.27	174.28	212.31
8	55.9	131.18	143.19	148.19	152.19	157.19	162.20	167.20	175.20	183.21	197.21	230.23
9	52.4	164.43	178.45	181.45	185.45	190.46	195.46	200.47	206.47	215.48	227.50	255.52
10	46.6	211.48	228.50	235.50	240.51	246.51	253.52	260.53	269.54	281.55	298.57	320.59
G Nat	56.6		93.5		103.3		124.7		156.3		190.3	

Fuente: Laboratorio UNI

Las curvas de la destilación ASTM DF 86, son como sigue

GRAFICO C.2

CURVAS DE DESTILACION ASTM D 86 DE LOS CORTES RECUPERADOS CADA 10% DE VOLUMEN DE LA MUESTRA POR DESTILACION TRUE BOILING POINT (TBP)



Fuente: Laboratorio UNI

TABLA C.3

CROMATOGRAFIA

TIPOS DE HIDOCARBUROS EN CORTES DE PRODUCTOS LIVIANOS

% VOLUMEN

COMPONENTE	CORTE					
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5	MUESTRA 6
	C 0-10%	C 10-20%	C 20-30%	C 30-40%	C 40-50%	C 50-60%
PARAFINAS	37.7	37.5	39.0	37.1	37.8	38.9
ISOPARAFINAS	53.6	48.5	44.9	41.2	35.1	30.5
OLEFINAS	0.6	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0
NAFTENOS	5.4	9.3	10.4	15.1	18.6	20.7
AROMATICOS	2.7	4.4	5.6	6.6	8.5	9.9
TOTAL	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Realizado por:

Luis Solis C.

T, 07-04-10

Revisado

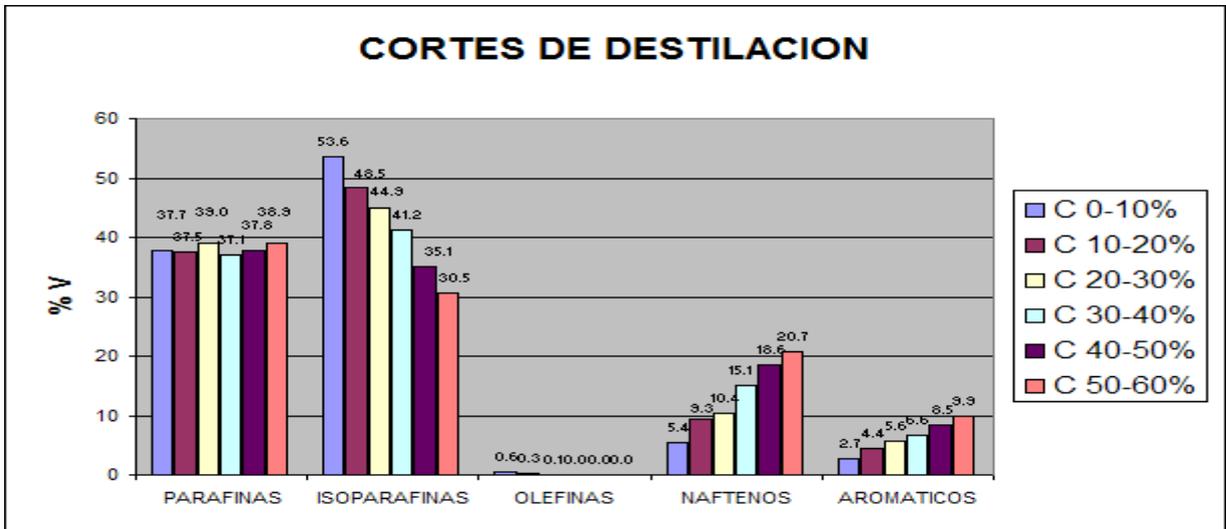
por:

Gregorio Quiroz S.

Fuente: Laboratorio Refineria Talara

GRAFICO C.4

ANALISIS CROMATOGRAFICO



Fuente: Laboratorio Refinería Talara

Se hace notorio lo siguiente:

- 1, El mayor volumen lo tienen las parafinas y las iso parafinas, siendo esta ultima el mayor porcentaje promedio
2. El porcentaje de parafinas es constante
3. Las isoparafinas que son mayoría en el corte más liviano disminuyen cuanto mayor es la densidad
4. Tanto los naftenicos como los aromáticos, dentro de su poca presencia, se incrementan cuanto mas pesada es la muestra
5. La presencia de olefinas es insignificante

