

**EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LA PUESTA EN SERVICIO DEL
PROYECTO DE MEZCLADO PARA GASOLINAS Y COMBUSTÓLEOS EN
LA GERENCIA COMPLEJO BARRANCABERMEJA.**

GLEIDY VALBUENA MORENO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA
2005**

**EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LA PUESTA EN SERVICIO DEL
PROYECTO DE MEZCLADO PARA GASOLINAS Y COMBUSTÓLEOS EN
LA GERENCIA COMPLEJO BARRANCABERMEJA.**

GLEIDY VALBUENA MORENO

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al
Titulo de Ingeniero Químico**

**Director.
Ph. D. Humberto Escalante Hernández
Ingeniero Químico.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA
2005**

DEDICATORIA

A DIOS, por el entendimiento y la vida.

A mi Madre, por su colaboración y principalmente por ser el motor de mi vida.

A mi hermano, por brindarme siempre una voz de aliento.

A Edwin, un gran soporte en esta etapa de mi vida.

A mis amigos, por su apoyo y compañía.

AGRADECIMIENTOS

A Humberto Escalante director del proyecto y amigo, por su valiosa y oportuna colaboración.

A Ernesto Gómez Cabarcas, por compartirme su conocimiento y brindarme el respaldo necesario para llevar a cabo este trabajo.

A ECOPETROL S.A, por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo.

CONTENIDO

Pág.

<u>INTRODUCCIÓN</u>	1
<u>1. CONCEPTOS TEÓRICOS</u>	3
1.1 PREPARACIÓN DE COMBUSTIBLES EN LA GCB ANTES DE LAS UCM	3
1.2 DESCRIPCIÓN DE LA PREPARACIÓN DE GASOLINAS ANTES DE LA UCM	5
1.2.1 COMPONENTES PARA LA MEZCLA	6
1.2.2 ESPECIFICACIONES GASOLINAS REGULAR Y EXTRA	6
1.3 DESCRIPCIÓN DE LA PREPARACIÓN DE COMBUSTÓLEOS ANTES DE LA UCM.	9
1.3.1 COMPONENTES PARA LA MEZCLA	10
1.3.2 ESPECIFICACIÓN COMBUSTÓLEO LIVIANO Y PESADO	11
1.4 DESVENTAJAS EN LAS PREPARACIONES DE COMBUSTIBLES EN LA GCB ANTES DE LAS UCM.	12
1.5 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS UNIDADES DE CONTROL DE MEZCLA (UCM).	13
1.5.1 SOFTWARE PARA EL CONTROL DE LA MEZCLA.....	15
1.6 UNIDAD DE CONTROL DE MEZCLA PARA GASOLINA	15
1.6.1 DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD DE MEZCLA:	15
1.7 UNIDAD DE CONTROL DE MEZCLA PARA COMBUSTÓLEO	18
<u>2. DESARROLLO EXPERIMENTAL</u>	21
2.1 EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE LAS UCM	22
2.1.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS UNIDADES DE CONTROL DE MEZCLA	22
2.1.2 CÁLCULO DE LOS PERFILES HIDRÁULICOS	22
2.1.3 CURVAS DE OPERACIÓN DE LAS UCM	25

2.2 REALIZACIÓN PROTOCOLOS DE MEZCLA.....	29
2.3 SEGUIMIENTO DE LA PUESTA EN SERVICIO DE LOS UCM.	30
2.4 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS UNIDADES DE CONTROL DE MEZCLA.....	31
2.4.1 COSTO OPERACIÓN DE EQUIPOS	32
2.4.2 COSTOS POR REPROCESOS:	34
2.4.3 COSTOS POR EXCEDENTES EN CALIDAD	34
<u>3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</u>	<u>37</u>
3.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS UNIDADES DE MEZCLA.....	37
3.1.1 RANGOS DE TRABAJO DE LAS BOMBAS.....	37
3.2 SIMULACIÓN DE LOS PERFILES DE PRESIÓN.....	38
3.2.1 UNIDAD DE CONTROL DE MEZCLA PARA GASOLINA.....	38
3.2.2 UNIDAD DE CONTROL DE MEZCLA PARA COMBUSTÓLEO	40
3.3 PROTOCOLOS DE MEZCLA PARA LA UCM DE GASOLINA.....	41
3.4 PUESTA EN SERVICIO DE LAS UCM DE GASOLINA Y COMBUSTÓLEO.....	43
3.4.1 UNIDAD DE MEZCLA PARA GASOLINA	43
3.4.2 UNIDAD DE MEZCLA PARA COMBUSTÓLEO LIVIANO Y PESADO:	47
3.5 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS UCM.....	54
3.5.1 BENEFICIOS DE LAS UNIDADES DE CONTROL DE MEZCLA	55
<u>4. CONCLUSIONES.....</u>	<u>58</u>
<u>5. RECOMENDACIONES.....</u>	<u>60</u>
<u>6. BIBLIOGRAFÍA.....</u>	<u>61</u>
<u>ANEXOS.....</u>	<u>62</u>

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Componentes para las preparaciones de Gasolina.	6
Tabla 2. Especificaciones Gasolina Regular	8
Tabla 3. Especificaciones Gasolina Extra	9
Tabla 4. Componentes para las preparaciones de Combustóleos.....	10
Tabla 5. Especificación Combustóleo Pesado.....	11
Tabla 6. Especificación Combustóleo Liviano.....	11
Tabla 7. Información tanques de componentes para gasolina.....	17
Tabla 8. Información tanques de gasolina como producto.....	17
Tabla 9. Información bombas de la UCM de gasolina.	18
Tabla 10. Información tanques de componentes para combustóleo.....	19
Tabla 11. Información tanques de almacenamiento de Combustóleo	19
Tabla 12. Información bombas de la UCM de Combustóleo.....	19
Tabla 13. Flujos de diseño UCM de Gasolina.....	27
Tabla 14. Logística de trabajo de la UCM de Combustóleo.....	27
Tabla 15. Flujos de Diseño de la UCM de Combustóleo	28
Tabla 16. Costo Kw/h para ECOPETROL S.A.....	33
Tabla 17. Información preparaciones Gasolina Regular 2003-2004	33
Tabla 18. Información preparaciones Combustóleo Liviano 2003-2004	34
Tabla 19. Información preparaciones Combustóleo Pesado 2003-2004	34
Tabla 20. Costo Análisis de laboratorio para Visto Bueno	34
Tabla 21. Flujos de trabajo de las bombas de las UCM.....	37
Tabla 22. Presión de cada componente a la entrada del cabezal de Gasolina	38
Tabla 23. Flujos máximos de Operación para las UCM de Combustóleo	40
Tabla 24. Presión de cada componente en la entrada el cabezal de combustóleo.....	41
Tabla 25. Modelos matemáticos de las propiedades de la Gasolina	42
Tabla 26. Resultados de la operación de la UCM de Gasolina Regular.	43
Tabla 27. Preparaciones de Gasolina durante el 2003, 2004 y UCM	45

Tabla 28. Presión de operación de la UCM de Combustóleo	48
Tabla 29. Resultados de la operación de la UCM de Combustóleo Liviano	48
Tabla 30. Resultados de la operación de la UCM de Combustóleo Pesado.....	49
Tabla 31. Flujo de trabajo de las bombas de la UCM de Combustóleo	50
Tabla 32. Preparaciones de Combustóleo 2003, 2004 y UCM	50
Tabla 33. Ganancias UCM de Gasolina Regular primer trimestre 2005	56
Tabla 34. Ganancia UCM de Combustóleo Liviano primer trimestre 2005	57
Tabla 35. Ganancia UCM de Combustóleo Pesado primer trimestre 2005	57
Tabla 36. Perfiles de Presión en la sección de mezcla UCM de Gasolina.....	62
Tabla 37. Perfiles de Presión en la unidad de mezcla de Combustóleo Liviano	66
Tabla 38. Perfiles de Presión en la UCM de Combustóleo Pesado	68
Tabla 39. Propiedades de las preparaciones de Gasolina Regular	77
Tabla 40. Propiedades Combustóleo Liviano	78
Tabla 41. Propiedades Combustóleo Pesado.....	79
Tabla 42. Dinero por Percibir en Gasolina Regular.....	80
Tabla 43. Dinero por Percibir en Combustóleo Liviano.....	80
Tabla 44. Dinero por Percibir en Combustóleo Pesado.	81

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Esquema de la preparación de combustibles antes de las UCM.....	3
Figura 2. Metodología de la preparación de combustibles antes de las UCM.	4
Figura 3. Esquema de preparación de Gasolina antes de la UCM.	5
Figura 4. Esquema de preparación de Combustóleo antes del UCM	10
Figura 5. Sistema de control de Mezcla para Gasolina.....	16
Figura 6. Sistema de Control de Mezcla para Combustóleo	20
Figura 7. Etapas del desarrollo experimental.....	21
Figura 8. Secciones de la unidad de mezclado.....	23
Figura 9. Parámetro a evaluar en las UCM.....	24
Figura 10. Curvas de operación de las bombas y presión de la UCM	25
Figura 11. Excedente en calidad del Índice Antidetonante Gasolina Regular...	45
Figura 12. Excedentes en calidad del RVP para Gasolina Regular	46
Figura 13. Porcentaje de reprocesos para Gasolina Regular	46
Figura 14. Excedente en calidad de Viscosidad para Combustóleo Liviano....	51
Figura 15. Excedente en calidad de Viscosidad Combustóleo pesado.....	51
Figura 16. Excedente en calidad de Azufre Combustóleo Liviano	52
Figura 17. Excedentes en calidad de Azufre para Combustóleo Pesado	52
Figura 18. Dinero por percibir por un millón de barriles en Gasolina Regular...	54
Figura 19. Dinero por percibir por un millón de Barriles en Combustóleo Liviano.	55
Figura 20. Dinero por percibir por un millón de Barriles en Combustóleo Liviano.	55
Figura 21. Curva de presión para el sistema Nafta Virgen	70
Figura 22. Curvas de Presión para el sistema de Nafta Craqueada	70
Figura 23. Curvas de Presión para el sistema de Nafta de Aromáticos.....	71
Figura 24. Curvas de Presión para el sistema de Nafta de Pozos Colorados ..	71
Figura 25. Curvas de Presión para el sistema Nafta de Cartagena	72
Figura 26. Curvas de Presión para el sistema Aromezclados	72