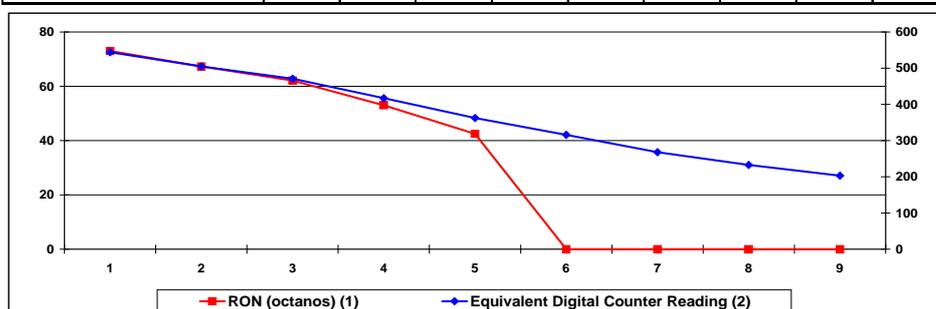
TABLA C.4.1

OCTANAJE CORTES 1 AL 9

OCTANAJE Y EQUIVALENTE DIGITAL COUNTER READING

EVALUACION DE OCTANAJE Y EQUIVALENT DIGITAL COUNTER READING DE LAS FRACCIONES DE GASOLINA NATURAL

Fracción	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Rango de Destilación (% Vol)	0 - 10	10 - 20	20 - 30	30 - 40	40 - 50	50 - 60	60 - 70	70 - 80	80 - 90
RON (octanos) ⁽¹⁾	73	67.3	62.1	53	42.5	< 40	< 40	< 40	< 40
Dial Indicator Reading (plg)	0.626	0.654	0.678	0.716	0.755	0.788	0.822	0.847	0.868
Equivalent Digital Counter Reading ⁽²⁾	544	505	471	417	362	316	268	233	203



(1) A partir de la 6ta. fracción, el octanaje obtenido es menor a 40.

(2) Equivalent Digital Counter Reading = $(1,012 - \text{Dial Indicator reading}) * 1410 = \text{RC}$, de acuerdo a la Norma ASTM D 2699-08

RC= Relación de compresión (valor adimensional).

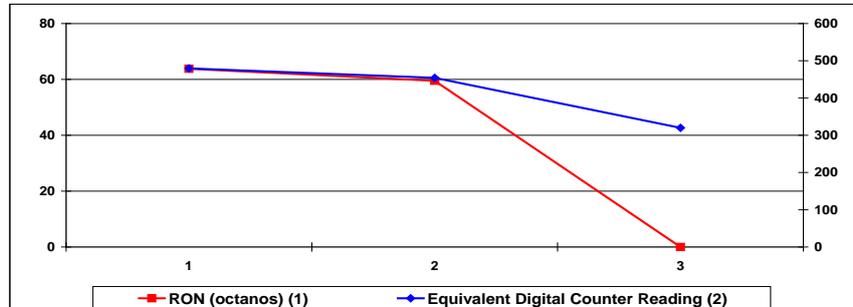
Fuente: Laboratorio Refinería Conchan

TABLA C.4.2

OCTANAJE CORTES 1 A 4 Y 1 A 5

EVALUACION DE OCTANAJE Y EQUIVALENT DIGITAL COUNTER READING DE FRACCIONES DE GASOLINA NATURAL

Muestra	1	2	3 (100 % GASOLINA NATURAL)
Rango de Destilación (% Vol)	0 - 40	0 - 50	0 a 100
RON (octanos) ⁽¹⁾	63.8	59.5	< 40
Dial Indicator Reading (plg)	0.672	0.690	0.785
Equivalent Digital Counter Reading ⁽²⁾	479	454	320



(1) A medida que se incrementa el % vol. de recobrado en la destilación, cae el octanje.

(2) Equivalent Digital Counter Reading = $(1,012 - \text{Dial Indicator reading}) * 1410 = \text{RC}$, de acuerdo a la Norma ASTM D 2699-08.

RC= Relación de compresión (valor adimensional).

Fuente Laboratorio Refinería Conchan

Las fracciones de rango superior a las gasolinas se caracterizan como sigue:

TABLA C.5

CARACTERISTICAS DE CORTES PESADOS

Intervalo	DESTILACION ASTM D-86 - °C			
	60 - 70	70 - 80	80 - 90	90 -100
IBP	106.0	131.0	164.0	211.0
5 % Vol.	115.0	140.0	173.0	223.0
10 % Vol.	118.0	143.0	178.0	228.0
15 % Vol.	120.0	145.0	180.0	232.0
20 % Vol.	123.0	148.0	181.0	235.0
30 % Vol.	128.0	152.0	185.0	240.0.
40 % Vol.	132.0	157.0	190.0	246.0
50 % Vol.	137.0	162.0	195.0	253.0
60 % Vol.	143.0	167.0	200.0	260.0
70 % Vol.	150.0	175.0	206.0	269.0
80 % Vol.	160.0	183.3	215.0	281.0
85 % Vol.	166.0	189.0	220.0	288.0
90 % Vol.	174.0	197.0	227.0	298.0
95 % Vol.	190.0	210.0	239.0	317.0
FBP	212.0	230.0	255.0	320.0
% Residuo	0.8	0.4	0.4	2.7
% Perdida	0.7	1.1	1.3	0.3
API	59.2	55.9	52.4	46.6
Sp gr	0.7402	0.755	0.7694	0.7945
T _v	141.4	165.8	198.2	257.6
T _{Me}	137.5	162.2	195.1	253.5
Flash Point	59	90	134	195