Figura 27. Curvas de Presión para Combustóleo Base I	73
Figura 28. Curvas de Presión para Combustóleo Base II	73
Figura 29. Curvas de Presión para ALC	74
Figura 30. Curvas de Presión para Combustóleo Base I	75
Figura 31. Curvas de Presión para el sistema de Combustóleo Base II	75
Figura 32. Curvas de Presión para el sistema de ALC	76

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1. Perfiles de Presión de la UCM de Gasolina	62
ANEXO 2. Perfiles de Presión de la UCM de Combustóleo.	66
ANEXO 3. Curvas de presión de la UCM de Gasolina	70
ANEXO 4. Curvas de Presión de la UCM de Combustóleo Liviano.....	73
ANEXO 5. Curvas de Presión de la UCM de Combustóleo Pesado	75
ANEXO 6. Propiedades y reprocesos en las preparaciones de Gasolina y Combustóleo.....	77
ANEXO 7. Resultados económicos para Gasolina Regular y Combustóleos. ...	80
ANEXO 8. Protocolos de mezcla para Gasolina Regular.	82

RESUMEN

TÍTULO: EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LA PUESTA EN SERVICIO DEL PROYECTO DE MEZCLADO PARA GASOLINAS Y COMBUSTÓLEOS EN LA GERENCIA COMPLEJO BARRANCABERMEJA*

AUTOR: VALBUENA MORENO GLEIDY**

PALABRAS CLAVES: Control de mezcla, Combustóleo, excedentes de calidad, Gasolina, reprocesos.

DESCRIPCIÓN:

El proceso de mezclado de diferentes componentes provenientes de las plantas de proceso para producir combustibles como: gasolinas y combustóleos, era realizado en ECOPETROL S.A en forma manual, realizando las mediciones de volumen de una forma muy poco exacta y sin tener un control de las propiedades del producto durante la mezcla; presentándose altos excedentes de calidad en los combustibles. Con el objetivo de producir automáticamente mezclas, cumpliendo con las especificaciones y maximizando los beneficios; ECOPETROL S.A, implementó dos unidades de control de mezclas (UCM) para las preparaciones de Gasolinas y Combustóleos.

El objetivo de este trabajo es realizar una evaluación hidráulica del las nuevas Unidades de Control de Mezcla existente en Gerencia Complejo Barrancabermeja, la cual incluye revisar las capacidades y funcionamiento de las líneas, y de los accesorios como bombas, válvulas de control y medidores de flujo; y así, garantizar el buen funcionamiento para la puesta en operación de los mezcladores.

Como resultado de la puesta en operación de las Unidades de Control de Mezcla, se logró realizar un control en los excedentes de calidad en índice antidetonante para gasolinas y en viscosidad para combustóleos, además de controlar el número de reprocesos de las preparaciones, incrementando los beneficios económicos y trabajando con un sistema de mezcla de combustibles automático para gasolina regular y semi-automático para Combustóleos.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ing. Físico-Químicas, Escuela de Ing. Química, Humberto Escalante Hernández

ABSTRACT

TITLE: EVALUATION AND PURSUIT OF THE SETTING IN SERVICE OF THE PROJECT OF BLENDING FOR GASOLINES AND FUELS OIL IN THE MANAGEMENT COMPLEX BARRANCABERMEJA *

AUTHOR: VALBUENA MORENO GLEIDY**

KEY WORDS: Mixture control, Fuel-oil, surpluses of quality, Gasoline, reprocesses.

DESCRIPTION:

The process of blending of different components coming from the process plants to produce fuels as: gasolines and fuel oils were carried out in ECOPETROL S.A by hand, measuring volume inexactly and without any control of the properties of the product during the mixture; having high surpluses of quality in the fuels. With the objective of to produce automatic mixture, fulfilling whit the specifications and maximized the benefices; ECOPETROL S.A, implemented two unities of mixture control for the preparations of Gasolines and Fuel oils.

The objective of this work is to carry out a hydraulic evaluation of the new unities of mixture control (UCM) existing in ECOPETROL, which includes to check the capacities and operation of the lines, and of the accessories as bombs, control valves and flow meters, to guarantee a good operation for the setting of the mixers.

As a result of the setting in operation of the UCM, it was possible to carry out a control in the surpluses of quality of the fuels and in the preparation reprocesses number, increasing the economic benefits and working with a system of mixture of automatic fuels for regular gasoline and semiautomatic for Fuel oils.

* Work of degree

** Faculty of Physicochemical engineerings. School of Chemical engineering, Humberto Escalante Hernández

INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de combustibles ha generado la necesidad de optimizar y automatizar el proceso de mezclado; esto obliga a la industria petrolera a buscar nuevas alternativas para realizar la mezcla de los diferentes componentes, en forma automática, con control de flujo, y cumpliendo con las especificaciones existentes en el país relacionadas a combustibles.

Con el objetivo de producir automáticamente mezclas, cumpliendo con las especificaciones y maximizando los beneficios; ECOPETROL S.A, en 1998, implementó dos unidades de control de mezclas (UCM) para las preparaciones de Gasolinas (Extra y Regular) y Combustóleos (Liviano y Pesado) en la Gerencia Complejo Barrancabermeja (GCB). Estas unidades de control de mezcla, no se han puesto en operación debido a diferentes inconvenientes para la implementación y montaje de software y equipos.

En este trabajo se realizó una evaluación hidráulica de las UCM, iniciando con el reconocimiento de cada una de las unidades, recopilando la información de las condiciones de diseño, variables de operación y finalmente verificando el buen funcionamiento hidráulico de estas, para iniciar su operación en ECOPETROL S.A. Después de verificar el buen funcionamiento hidráulico de las UCM, se realizaron diferentes protocolos de mezclas (relaciones volumétricas de cada componente para la mezcla), para la operación de las UCM de Gasolina Regular y Combustóleo Liviano y Pesado.

Finalmente se calcularon los beneficios económicos y de proceso, obtenidos con la puesta en operación de las UCM para gasolina Regular, Combustóleo Liviano y Pesado en la Gerencia Complejo Barrancabermeja.

Los resultados obtenidos a partir de la evaluación hidráulica mostraron que las UCM cumplían con los requerimientos en flujos y dimensiones para su

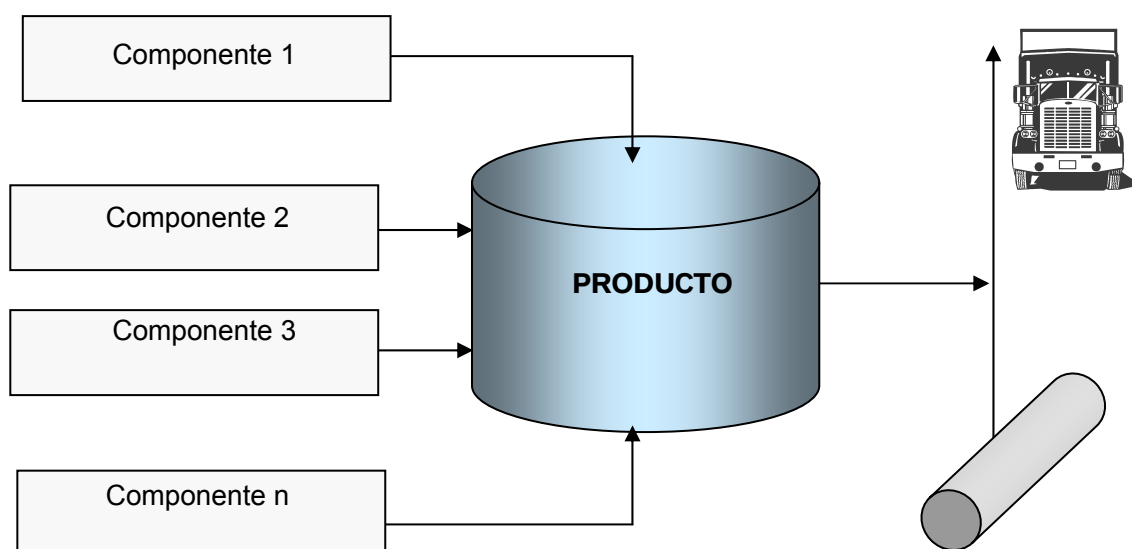
completa operabilidad, además mediante la operación de las UCM, se logró realizar un control en los excedentes de calidad y aumentar los beneficios económicos para la empresa.

1. CONCEPTOS TEÓRICOS

En esta sección se presentan los diferentes conceptos teóricos necesarios para el desarrollo de este trabajo. Se describe la metodología para producir los combustibles antes y después de la implementación de las unidades de control de mezcla (UCM). Además se explica y se caracteriza el funcionamiento y montaje de las UCM para gasolinas y combustóleos.

1.1 PREPARACIÓN DE COMBUSTIBLES EN LA GCB ANTES DE LAS UCM¹.

Figura 1. Esquema de la preparación de combustibles antes de las UCM.