Fuente Laboratorio Refineria Conchan

ANEXO D

PRODUCTOS A OBTENERSE

D.1. GASOLINA

D.1.1 DESCRIPCION

La gasolina motor es el combustible líquido más liviano producido del petróleo, está formado por hidrocarburos desde los butanos hasta los nonanos.

Es un combustible diseñado para usarse en motores de explosión de encendido por chispa (ciclo Otto). En estos motores, el combustible ingresa al cilindro vaporizado y mezclado con el aire, se le comprime y en determinado momento se genera una chispa con la cual se enciende. La expansión de los gases generados por la rápida combustión (explosión) ejerce fuerza sobre el pistón haciéndolo retroceder, lo que constituye la fuente de la energía producida por el motor

Las especificaciones de gasolina motor validas para el Perú son:

TABLA D.1

ESPECIFICACIONES DE GASOLINA MOTOR

Propiedades	Especificación		ASTM
	Mínimo	Máximo	
Apariencia	Transparente		
VOLATILIDAD			
Gravedad API a 15.6°C	Reportar		D 287
Destilación °C (a 760 mm Hg)			D 86
Punto Inicial	Reportar		
10 % Recuperado		74	
50% Recuperado	77	118	
90% Recuperado		190	
Punto Final		221	

Recuperado, % Vol.	96.0		
Perdida, % Vol.		2.0	
Relación vapor / líquido = 20, °C	56		D 2533
Presión de Vapor a 37.8°C, Kpa (Psig)		68 (9.9)	
CORROSIVIDAD			
Corrosión Lamina Cu, 3Hr a 50°C		1	D 130
Azufre total como S, % masa		50	D 4294
ANTIDETONANCIA			
Numero Octano Research (RON)		*	D 2699
ESTABILIDAD A LA OXIDACION			
Período de inducción, min.	240		D 525
CONTAMINANTES			
Goma existente, mg / 100 ml		5.0	D 381
CONTENIDO DE ETANOL			
Etanol Anhidro, % vol.		7.8	

Fuente: NTP 321.102

*La antidetonancia esta delimitada por el Octanaje Research (RON) mínimo, aceptándose cinco grados: 84, 90, 95, 97 y 98

Se ha introducido, en el país, la mezcla de gasolina con 7.8% en volumen de Etanol Anhidro; esto incrementara el octanaje de la mezcla en 4.7 octanos para la gasolina 84 RON y en cantidades decrecientes para las demás, hasta 1 octano para la gasolina de 98 RON

D.1.2 ANTIDETONANCIA - OCTANAJE

Constituye una de las propiedades más importante de las gasolinas, es la propiedad que mide la relación de compresión del motor en la que se produce el autoencendido de una mezcla de un hidrocarburo (gasolina) con aire; ésta se determina en un motor estandarizado a condiciones establecidas y se califica como octanaje o índice de octano. Se cuantifica probando la gasolina en un motor al cual se le puede variar la relación de compresión, y en donde se tiene controladas las otras variables como el número de revoluciones y la temperatura de operación, principalmente.

.Se ha determinado arbitrariamente que el iso octano, tiene un antidetonancia elevada, octanaje 100 y el octanaje del heptano normal se califica como cero. El octanaje de una gasolina es el de la proporción de la mezcla de iso octano (2,2,4 trimetil pentano) con heptano normal (n heptano) que tiene el mismo resultado en el motor utilizado para medir el octanaje. Por ejemplo, si la muestra que se analiza tiene una performance en el motor de prueba igual a la de una mezcla de 80% de iso octano con 20% de heptano normal, se le asigna octanaje de 80. Esto significa que ambas, la gasolina que se prueba y la mezcla de 80% de iso octano y 20% de heptano normal han iniciado su golpeteo a la misma relación de compresión bajo las mismas condiciones de operación del motor de prueba.

El índice de compresión a la cual se inicia el golpeteo se le denomina critical compresión ratio (índice de compresión crítico)

Para gasolinas que tienen un octanaje mayor que el iso octano se le compara con el iso octano al cual se le ha agregado plomo tetraetilico. La calificación que se le otorga es la cantidad de plomo tetraetilico añadido al iso octano para igualar la performance de la gasolina en prueba y se indica como + el numero de mililitros de plomo tetraetilico añadido a un galón de gasolina.