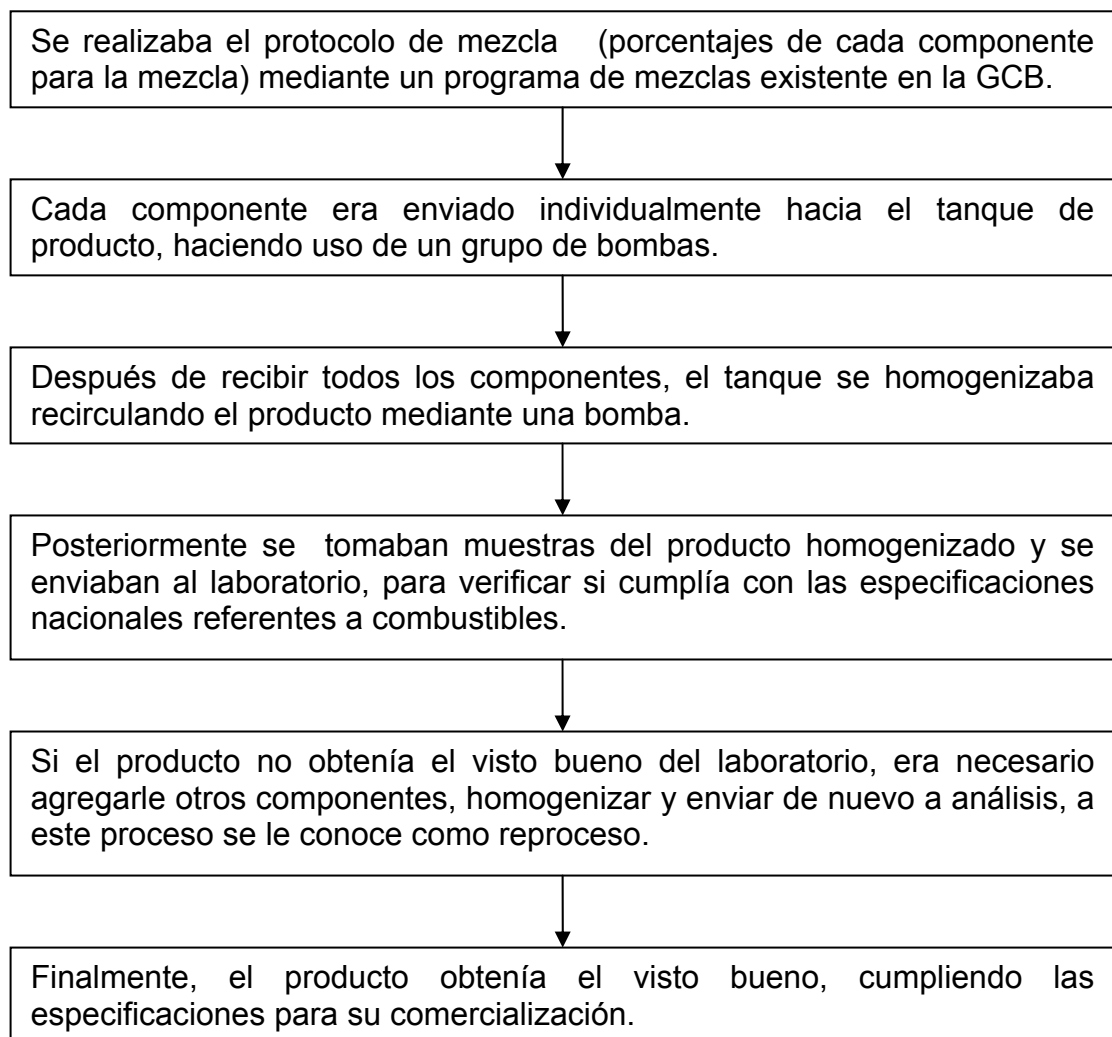
Antes de implementar las unidades de control de mezcla (UCM) en la GCB, los combustibles como las Gasolinas y Combustóleos, eran preparados mediante un proceso de mezclado en forma manual (apertura y cierre de válvulas,

¹ MORALES, E. Informe de entrenamiento departamento Materias Primas. 1998

encendido de bombas y la medición de volúmenes), observar figura 1. Esta preparación se realizaba a partir de diferentes componentes provenientes de las plantas de proceso, los cuales eran almacenados en sus respectivos tanques. La mezcla se realizaba en un tanque de mayor capacidad, en el cual se recibía un volumen determinado de cada componente para su posterior mezclado.

En la figura 2, se presenta un diagrama de la metodología de las preparaciones de combustóleos antes de la puesta en operación de las UCM.

Figura 2. Metodología de la preparación de combustibles antes de las UCM.

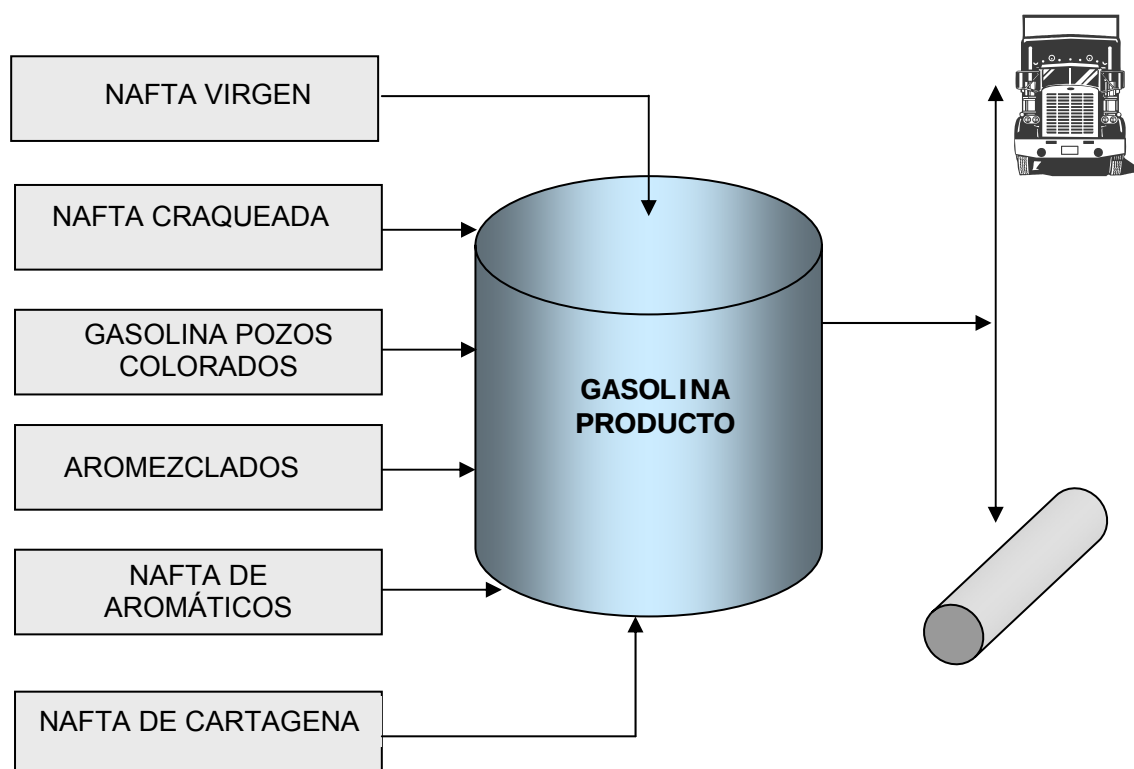


1.2 DESCRIPCIÓN DE LA PREPARACIÓN DE GASOLINAS ANTES DE LA UCM.

La gasolina es una mezcla compleja donde puede existir de 200 a 300 hidrocarburos distintos, formada por fracciones combustibles provenientes de diferentes procesos de refinación del petróleo.

En la figura 3, se esquematiza el sistema de mezclado para gasolina antes la UCM, donde los diferentes componentes se mezclaban de tal forma que el producto final cumpliera con un índice antidetonante (IA) de 81 octanos como mínimo para gasolina regular y 87 octanos como mínimo para gasolina extra. El índice es una medida de la capacidad antidetonante de la gasolina y es la principal característica que identifica el comportamiento de la combustión dentro del motor. Los medios de transporte de este producto son por carro tanques y por oleoducto.

Figura 3. Esquema de preparación de Gasolina antes de la UCM.



1.2.1 Componentes para la mezcla: A continuación, tabla 1, se realiza una descripción de los diferentes componentes disponibles en la GCB, para la preparación de Gasolinas:

Tabla 1. Componentes para las preparaciones de Gasolina.

COMPONENTE	CARACTERÍSTICAS	IA	RVP
		(Octanos)	(Psia)
Nafta Virgen	Producto del corte superior de las torres de destilación atmosférica,	60 - 65	9 – 9.5
Nafta Craqueada	Producto resultante del craqueo catalítico.	86 - 88	7 - 8
Aromatizados	Mezcla de remanentes de la planta de aromáticos: Xileno, tolueno, platformado y virginol.	90 - 98	4 - 5
Nafta de Aromáticos	Nafta proveniente de la planta de aromáticos.	70 - 75	6 - 7
Gasolina Pozos Colorados	Gasolina importada por la empresa y destinada principalmente a la producción de gasolina extra.	85 - 87	7.5 – 8
Nafta Virgen de Cartagena	Nafta proveniente de Cartagena con alto contenido de azufre (1.0 % w/w).	60 – 65	8 - 9

SIO: Sistema de información de ECOPETROL S.A.

1.2.2 Especificaciones Gasolinas Regular y Extra: En las tablas 2 y 3 se presenta la norma existente en el país relacionada a la calidad de combustibles: la ASTM 4814 / NTC 1380 (Norma Técnica Colombiana) / Resolución 1565 de Diciembre 27 de 2004, para gasolina regular y extra respectivamente.

Las gasolinas presentan las siguientes cuatro propiedades principales:

- **Octanaje:** Es la medida en las gasolinas de su calidad antidetonante, es decir, su habilidad para quemarse sin causar detonación en los motores de los automóviles. Para medir esta propiedad se utiliza el Número de Octano en Motor (MON) y el Número de Octano investigación (RON). El MON es tomado normalmente como una indicación de la habilidad del combustible para prevenir la detonación en motores de altas velocidades, mientras el RON mide la tendencia de detonación a bajas velocidades. El índice antidetonante (IA) es el que muestra realmente como se comporta el combustible en el motor de un automóvil, en cuanto a sus características de detonación, se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$IA = \frac{RON + MON}{2} \quad (1)$$

- **Curva de destilación:** Esta propiedad se relaciona con la composición de la gasolina, su volatilidad y su presión de vapor. Indica la temperatura a la cual se evapora un porcentaje determinado de gasolina, tomando una muestra de referencia.