Se utilizan dos tipos de condiciones de operación del motor de prueba, denominadas condiciones Research, Research Octane Number (RON), o condiciones Motor, Motor Octane Number (MON) definidas por la diferente velocidad y condiciones de temperatura a la que opera el motor de prueba. En el país se utiliza el método Research; en otros países se usa el método Motor o el promedio de los dos índices denominado Road Octane Number.

El octanaje RON representa la performance de la gasolina en condiciones de uso moderado, mientras el índice MON representa un motor en un trabajo exigido (carretera), condiciones de mayor temperatura y velocidad.

Los resultados como índice octano motor (MON) siempre son menores que los que se obtienen con el método research (RON); la diferencia entre estos tipos de índices es variable, dependiendo del tipo de hidrocarburo de que se trate, dentro de un rango entre 3 y 10; las menores diferencias entre estos dos índices se tienen en hidrocarburos parafínicos y las mayores en hidrocarburos aromáticos y olefinas.

Los octanajes de los hidrocarburos gaseosos son mayores que RON 100.

El rendimiento de la gasolina en un motor no tiene relación alguna con el octanaje de la gasolina o el combustible gaseoso que se usa. Cada tipo de motor tiene un octanaje mínimo para su adecuada operación, si el octanaje es menor que el requerido se produce un golpeteo el cual es producido por el encendido anticipado de la gasolina. El golpeteo daña los cojinetes de biela y además se forma una corona oscura en la cabeza del pistón producto de temperaturas elevadas.

El uso de ciertos aditivos mejora el octanaje de una gasolina, el más usado fue el plomo tetraetílico el cual se ha prohibido por ser altamente tóxico. Las naftas producidas por procesos de Cracking Catalítico, Reformación, Alquilación e Isomerización tienen octanajes más elevados que la gasolina natural o que las obtenidas por la destilación de petróleo crudo.

La prohibición del uso del plomo tetraetílico motivó el uso de compuestos oxigenados para mejorar el octanaje, habiéndose limitado, también, su uso a un máximo de 10% en volumen por ser dañinos al ambiente y/o tóxicos.

Un detrimento adicional del plomo tetraetílico fue que no se podían utilizar convertidores catalíticos para controlar la emisión de compuestos nocivos por el escape de los vehículos, estos se destruían por la acción del plomo.

A altitudes por encima del nivel del mar los requerimientos de octanaje son menores.

En el país no se ha determinado aun recomendaciones de disminución de requerimientos de octano por la altitud; nuestra norma establece únicamente mínimos para las diferentes clases de gasolinas, lo cual determina el impuesto (ISC) que se debe abonar.

El octanaje resultante de la mezcla de dos gasolinas de diferente octanaje no es lineal, para calcular las mezclas se tiene desarrollado el denominado octanaje de mezcla (octane blending number) que permite el cálculo del resultado de mezclas de gasolinas.

D.1.3 EFECTOS DE LA ALTURA SOBRE LOS REQUERIMIENTOS DE OCTANAJE

El índice de octanaje de un vehículo es afectado por tres variables en el ambiente en que se está operando: presión atmosférica, temperatura y humedad.

Se notó desde los inicios de la industria automotriz que el índice de octanaje requerido disminuye con un incremento en la altura, esto se ha explicado por:

- 1 Reducción de la densidad del aire lo que hace disminuir la presión al momento de la combustión y su temperatura
- 2 El combustible se mide de acuerdo con el volumen de aire que ingresa al cilindro, como la densidad del aire disminuye con la altura la mezcla aire/combustible se hace más rica, disminuyendo el octanaje requerido.
- 3 El avance de la chispa es controlado por el vacío en el manifold de ingreso. Como la presión disminuye con la altitud, un vacío menor resulta en un avance de la chispa menor que disminuye el requerimiento de octanaje.

Estudios realizados en 1977 determinaron que por cada 300 metros de incremento en la altitud, la necesidad de octanaje disminuía de uno a dos octanos⁵. (Society of Automotive Engineers, SAE J 312 – Jan 1993 - Automotive Gasolines). En un motor, cuando el octanaje no es el adecuado, se corrige el golpeteo cambiando el momento en que se produce la chispa, esta labor actualmente se realiza por sensores y la corrección del encendido por computadoras, con ello el efecto del octanaje por la altitud se ha reducido a un rango de 0.2 a 0.5 octanos por cada 300 metros de diferencia de altitud. Este aditamento permite defender un motor que está utilizando gasolina de bajo octanaje, por operar en alturas, cuando baja a un lugar de menor altitud.