Según las normas establecidas para este producto, se considera que a un 10% de destilación, con una temperatura de ebullición inferior a 70 °C, se asegura la presencia de componentes volátiles para un fácil arranque en frío. A un 50% de destilación, con una temperatura de ebullición inferior a 140 °C, se asegura una volatilidad correcta y una máxima potencia durante la aceleración del motor. A un 90% y al punto final de destilación, con una temperatura de ebullición inferior a 190 °C y 225 °C respectivamente, se evitan tanto depósitos en el motor como dilución del aceite y se proporciona un buen rendimiento del combustible.²

² Disponible en Internet: <http://www.recope.go.cr/esp/prod-tecn.htm>

- **Presión de Vapor (RVP):** Registra en forma indirecta el contenido de los componentes volátiles que condicionan la seguridad del producto durante su transporte. Es además una propiedad que debe tomarse en consideración en conjunto con las características del ambiente de altura, temperatura y humedad, para el almacenamiento del producto.
- **Contenido de Azufre:** Se relaciona con la cantidad de azufre presente en el producto. Si esta cantidad sobrepasa la norma establecida, la gasolina puede tener efectos corrosivos sobre las partes metálicas del motor y de los tubos de escape o muflas.

Tabla 2. Especificaciones Gasolina Regular ³

Características	Unidades	Gasolina Regular	
		Mínimo	máximo
Azufre	g /100 g		0,10
Corrosión al Cobre, 3 h a 50 °C	Clasificación		1 (2)
Destilación	°C		
10% volumen evaporado			70
50% volumen evaporado		77	121
90% volumen evaporado			190
Punto Final de Ebullición			225
Estabilidad a la oxidación ASTM D-525	minutos	240	
Contenido de Gomas	mg/100 mL		5
Índice de Cierre de Vapor, ICV	kPa		98
Índice antidetonante, (RON+MON)/2	octanos	81	
Presión de Vapor RVP	kPa (psi)		58 (8.5)
Benceno	ml/100 mL		1,0
Aromáticos	mL/100 mL		28

ASTM 4814 / NTC 1380 (Norma Técnica Colombiana) / Resolución 1565 de Diciembre 27 de 2004.

³ Disponible en Internet: <http://www.ecopetrol.com.co/especialidades/catálogos>

Tabla 3. Especificaciones Gasolina Extra

Características	Unidades	Gasolina Extra	
		Mínimo	máximo
Azufre	g /100 g		0,1
Corrosión al Cobre, 3 h a 50 °C	Clasificación		1
Destilación	°C		
10% volumen evaporado			70
50% volumen evaporado		77	121
90% volumen evaporado			190
Punto Final de Ebullición			225
Estabilidad a la oxidación ASTM D-525	minutos	240	
Contenido de Gomas	mg/100 mL		5
Índice de Cierre de Vapor, ICV	kPa		98
Índice antidetonante, (RON+MON)/2	octanos	87	
Presión de Vapor RVP	kPa (psi)		58 (8.5)
Benceno	mL/100 mL		2,0
Aromáticos	mL/100 mL		35

ASTM 4814 / NTC 1380 (Norma Técnica Colombiana) / Resolución 1565 de Diciembre 27 de 2004.

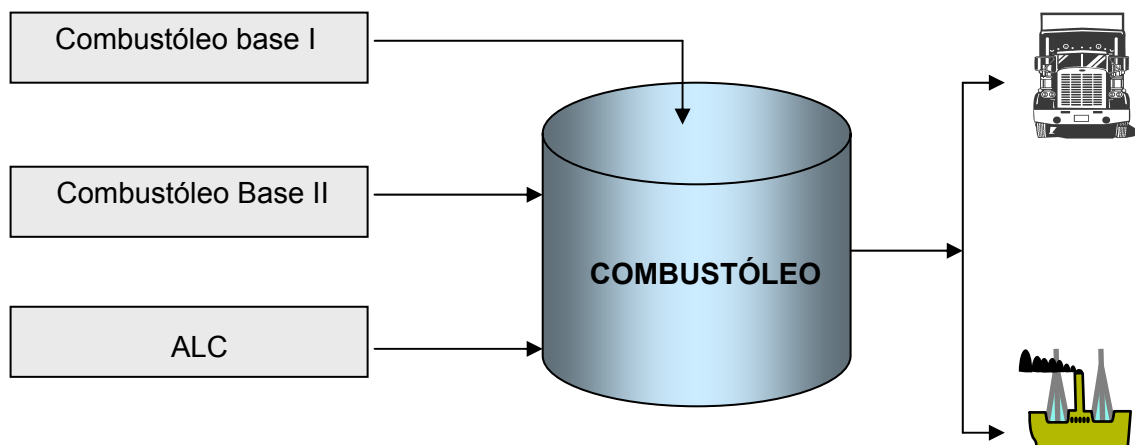
1.3 DESCRIPCIÓN DE LA PREPARACIÓN DE COMBUSTÓLEOS ANTES DE LA UCM.

El Combustóleo es un combustible residual de la refinación del petróleo que comprende todos los productos pesados obtenidos de procesos de destilación y craqueo. Es un aceite altamente viscoso, empleado principalmente en calderas, plantas de generación eléctrica y motores para navegación, y se divide en combustóleo pesado, liviano e intermedio.

Los componentes se mezclan de tal forma que el producto final tenga una viscosidad entre 300 -330 SSF (Seconds Saybol Furol) para combustóleo pesado y entre 45-50 SSF para combustóleo liviano. La viscosidad es la medida característica de este producto, además del contenido de azufre que debe ser como máximo 1.7 % w/w. Los medios de transporte de este producto

son: por carrotanques, botes y Oleoducto. En la siguiente figura 4 se presenta el esquema de mezcla de combustóleos.

Figura 4. Esquema de preparación de Combustóleo antes del UCM



1.3.1 Componentes para la mezcla: En la tabla 4, se realiza una descripción de todos los componentes utilizados para las preparaciones de Combustóleos.

Tabla 4. Componentes para las preparaciones de Combustóleos

COMPONENTES	CARACTERÍSTICAS	VISCOSIDAD
		(SSF)
Combustóleo Base I	Producto de fondo de las unidades de ruptura catalítica, conocido con el nombre de Slurry.	21 - 30
Combustóleo Base II	Componente de alta viscosidad, proveniente de la planta de Viscorreducción y de las unidades de desparafinado.	500-600
Aceite Liviano de Ciclo (ALC)	Producto de las unidades de ruptura catalítica, de baja viscosidad.	3 – 4

SIO: Sistema de información de ECOPETROL S.A.

1.3.2 Especificación Combustóleo Liviano y Pesado: Estos productos se preparan teniendo como referencia la norma ASTM D 396. En las tablas 3 y 4 se presenta la especificación para el combustóleo pesado y liviano respectivamente.

- **Viscosidad:** Es una de las propiedades físicas que tiene mayor importancia en la utilización del producto. La viscosidad debe estar acorde a las especificaciones de los equipos, en los que respecta a bombas, filtros y características de los quemadores.

- **Temperatura de Inflamación:** Es fijada como un parámetro de seguridad. Tiene especial importancia en el manejo y almacenamiento del producto.

Tabla 5. Especificación Combustóleo Pesado.

Características	Unidades	Mínimo	máximo
Agua y Sedimento	mL/100 mL		2
Densidad 15°C	kg/m ³	Reportar	
Azufre Total	g / 100 g		1,7
Viscosidad Cinemática a 50 °C	SSF ⁴	280	300
Punto de Fluidez	° C		15
Punto de inflamación	° C	60	

Norma ASTM D 396

Tabla 6. Especificación Combustóleo Liviano.

Características	Unidades	Mínimo	máximo
Agua y Sedimento	mL/100 mL		2
Densidad 15°C	kg/m ³	Reportar	
Azufre Total	g / 100 g		1,7
Viscosidad Cinemática a 50 °C	SSF	45	50
Punto de Fluidez	° C		15
Punto de inflamación	° C	60	

Norma ASTM D 396

⁴ Seconds Saybolt Furol. Unidades de viscosidad

1.4 DESVENTAJAS EN LAS PREPARACIONES DE COMBUSTIBLES EN LA GCB ANTES DE LAS UCM.

Las principales desventajas existentes en el método de preparación de combustibles en la GCB, son las siguientes:

- Altos tiempos de preparación: la causa principal de esta desventaja, es la entrega de los componentes al tanque de mezcla en forma no simultánea. Para combustóleo el tiempo de preparación de 100.000 barriles era de 30 a 40 horas y para gasolinas de 22 horas. Además se tenía un tiempo adicional para homogenizar el producto, el cual era de 8 a 12 horas para los combustóleos y de 6 horas para las gasolinas.
- Alto porcentaje de reprocesos en las preparaciones de combustóleo: Todas las preparaciones de Combustóleo liviano y pesado presentaban de dos a tres reprocesos. Esto se debe principalmente a la variación en las propiedades de los componentes durante el tiempo de la preparación, además de la falta de exactitud del programa de mezclas, en el cual se realiza el protocolo de mezcla.
- Pérdida de confiabilidad de la empresa, debido a incumplimiento en las ventas de productos combustibles, debido principalmente a los reprocesos, pues no se obtiene el producto con visto bueno en el tiempo planeado.
- Degradación de componentes de alto precio para la empresa, pues son adicionados en los reprocesos para mejorar las propiedades del producto, por ejemplo para aumentar el índice antidetonante en las gasolinas, se adicionan aromáticos como xileno y tolueno, componentes de alto valor en el mercado.
- La principal desventaja existente en la metodología de mezclado son los altos excedentes de calidad en los combustibles (Es la diferencia de las propiedades de los combustibles con visto bueno, respecto al valor de la norma colombiana). Los excedentes de calidad en las diferentes propiedades de los

combustibles aumentan los costos de preparación, pero la empresa no recibe ningún beneficio por estos. Por ejemplo en gasolina se tienen regalos de calidad cercanos a 0.3 Octanos:

Índice antidetonante (IA) producto: 81.3 octanos

IA de la especificación=81.0 octanos

Excedente de calidad es = 0.3 octanos

1.5 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS UNIDADES DE CONTROL DE MEZCLA (UCM).⁵

Las unidades de control de mezcla (UCM), es una nueva tecnología a nivel mundial para producir combustibles en forma automática y minimizando los costos de operación, lo cual se logra disminuyendo los tiempos de preparación, controlando los excedentes de calidad en el producto y realizando un control automático del flujo de los componentes.

El diseño y montaje de las unidades de control de mezcla se realizó en la GCB entre los años 1998 y 2004, mediante el proyecto denominado Blending, el cual presento gran variedad de inconvenientes en el transcurso de su montaje. Actualmente se encuentra su infraestructura en la GCB, pero aún no se tiene en operación.

En la figura 5 y 6, se presenta la unidad de control de mezcla de gasolina y combustóleo respectivamente; los principales elementos que conforman las UCM son los siguientes:

✓ **Tanques de componentes:** Estos tanques almacenan los diferentes compuestos para la mezcla. Mediante una tubería de entrada, el tanque esta recibiendo constantemente el componente desde la planta de proceso, y

⁵ RODRÍGUEZ. F. Expansión y modernización tecnológica. 2000

mediante la tubería de succión, entrega el componente para la mezcla. Los tanques presentan sensores de nivel tipo radar. La nomenclatura utilizada para identificar los tanques es con la letra K.

✓ **Bombas para los componentes:** Existe un conjunto de bombas, para transportar los componentes hasta el cabezal de mezcla. La nomenclatura utilizada para identificar las bombas es con la letra P.

✓ **Válvulas operadas a motor (MOV):** Este es un elemento existente en las UCM de gran importancia, pues mediante la apertura y cierre de estas se organiza la unidad de mezcla.

✓ **Medidores de flujo y válvulas de control:** Para el SICOM de gasolina los medidores volumétrico son todos tipo turbina y para combustóleos son medidores másicos tipo coriolis (MicroMotion).

✓ **Un colector de mezcla:** Es una tubería en la que los diferentes componentes se mezclan entre sí, denominado cabezal de mezcla.

✓ **Mezclador estático en línea:** Es un mezclador estático de paletas, donde el producto se homogeniza y sale hacia el tanque de almacenamiento.

✓ **Tanque para los productos:** Son los tanques disponibles para recibir el producto, y posteriormente entregarlo a los clientes externos.

✓ **Analizadores:** Son analizadores encargados de realizar las mediciones de las propiedades del producto ya mezclado. Para gasolina existe analizadores de azufre, presión de vapor e Índice antidetonante y para combustóleo existe analizador de viscosidad, densidad y azufre.

1.5.1 Software para el control de la mezcla⁶: Las Unidades de Control de Mezcla (UCM), para su operación cuentan con un software de control Regulatorio de Mezcla (RBC). El RBC de ABB ⁷, está en interfaz con las válvulas de control de flujo, las MOV's, las bombas y el sistema de monitoreo de los tanques. El RBC utiliza un protocolo de mezcla ingresado por un usuario para preparar una determinada mezcla. Por lo general los datos de entrada para el RBC es un protocolo de mezcla, el cual debe tener los porcentajes volumétricos de cada componente, una flujo total para el producto, un volumen total a preparar y una lista preestablecida de equipos como tanques de componentes, tanque de producto, bombas, etc. Sus datos de salida son un conjunto de valores predefinidos para el control del flujo (aperturas de las válvulas de control), comandados de agrupación de equipos y señales de arranque/parada de las bombas.

Con base en el protocolo de mezcla, en las existencias de los tanques de componentes y productos, y en la tasa máxima de flujo de los componentes, el RBC agrupa los equipos de campo necesarios (abriendo y cerrando las MOV's correspondientes). El programa selecciona los tanques de componentes con un inventario de producto adecuado, y los tanques de producto con suficiente espacio para el volumen a preparar.

1.6 UNIDAD DE CONTROL DE MEZCLA PARA GASOLINA

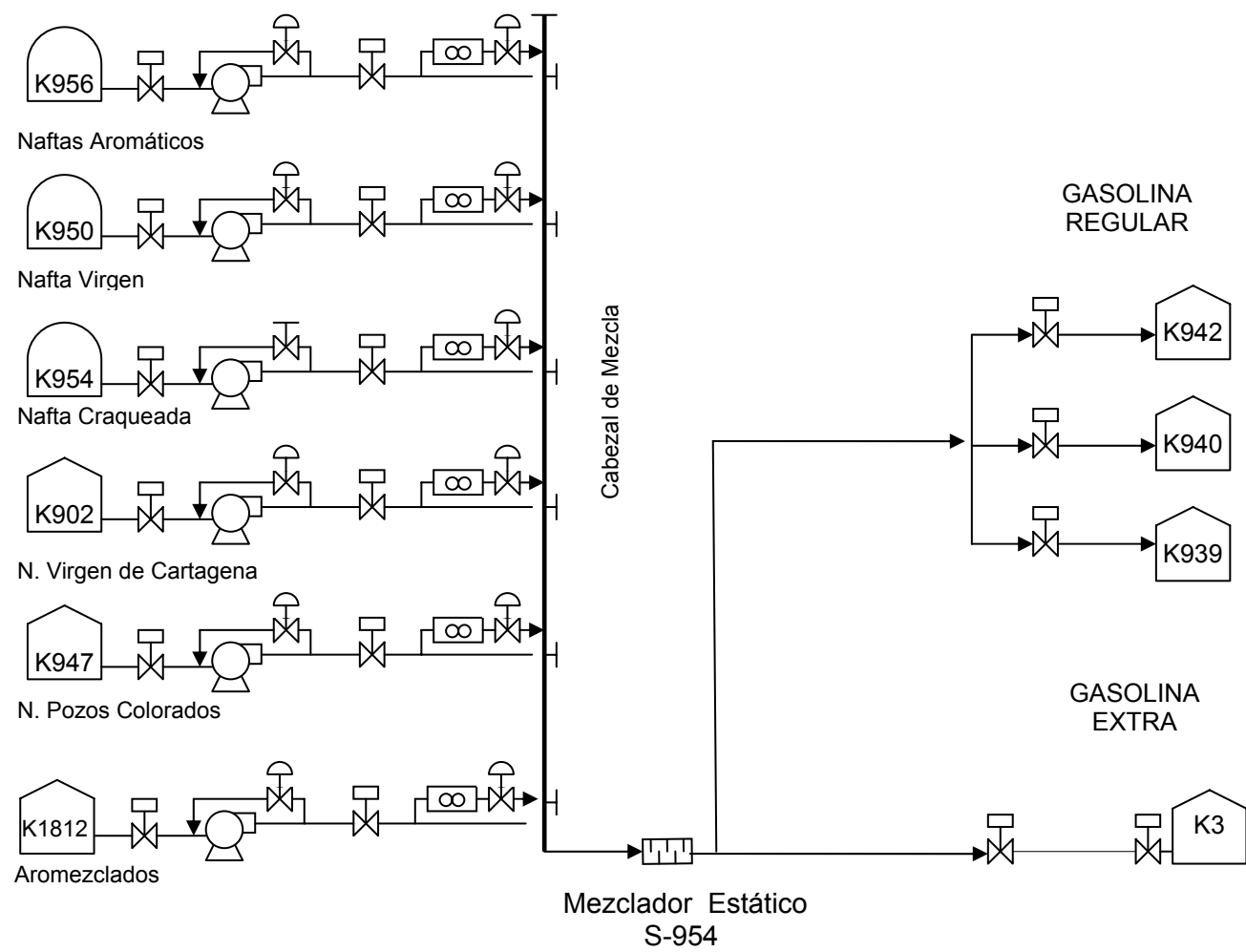
En la figura 5, se presenta el diagrama de la UCM de gasolina para el “Complejo Industrial Barrancabermeja” de ECOPETROL S.A.

1.6.1 Descripción de la unidad de mezcla: La unidad de control de mezcla para gasolina, figura 5, es un sistema mecánico en el que los componentes

⁶ Ibid., P. 13.

⁷ Asia Brown Boveri, S.A

Figura 5. Sistema de control de Mezcla para Gasolina



de un grupo de tanques se envían individualmente a través de tubería, con control de flujo, a un colector de mezclas. Estos se inyectan en el colector de mezcla y el producto se envía a un tanque, pasando por el mezclador estático.

Para la unidad de Gasolina se cuenta con un solo mezclador estático, el S-956 en el cual se realizan las dos posibilidades de producción: Gasolina Regular y Gasolina Extra, proceso que se hace en forma alterna y se emplea el mismo mezclador y el mismo sistema de bombeo.

El paso del flujo del producto a la salida del colector de mezclado está dividido en dos partes, uno para Gasolina Extra y otro para Gasolina Regular. El producto entonces puede fluir a cualquiera de los tanques de producto a través de la apertura de las válvulas MOV's.

En las siguientes tablas (7, 8 y 9) se presenta información de los diferentes elementos que conforma la unidad de mezcla:

Tabla 7. Información tanques de componentes para gasolina.

COMPONENTE	TANQUE	CAPACIDAD NOMINAL
	Id.	(Bbls)
Nafta Virgen	K-950	80.000
Gasolina Aromáticos/ Natural	K-956	80.000
Nafta Craqueada	K-954	80.000
Aromezclados	K-1812	16.000
Gasolina Pozos Colorados	K-947	45.000
Nafta Virgen de Cartagena	K-902	58.000

Tabla 8. Información tanques de gasolina como producto

Producto	TANQUE	CAPACIDAD NOMINAL
	Id.	(Bbls)
Gasolina Regular	K-939	224.000
	K-940	224.000
	K-942	200.000
Gasolina Extra	K-3	56.000

Tabla 9. Información bombas de la UCM de gasolina.