Con referencia a la temperatura, el estudio mencionado ha indicado que una disminución de temperatura de 10° F disminuye el requerimiento de octanaje motor de un vehículo en 0.56 octanos; y una reducción de la humedad de 0.00065 Kg. en la humedad absoluta, disminuye el requerimiento de octanaje research en 0.35 octanos. Estas propiedades han dado pie en algunos países a variar el octanaje de las gasolinas entre el verano y el invierno, y por áreas geográficas

⁵ Society of Automotive Engineers, SAE J 312 – Jan 1993 – Automotive Gasolines

D.1.4 VOLATILIDAD

Los elementos que califican la tendencia a vaporizarse de la gasolina son la temperatura de ebullición y la presión de vapor de la gasolina.

Se controla la volatilidad porque de ser elevada originaría que se produzcan vapores en la bomba de gasolina, lo cual la torna en inoperante, este fenómeno se denomina vapor lock. Los motores que utilizan hidrocarburos gaseosos no tienen bomba para el combustible.

Las gasolinas tienen compuestos volátiles (butanos y pentanos), los cuales se evaporan a temperatura ambiente; por ello, en el rango de destilación definido por la norma, se debe reportar la temperatura de ebullición desde el 10% del volumen (por lo menos debe haber destilado el 10% a 70 °C). Además se tiene un máximo para el punto final de ebullición. Esto se requiere porque al cilindro del motor debe ingresar la gasolina totalmente vaporizada mezclada con aire.

La presión de vapor es la presión que se obtiene de la gasolina en un recipiente cerrado a 100°F; y es incrementada por los componentes livianos de la gasolina como son los butanos. Debe ser suficientemente elevada para asegurar un rápido arranque del motor pero no tan alta que contribuya a producir el vapor lock, o mayores emisiones de vapores en almacenaje. Se determina por los procedimientos ASTM D 4953, D 5190 o D 5191.

La presión de vapor debe ser menor en zonas más elevadas que a nivel del mar para evitar el vapor lock.

El método de determinar el V/L (relación vapor a líquido) está basada en la presión de vapor y las temperaturas de destilación para 10%, 20% y 50% de la gasolina, y se obtiene por correlaciones establecidas de datos experimentales. Esta información se incluye en el ASTM D 4814

Debe tomarse en cuenta que el V/L se incrementa con la temperatura ambiente.

Se ha determinado que la tendencia de un sistema de combustible, evidenciada por la tendencia del combustible a producir vapor lock, se evidencia por pérdida de potencia a plena aceleración y es indicada por la temperatura a un V/L de 20, tanto en gasolinas con compuestos oxigenados como sin compuestos oxigenados.

D.1.5 ADICION DE ETANOL

En el país es obligatorio añadir 7.8% de etanol anhidro a la gasolina como parte de una política ecológica. Debido a que el Etanol tiene un octanaje mayor que 100 RON en octanaje en la mezcla (129 RON equivalente), de acuerdo a pruebas realizadas en la refinería Talara, el RON de la mezcla es como sigue:

Producto	RON Gasolina	RON Gasohol	Incremento
84 RON	84.2	88.9	4.7
90 RON	90.0	92.8	2.8
95 RON	95.0	96.5	1.5
97 RON	97.0	98.2	1.2

Fuente: Laboratorio Refinería Talara

D.1.6 RENDIMIENTO DE LA GASOLINA

El contenido calórico o sea la energía que puede desarrollar una determinada gasolina esta determinada por la densidad de la misma, a mayor densidad mayor energía por la combustión. Las especificaciones no limitan la densidad, pero, siendo el incremento calórico proporcional al incremento de la densidad, el rendimiento de la misma será igualmente proporcional al incremento de ésta.

El rendimiento de gasolina en un motor es la resultante de la combinación de la densidad de la gasolina y la relación de compresión del motor

D.2 DIESEL

D.2.1. DESCRIPCION

El diesel es el combustible de mayor uso en el mundo, su utilización se basa en la mayor eficiencia que se obtiene, en los motores de explosión, con respecto a los motores ciclo Otto. Es un combustible destilado de las fracciones de petróleo tanto de la destilación primaria como de los gasóleos obtenidos de los procesos de conversión, craqueo, etc.

D.2.2. TIPOS DE DIESEL

En el país se comercializa mayormente el Diesel 2, el Diesel 1 esta prohibido y el uso del Diesel 4 es muy limitado, Las especificaciones del Diesel 2 determinadas por el DS 092-2009 EM 2 son las siguientes:

TABLA D.2
ESPECIFICACIONES DIESEL 2

Propiedades	Especificación		ASTM
	Mínimo	Máximo	
VOLATILIDAD			
Destilación, ° C (a 760 mmHg)			
90% Recuperado	282	360	D 86
Punto de inflamación Pensky Martens, °C	52		D 93
Densidad a 15.6 °C, Kg / m ³	Reportar		D 1298
FLUIDEZ			
Viscosidad cinemática a 40°C, cSt	1.9	4.1	D 445
Punto de escurrimiento, °C		4	D 97
COMPOSICION			
Numero de Cetano	45		D 613
Indice de Cetano	45		D 4737
Cenizas, % masa		0.01	D 482
Residuo de Carbon Conradsom 10% fondos, % masa		0.35	D 524
Azufre total, mg / Kg (ppm)		50	D 4294
CORROSIVIDAD			