COMPONENTE	BOMBAS
	Id.
Nafta Virgen	P-003 A/B/C
Gasolina Aromáticos/ Natural	P-001 A/B/C
Nafta Craqueada	P-002 A/B/C
Aromezclados	P-007 A/B y P-005
Gasolina Pozos Colorados	P-006 A/B y P-007 B
Nafta Virgen de Cartagena	P-3225 y P-005A

1.7 UNIDAD DE CONTROL DE MEZCLA PARA COMBUSTÓLEO.

La unidad de control de mezcla (UCM) de Combustóleo en Barrancabermeja se representa en la figura 6, consta de dos cabezales de mezcla, uno para combustóleo pesado y otro para combustóleo Liviano. En el mezclador de combustóleo de Barrancabermeja hay tres (3) estaciones de componentes de bombeo. Cada una de las casa bombas alimenta los dos colectores. Una casa de bombas consta de una o más bombas, un medidor de flujo, un controlador de flujo, y unas válvulas de control de flujo, así como MOV's para cada colector. Las propiedades como azufre, viscosidad y densidad del producto y de los componentes, se miden en línea por medio de los analizadores existentes. En las tablas 10, 11, 12 se presenta la información sobre los diferentes elementos que componen la UCM.

La unidad de Combustóleo cuenta con dos mezcladores estáticos S-954 y S-955, en los cuales se realiza los dos tipos de producción: Combustóleo Liviano y Pesado, para los dos cabezales de mezcla se utiliza el mismo grupo de bombas (tabla 12), pero diferente sistema de control y medidores de flujo.

Tabla 10. Información tanques de componentes para combustóleo

NOMBRE DEL COMPONENTE	TANQUE	CAPACIDAD NOMINAL
	Id.	(Bbls)
Combustóleo base II	K-808	56.000
	K-104	57.400
Combustóleo base I	K-7	55.000
Aceite Liviano de Ciclo (ALC)	K-827	72.000
	K-826	80.000

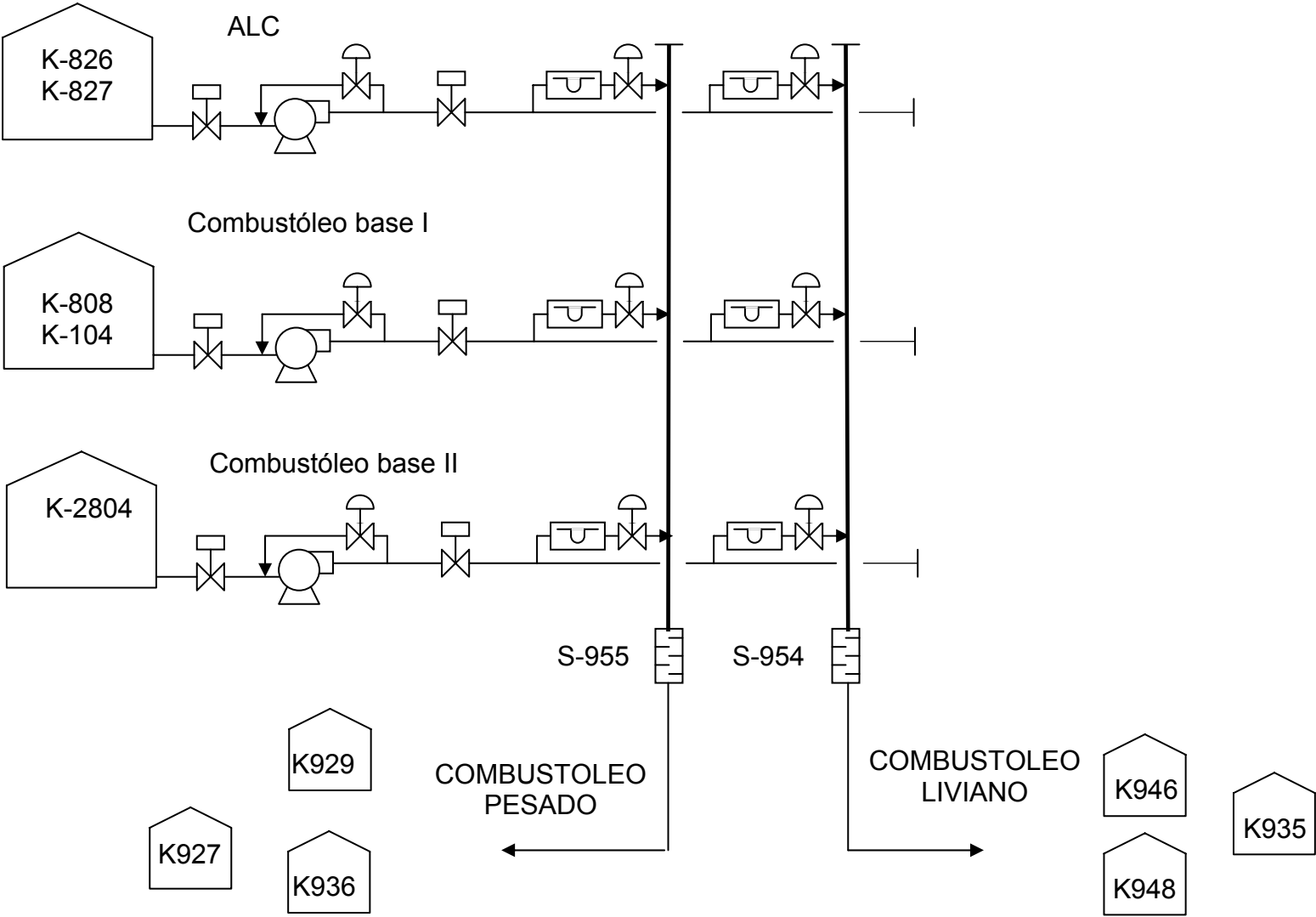
Tabla 11. Información tanques de almacenamiento de Combustóleo

PRODUCTO	TANQUE	CAPACIDAD NOMINAL
Combustóleo Liviano	K-946	224.000
	K-948	224.000
	K-935	200.000
Combustóleo Pesado	K-927	100.000
	K-929	100.000
	K-936	200.000

Tabla 12. Información bombas de la UCM de Combustóleo

NOMBRE DEL COMPONENTE	BOMBAS
	Id.
Combustóleo base II	P-3205 y P-3206
Combustóleo base I	P-3202
Aceite Liviano de Ciclo (ALC)	P-3224 y P-3225

Figura 6. Sistema de Control de Mezcla para Combustóleo



2. DESARROLLO EXPERIMENTAL.

En esta sección se presenta la metodología utilizada para el desarrollo experimental del presente estudio, el cual incluye la identificación de los sistemas de mezclas para gasolina y combustóleo, la evaluación hidráulica, la puesta en servicio y la evaluación económica.

A continuación se presenta un esquema de las etapas del desarrollo experimental que se llevaron a cabo durante la realización de este trabajo.

Figura 7. Etapas del desarrollo experimental



2.1 EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE LAS UCM.

2.1.1 Identificación de las unidades de control de mezcla: En esta etapa se realizó un reconocimiento de Las UCM, identificando los accesorios (Válvulas, codos, tees, cheques, reducciones, ampliaciones, filtros, medidores de flujo, entre otros) de cada unidad de operación. Posteriormente se verificó la información de accesorios y diámetros de tubería en los planos de construcción y en los P&ID's, existentes en la refinería.⁸

2.1.2 Cálculo de los perfiles hidráulicos: Esta etapa del trabajo se verificó el funcionamiento hidráulico de las unidades de control de mezclas para iniciar su operación. Se aplicó el balance de energía mecánica⁹ (1) a cada unidad de mezcla, y así se calcularon los perfiles de presión en todos los sistemas involucrados en la mezcla:

En la ecuación 2, el primer término hace referencia a la energía de flujo o presión, el segundo a la energía potencial y el tercero a la energía cinética.

$$\frac{W * P_1}{\gamma} + W * Z_1 + \frac{W * V_1^2}{2 * g} + h_A - W * h_L = \frac{W * P_2}{\gamma} + W * Z_2 + \frac{W * V_2^2}{2 * g} \quad (2)$$

h_A = Energía agregada al fluido por un dispositivo mecánico (bomba). (J)

h_L = Pérdidas de energía, debidas a fricción en los ductos y por accesorios. (m)

W = peso del fluido (N)

Z = altura (m)

P = Presión (Pa)

γ =Gravedad específica (N/m³)

V = Velocidad del fluido (m/s)

Para el cálculo de pérdidas por fricción se utilizó las ecuaciones de Darcy, y

⁸ COSEING Ltda. – JCPR. Actualización hidráulica. 2001.

⁹ CRANE. Flujo de fluidos. 1990. p. 1.6 – 1.9

para la longitud equivalente de los accesorios se utilizó las tablas existentes en el libro mecánica de fluidos de Robert L. Mott.¹⁰

$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2 * g} \quad (3)$$

h_L = Pérdidas de energía debido a la fricción. (m)

f =factor de fricción (Adimensional)

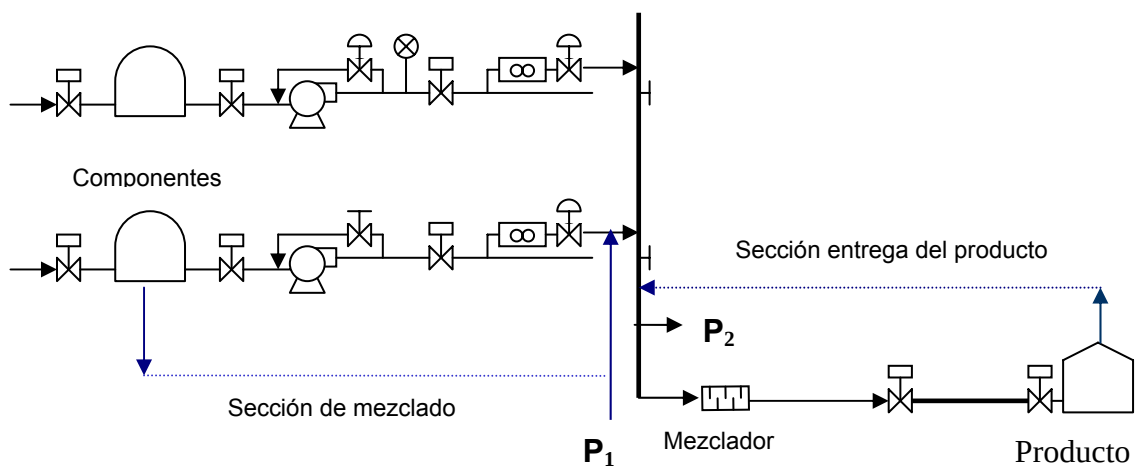
L = Longitud de la corriente de flujo (m)

D =diámetro de conducto (m)

V =velocidad de flujo promedio (m/s)

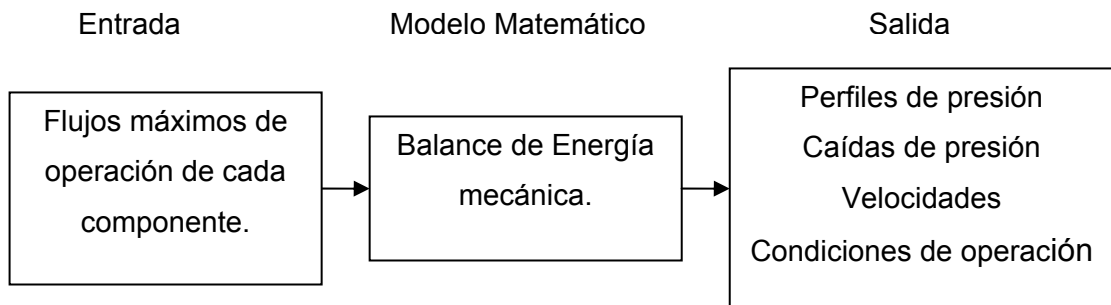
Las unidades de control de mezcla se dividieron en dos secciones, figura 8, para realizar la evaluación hidráulica, la primera sección es la correspondiente a la succión y descarga de cada componente al cabezal de mezcla (desde el respectivo tanque de cada componente hasta aguas abajo de la Válvula de control) y la siguiente zona es la correspondiente a la sección donde fluye el producto después de la mezcla (aguas abajo de la válvula de control hasta el tanque de recibo del producto):

Figura 8. Secciones de la unidad de mezclado



¹⁰ MOTT, Robert. MECÁNICA DE FLUIDOS APLICADA. 1996. p. 180 – 200.

Figura 9. Parámetro a evaluar en las UCM.



Para calcular los perfil de presión en las unidades de mezclado, se trabajaron las secciones en forma independiente, primero se evaluaron las presiones desde cada tanque de componente hasta aguas debajo de la válvula de control, para cada componente se calculó la presión al entrar al cabezal de mezcla, denominada P1. Luego se calculó el perfil de presión en la segunda sección, partiendo desde la presión requerida en el recibo del tanque hacia atrás, hasta llegar al mezclador, determinando de esta forma la presión en el mezclador, denominada P2, la cual es la presión necesaria para llevar el producto después de mezclado hasta el tanque de almacenamiento.

Posteriormente se comparó la presión que presentaba cada componente en la entrada al cabezal P1, la cual debía ser mayor que la presión P2, y así se verificaba que cada componente presentaba la presión suficiente para entrar al cabezal de mezcla y llevar el producto hasta el tanque de almacenamiento. Además se verificó en cada sistema si se presentan problemas de altas caídas de presión y altas velocidades que puedan presentar problemas de acelerada erosión en las tuberías¹¹.

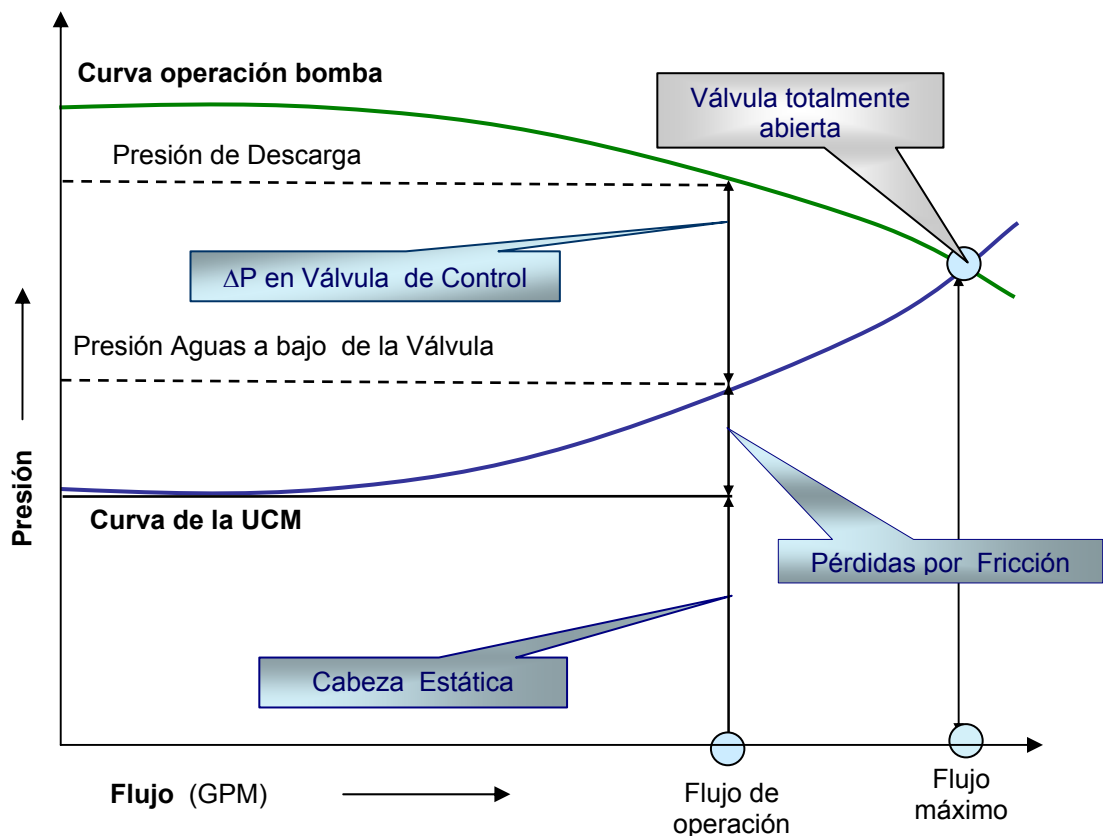
Los cálculos se realizaron para las condiciones más severas de cada caso tales como: tanques más lejanos, condiciones a mínimas alturas para los tanques de componentes y máximas altura para el tanque de producto, y en

¹¹ ECOPETROL S.A. Criterio de dimensionamiento de las líneas de ECOPETROL. 2004. p. 40

general las condiciones que produzcan resultados más restrictivos. Para la evaluación hidráulica de la UCM de gasolina, se evaluó solo para gasolina Regular, pues presenta los mayores flujos de diseño y todos los elementos son iguales.

2.1.3 Curvas de operación de las UCM: Además se realizaron las curvas de los perfiles de presión de cada componente y la curva de operación de cada bomba, con el fin de identificar el flujo de operación para cada componente y las caídas de presión existentes en las válvulas de control; esto se puede observar en la figura 10:

Figura 10. Curvas de operación de las bombas y presión de la UCM



- Las curvas de las UCM se realizaron para cada componente aplicando el balance de energía mecánica, este se aplicó si tener en cuenta la válvula de control, las pérdidas de esta se asumieron como una válvula de compuerta totalmente abierta.

- Las curvas se realizaron para cada componente, variando el flujo desde cero hasta el flujo máximo de operación (Intersección entre la curva del sistema y la curva de cabeza de la bomba), donde la válvula de control esta totalmente abierta.

- La segunda sección de las unidades de mezclado (desde el mezclador hasta el tanque de producto) se trabajó con el flujo máximo de diseño para el producto, el cual equivale a 9150 BPH (6400 GPM) para gasolina y para combustóleo pesado de 1750 GPM y para combustóleo liviano de 2300 GPM.

1. Sección de Mezclado: Esta comprendida entre los tanques de componentes y el cabezal en el cual se realiza la Mezcla.

Secciones utilizadas para el circuito de mezcla:

- Circuito de succión de cada componente.
- Circuito de descarga de cada componente al cabezal de mezcla aguas a bajo de la válvula de control.

- **Circuito de Succión de cada Componente:** De acuerdo al arreglo propuesto para las bombas para gasolina (Ver tabla 9) se trabajó de la siguiente forma: para la transferencia de Nafta de Aromáticos y Gasolina Natural en flujo máximo se trabajaron dos bombas al igual que para Nafta virgen de topping. Para Nafta Craqueada se trabajaron tres bombas en paralelo.

Los volúmenes de Nafta de Cartagena, pozos colorados y aromezclados se trabajan con las bombas correspondientes al diseño como se muestra en la tabla 9.

1. Como criterio conservador se eligió como mínima altura operativa (1700 mm) el valor bajo-bajo del sistema de seguridad de la refinería de los tanques

de componentes, para determinar la mínima presión disponible en cada uno de ellos.