Corrosion Lamina de Cu, 3h, 50°C, N°		3	D 130
CONTAMINANTES			
Agua y sedimentos, % vol.		0.05	D 1796
LUBRICIDAD			
Diámetro rasgado de uso corregido, HFRR a 60°C, micron		520	D 6079
REQUERIMIENTOS DE OPERATIVIDAD			
Punto Obstrucción del Filtro, Flujo en Frío, °C, (CFPP) o (POFF)		-8	D 6371
CONDUCTIVIDAD			
Conductividad, pS/m	25		D 2624
BIODIESEL 100 (B100)			
Contenido, % vol		5 *	D 7371

Fuente: NTP 321.003

* A partir del 01 de Enero del 2011 el contenido de biodiesel (B100) es de 5% en volumen

D.2.2.1 DIESEL 1

El Diesel 1 o Diesel Automotriz se utiliza en motores de alta velocidad que están sujetos a continuos cambios en la potencia y velocidad de rotación; es un destilado del rango de kerosene. Su combustión es mas completa que la de los Diesel mas pesados por lo que emite menos particulados que aquellos.

D.2.2.2 DIESEL 2

El Diesel 2 es el combustible de mayor utilización en el país, su rango de destilación permite admitir hidrocarburos de mayor Punto de Ebullición que el Diesel 1; debido a esta característica su rendimiento es mayor que el del Diesel 1.

D. 2.2.3 DIESEL 4

El Diesel 4 es un destilado mas pesado, se utiliza en motores de bajas revoluciones (motores marinos) que operan a velocidad constante principalmente. Es una mezcla de diesel 2 con residuales.

D.2.3 CONTENIDO DE AZUFRE

Debido a la cantidad de azufre que puede llegar a tener los combustibles para motores diesel, sobre todo por la tendencia mundial de procesar crudos pesados, esta especificación se ha tornado crítica. La especificación nacional ha fijado como límite máximo 50 ppm en peso, para lo cual las refinerías están en el proceso de instalar unidades desulfuradoras. Debe tomarse en cuenta que en Europa y algunos lugares del Asia el máximo admisible de azufre es 10 ppm.

D.2.4 INDICE DE CETANO

Es una medida de la eficiencia en la combustión del diesel en el motor. Este índice es más elevado cuanto mayor contenido de hidrocarburos parafínicos tenga el diesel. La característica predominantemente parafínica del diesel obtenido del gas natural mejora el índice de cetano en las mezclas con diesel obtenido de la destilación de petróleo.

D.2.5 VISCOSIDAD

La viscosidad es importante por su efecto en el sistema de inyección del combustible diesel, el cual requiere de elevadas presiones para una adecuada pulverización en el motor con lo que se obtiene una combustión adecuada.

D.2.6 PUNTO DE NIEBLA (CLOUD POINT)

Una característica que ha sido, hasta ahora, de menor importancia, es el Punto de Niebla, el cual mide la aparición de pequeñas partículas de cera que se forman a bajas temperaturas. La implementación, actualmente en curso, de la mezcla de diesel con biodiesel, es decir con un destilado de origen vegetal, ha puesto en evidencia la

posibilidad de la formación de cristales de cera en el biodiesel, a las bajas temperaturas que se pueden encontrar en elevadas alturas, lo que determina la necesidad de controlar el Cloud Point de las mezclas de biodiesel.

Algunos tipos de biodiesel, dependiendo de la fuente que los produce, tienen Puntos de Niebla bastante elevados lo que origina problemas en los lugares fríos, en nuestro caso la zona de sierra.

D.2.7 ESPECIFICACIONES ASTM D 975

Las especificaciones del ASTM D 975 reconoce tres grados: Diesel 1, Diesel 2 y Diesel 4. Para los combustibles Diesel son las siguientes:

TABLA D.2.7
ESPECIFICACIONES ASTM D 975 - DIESEL

Especificación		Diesel 1	Diesel 2	Diesel 4
Flash Point, °C	min	38	52	55
90% Recuperado, °C	min		282	
	max	288	338	
Visc Cinemática cSt a 40°C	min.	1.3	1.9	5.5
	max	2.4	4.1	24.0
Numero de Cetano	min.	40	40	30
Lubricidad, HFRR a 60°C, micron	max	520	520	520
Carbón Conradson 10% de residuo	max	0.15	0.35	

Fuente: ASTM D 975

Únicamente se determina las temperaturas finales de la destilación, y entre el Diesel 1 y el Diesel 2 las viscosidades límites se interpolan entre sí.

El diesel 4 al tener mezcla con residuales no tiene especificaciones de destilación

D.3 SOLVENTES

D.3.1 CARACTERISTICAS

Son fracciones de hidrocarburos, mayormente parafínicos, que se utilizan en procesos en los que se requiere capturar una parte de los componentes de una mezcla o en operaciones de limpieza, o para simplemente disolver componentes densos y/o viscosos para que sean más manejables. Se caracterizan por tener rangos de destilación definidos.

En el país se producen en las refinerías Solvente 1 y Solvente 3; en el noroeste se producía Hexano a partir del condensado.

Entre las características especiales de estos solventes se reportan el Número de Bromo, Valor Kauri Butanol y Punto de Anilina

El Número de Bromo determina el porcentaje de olefinas en las fracciones ligeras de hidrocarburos, lo que las relaciona con la profundidad de la pirolisis que han sufrido y su estabilidad.

El Valor Kauri Butanol es una medida del poder disolvente de los adelgazantes derivados del petróleo. Se mide como la cantidad en mililitros de los adelgazantes que se requiere para causar turbidez en una solución de Kauri Butanol (1.5 por peso). Se determina por la prueba ASTM D 1133, Standard Test Method for Kauri Metanol Value of Hydrocarbons Solvents

El Punto de Anilina, define el poder disolvente sobre los sellos, guarda estrecha relación con el hinchamiento de los cauchos sintéticos y materiales de revestimiento; si es muy alto causa reblandecimiento o hinchamiento del material, si es bajo causa endurecimiento del material afectado

TABLA D.3.2

SOLVENTE 1

Solvente ligero de uso general

Propiedades	Especificación		ASTM
	Mínimo	Máximo	
Apariencia			
Color Saybolt	+25		D 156
Volatilidad			
Gravedad API	Reportar		D 1298
Presión de Vapor a 37.8°C, KPa (psi)		69 (10)	D 323
Destilación °C		D 86	
Punto Inicial	37.8		
10% Recuperado		70	
50% Recuperado		100	
90% Recuperado		125	
Punto Final		154	
Composición			
Azufre total, ppm como S		500	D 1266
Mercaptanos, mg / 100 ml, como S		1.0	D 3227
Prueba Doctor	Negativa		D 235
Numero de Bromo		1.0	D 1159
Valor Kauri-Butanol	30		D 1133
Corrosion			
Lamina de Cu, 2 hrs a 100° C		1	D 130
Contaminantes			
Goma existente, mg / 100ml		1.0	

Fuente: NTP 321.011

TABLA D.3.3

SOLVENTE 3

Solvente medio de uso general

Propiedades	Especificación		ASTM
	Mínimo	Máximo	
Apariencia			
Color	21		D 156
Volatilidad			
Gravedad Especifica a 15.6° C	Reportar		
Punto de Inflamación TAG, °C	37.8		D 56
Destilación, ° C			
Punto Inicial	149		
10% Recuperado	Reportar		
50% Recuperado		177	
90% Recuperado		190	
Punto Final		210	
Composición			
Azufre total, % masa		0.1	D 4294
Prueba Doctor	Negativa		D 235
Valor Kauri-Butanol	31		D 1133
Corrosión			
Lamina Cu, 2 hrs a 100° C		1	
Contaminantes			
Acidez del residuo de destilación	Pasa		D 1093C

Fuente: NTP 321.011

D.3.2 SOLVENTES ESPECIALES

Dentro de esta categoría se comercializaba el Hexano, con las siguientes especificaciones:

TABLA D.3.4
ESPECIFICACIONES DE HEXANO

Propiedades	Especificaciones		ASTM
	Mínimo	Máximo	
Presión de vapor Kg / cm ² (psi) a 100° F		0.42 (6.0)	D 323
Gravedad específica 15°C (60°F)	Reportar		D 1298
Color Saybolt	+ 25		D 156
Rango de Destilación °C (°F)			
Punto Inicial	60 (140)		D 1078
Punto seco		71 (160)	D 1078
Contenido de no volátiles mg / 100 ml		1.0	D 1353
Azufre ppm		30	D 1266
Numero de Bromo		1.0	D 1159
Valor Kauri-Butanol	30		D 1133
Punto de Anilina °C (°F)		60 (140)	D 611
Acidez de Residuo de destilado	Pasa		D 1093

Fuente: NTP 321.009

Los hidrocarburos que están dentro de ese rango de destilación son:

TABLA D.3.5

CARACTERISTICAS DE HIDROCARBUROS CERCANOS AL HEXANO

Componente	Punto de ebullicion	
	° F	° C
2 Methyl pentano	140.44	60.24
3 Methyl pentano	145.86	63.25
n Hexano	155.69	68.72
Methyl ciclo pentano	161.29	71.82

Fuente: Elaboración propia

ANEXO E

PRODUCTOS ESPECIALES

Debido a la necesidad de encontrar un mercado para la producción de líquidos del gas natural se han desarrollado y aceptado para su comercialización, productos especiales dentro del ramo de insumos o combustibles, estos son:

TABLA E.1

PRODUCTOS ESPECIALES DERIVADOS DE LGN

	HAL*	NAFTOIL	HAS*
Categoría	Insumo químico	Combustible Residual	Insumo químico
RVP	12	4.0 (min.)	8.1
ASTM D 86 °C			
IBP		85	46
Recuperado 5%		108 (máx.)	
Recuperado 10%		115	
Recuperado 20%		122	
Recuperado 50%		133	78
Recuperado 75%	60		
Recuperado 90%		153 (max)	
Recuperado 95%		160	
Recuperado 96%	135		
FBP		178	172
API		62.0 (max)	74.5

Fuente: Indecopi

*Típico

ANEXO F

MERCADO NACIONAL DE GASOLINA

GASOLINA MOTOR – GALONES POR DIA

84 RON vs 90 RON

JULIO 2010

TABLA F.1

Región	Gasolina 84 RON	Gasolina 90 RON
MAYOR USO DE GASOLINA 84		
Amazonas	5,872	2,002
Apurímac	4,051	1,900
Arequipa	63,175	32,061
Ayacucho	11,044	7,667
Cajamarca	16,742	7,726
Cusco	42,277	9,094
La Libertad	43,998	22,278
Lambayeque	35,508	9,955
Loreto	62,061	4,414
Madre de Dios	20,601	4,414
Moquegua	5,041	1,548
Piura	39,352	27,491
Puno	27,264	1,612
San Martín	25,086	7,744
Tacna	10,408	4,522
Tumbes	3,377	929
Ucayali	29,885	24,485
Sub total	476,998	182,974

	MAYOR USO DE GASOLINA 90	
Huancavelica	810	1,442
Ica	1,885	22,167
Junin	19,512	22,389
Lima	84,869	301,240
Pasco	3,161	3,663
Sub Total	110,237	350,901
Gran Total	587,235	533,875

Fuente: OSINERGMIN

Es notoria la preferencia de las regiones del interior por la gasolina de 84 RON, especialmente en las regiones altas del país, excepto Huancavelica, Junin y Pasco

ANEXO G

DESPOJADORES

La utilización de despojadores permitiría corregir algunas diferencias pequeñas que se tiene, con las especificaciones, en los productos resultados de los procesos descritos. Esto es más práctico en los casos en los que se utiliza un solo Fraccionador. Sin embargo, debe tomarse en cuenta si el producto del despojador puede ser reciclado o tendría que enviarse a quemadores. El caso que se presenta es un ejemplo de ello a utilizarse cuando el caso lo amerite.

G.1 Corrección del Punto de Encendido (Flash Point) en el diesel

El diesel que se produce en el Caso 40/60 tiene un Punto de encendido de 20°C la utilización de un Despojador permitiría corregir ese aspecto.

El producto de fondo del Fraccionador se envía a un Despojador (Stripper), del cual el producto de tope se reintroduce al Fraccionador por debajo del plato de carga y el producto de fondo, el Diesel, tendría un recuperado a 10% de la destilación ASTM 86 suficiente para lograr una temperatura del Punto de Encendido dentro de las especificaciones del Diesel 1.

Los rendimientos serían

Gasolina	43.2%
Diesel	56.8%
Total	100%

TABLA G.1
CARACTERIZACION DE LOS PRODUCTOS
DE LOS DESPOJADORES
Destilación ASTM D 86 °C

Recuperado	Gasolina	Reciclo	Diesel
IBP	60.5	101.8	128.4
5%	62.5	102.4	130.9
10%	64.7	103.2	133.6
30%	72.3	106.7	143.5
50%	77.7	109.4	158.3
70%	83.3	113.3	180.7
90%	91.9	118.6	254.2
95%	98.4	121.2	270.4
98%	102.4	128.8	280.9
API	65.6	59.3	50.2
Flash Point			24.2
cSt			0.2245

Fuente: Elaboración propia

TABLA G.2
CONDICIONES DE OPERACIÓN
DESPOJADORES

	Fraccionador	Despojador
Presión	50 psig	48 psig
Condensador	128.8°C	170.3°C
Tope	136.6°C	172.3°C
Fondo	200.0°C	215.0°C

Fuente: Elaboración propia

ANEXO H

MEZCLAS DE DIESEL

Los destilados medios que se obtienen cuando se realiza únicamente la destilación en un Fraccionador de Líquidos del Gas Natural son livianos; su Punto de Encendido (Flash Point) es menor que el mínimo requerido por la norma de Diesel 1. Una solución es mezclarlo con Diesel 2 en porcentaje suficiente para que el 10% recuperado de la destilación ASTM D 86 se obtenga a una temperatura mayor o igual a 153.8°C.

FIN