2. Se calcularon los perfiles de presión y la velocidad, teniendo en cuenta los máximos flujos de cada componente, como se puede observar en tabla 13 para gasolina:

Tabla 13. Flujos de diseño UCM de Gasolina

PRODUCCIÓN	GASOLINA REGULAR	GASOLINA EXTRA
COMPONENTE	Flujo máximo(GPM)	Flujo máximo(GPM)
Nafta de Aromáticos	980	420
Nafta Virgen	2625	1960
Nafta Craqueada	4400	3150
Nafta Virgen de Cartagena	980	560
Nafta Pozos Colorados	2940	1400
Aromesclados	300	56
Total de producción.	6400	2915

Rodríguez, F. Documento de diseño funcional (FDD)

La unidad de control de mezcla de combustóleo no se trabajó de la forma planteada en el diseño del RBC (configuración tabla 8), pues el tanque K-7 correspondiente para Combustóleo base I se encuentra fuera de servicio y las bombas correspondientes al componente Base II, no se pueden operar (P-3205 no ha sido comprada y la P-3206 se encuentra en mantenimiento), por esta razón el sistema se trabaja como se plantea en la tabla 14:

Tabla 14. Logística de trabajo de la UCM de Combustóleo

NOMBRE DEL COMPONENTE	TANQUE	BOMBAS
	Id.	Id.
Combustóleo base II	K-2804	P-3405
Combustóleo base I	K-104 K-808	P-3203
Aceite Liviano de Ciclo (ALC)	K-826 K-827	P-3224 P-3225

Para la evaluación hidráulica de la UCM de combustóleo, no se trabajaron con los flujos de diseño, pues son muy pequeños para los requerimientos de ECOPETROL S.A., por lo cual se simularon flujos mayores a los de diseño, hasta encontrar los flujos máximos de trabajo, donde no se presenten problemas de altas caídas de presiones y altas velocidades en las tuberías.

Los flujos de diseño de la UCM de combustóleo se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 15. Flujos de Diseño de la UCM de Combustóleo

PRODUCCIÓN	COMBUSTÓLEO LIVIANO	COMBUSTÓLEO PESADO
COMPONENTE	Flujo máximo(GPM)	Flujo máximo (GPM)
Combustóleo Base I	438	292
Combustóleo Base II	1313	1085
ALC	700	117
Total de producción	1750	1167

Rodríguez, F. Documento de diseño funcional (FDD)

- **Circuito de descarga de cada componente al cabezal de Mezcla aguas a bajo de la válvula de control:** Este circuito comprende desde la descarga de las bombas de cada componente hasta la entrada al cabezal de mezcla, pasando por el sistema de medición y control de flujo.

1. La caída de presión existente en las válvulas de control de cada componente, se determinaron a partir de los catálogos existentes en el área de materias primas y producto terminado.¹²

2. Los sistemas de bombas para los componentes se han escogido para que en condición normal, cada bomba tiene su bomba de reserva.

¹² Departamento Materias Primas. Manual de operación Blending. 2001

3. Sección de Entrega de Producto: Para calcular el perfil de presión se parte de la presión requerida en el recibo del tanque hacia atrás, hasta llegar al mezclador, determinando de esta forma la presión necesaria por cada componente para entrar al mezclador.

1. Se eligió como máxima altura operativa de los tanques de recibo de producto el valor alto-alto (10000 mm) del sistema de seguridad del área externa, para determinar la presión requerida en la boquilla de recibo de los mismos.

2. Se calcularon las caídas de presión y la velocidad para las líneas de entrega de producto, teniendo en cuenta el máximo flujo de producción. La Producción máxima de diseño para gasolina regular de 220000 BPDO (Barriles por día de operación), Gasolina Extra de 100000 BPDO, Combustóleo Liviano 60000 BPDO y 80000 BPDO de Combustóleo Pesado.

3. Los mezcladores estáticos S-3956 y S-3539 (K-939) tendrán unas caídas de presión máxima de 1 Psig y 3 Psig respectivamente, para una rata máxima de producción de Gasolina Regular de 220 000 BPDO (6400 GPM).

4. Los mezcladores estáticos de Combustóleo liviano (S-954) y pesado (S-955) tendrán una caída de presión máxima de 15 Psig y 14 Psig respectivamente, para el máximo flujo de trabajo.

2.2 REALIZACIÓN PROTOCOLOS DE MEZCLA.

En esta etapa del proyecto se realizaron diferentes protocolos de mezclas para la preparación en la UCM de Gasolina Regular. Un protocolo de mezcla esta compuesto por el volumen neto a preparar, la rata de flujo total de producto y las fracciones volumétricas de cada componente para la mezcla.

En la puesta en servicio de las UCM para gasolina no se tendrán en

funcionamiento los analizadores, por lo cual se investigaron diferentes modelos matemáticos que representaran las propiedades como: índice antidetonante, presión de vapor, contenido de aromático, benceno y azufre, con el fin de plantear diferentes protocolos de mezcla en función de los flujos y propiedades de cada componente.

Para la UCM de combustóleo no se realizaron protocolos de mezcla, pues este trabajara con los analizadores de viscosidad y gravedad API para los productos, presentando la posibilidad de modificar el protocolo de mezcla constantemente dependiendo las características del producto.

2.3 SEGUIMIENTO DE LA PUESTA EN SERVICIO DE LOS UCM.

En esta etapa del proyecto se realizó una evaluación técnica de las preparaciones iniciales de los combustibles mediante las unidades de mezcla y se determinaron los diferentes beneficios que presenta este nuevo método de preparación.

Se realizaron preparaciones de Combustóleo liviano, pesado y gasolina regular, mediante las UCM desde enero del 2005.

Entre los puntos evaluados se encontraron los siguientes:

1. Se realizó un seguimiento de todas las preparaciones realizadas de los combustóleos y gasolinas. Principalmente se realizó seguimiento de los datos de laboratorio de visto bueno de cada producto preparado, los reprocesos y el tiempo de preparación.
2. Se realizó un seguimiento de los analizadores en línea de viscosidad y gravedad API para los UCM de Combustóleo y se determinó la precisión y exactitud de la medición. Esto se realizó comparando los datos en línea de los

analizadores con los datos de muestras enviadas periódicamente (3 muestras durante la preparación) al laboratorio para análisis.

3. Se identificaron los diferentes problemas hidráulicos y de operación de las bombas, sistemas de control y de medición. Además se determinaron los rangos óptimos de trabajo de las bombas, identificando los valores de flujo mínimo y máximo para evitar problemas de cavitación o vibración (Se utilizó la norma API 610 para bombas).

4. Se realizó un seguimiento de las presiones en los cabezales de mezcla para las UCM de combustóleo, y así dar una evaluación del funcionamiento, pues se trabajará con flujos mayores a los de diseño.

2.4 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS UNIDADES DE CONTROL DE MEZCLA.

En esta etapa del trabajo se determinaron las ganancias obtenidas para las preparaciones durante el primer trimestre del 2005 de gasolina y combustóleo mediante las Unidades de Control de Mezcla. Además se determinaron los beneficios por disminución en reprocesos y excedentes de calidad en los productos.

Con el fin determinar la ganancia y beneficios de las preparaciones realizadas mediante las UCM, fue necesario determinar un punto de referencia (CASO BASE) de las preparaciones. Como caso base se analizaron las preparaciones de los años 2003 y 2004 de los diferentes productos.

El procedimiento utilizado fue el siguiente:

Primero se determinó el promedio de las propiedades principales (para gasolina: índice antidetonante y presión de vapor (RVP) y para Combustóleo:

Viscosidad, azufre y Gravedad API, promedio de los reprocesos y el regalo de calidad para el caso base (años 2003 y 2004).

En la evaluación económica; los puntos analizados fueron: costos por operación de equipos, costos debido a los reprocesos (costo de la energía de bombeo y análisis de laboratorio) y principalmente los costos por los excedentes en calidad de los combustibles.

2.4.1 Costo operación de equipos: Para el costo de operación de equipos se trabajo solo el costo de la energía para los sistemas de bombeo. Teniendo en cuenta el bombeo de los componentes y la circulación del tanque de producto.

La información sobre tiempo de operación de equipos, rata de flujo, protocolos de mezclas, tiempo de circulación y reprocesos para el caso base se obtuvo a partir de dos programas de almacenamiento de información en ECOPETROL S.A (SIO y CDLAB), además de información suministrada por los supervisores y operadores de las casas de bombas, encargados de las preparaciones.

Para el costo de operación de las bombas, se eligieron los datos de flujo típicos de trabajo y sus correspondientes datos de eficiencia y cabeza de las curvas de operación de cada bomba para determinar la potencia utilizada.

En la tabla 16 se presenta el costo del Kw/h (anuales) para la Gerencia Complejo Barrancabermeja:

Tabla 16. Costo Kw/h para ECOPETROL S.A

Año	\$/Kw/h
2003	175.31
2004	160.1
Primer trimestre-05	165

Centro de Control de potencia (CCP) de la GCB

$$CE = WHP(Hp) * t(h) * P_E (\$) \quad (4)$$

$$Potencia(BHP) = \frac{Q * H * G.E}{3960 * \eta_{Bomba}} \quad WHP = \frac{BHP}{\eta_{MOTOR}} \quad (5)$$

CE: Costo de la energía consumida por las bombas (\$)

BHP: Potencia de la bomba (Hp)

WHP: Potencia de la bomba (Hp)

P_E: Precio del Kw/h (\$)

t: Tiempo de operación de la bomba (h)

Q: Flujo manejado por la bomba (m³/s)

G.E: Gravedad específica

η_{bomba}: Eficiencia de la bomba

η_{motor}: Eficiencia del motor

- **Protocolo de mezcla:** Se trabajo con un protocolo de mezcla promedio de para el caso base, en la Tabla 17, 18 y 19 se presenta esta información:

Tabla 17. Información preparaciones Gasolina Regular 2003-2004

COMPONENTES	RELACIONES	TANQUES	BOMBAS
	(%V/V)		
Nafta Craqueada	63 - 65	K-818/806	P-3408
Nafta Virgen	37 - 35	K-819/10	P-3409
Nafta Pozos Colorados *	3 - 5	K-947	P-3504
Nafta Cartagena**	3 - 5	K-902	P-3504
Circulación del producto			P-3504

Sistema de información operacional, SIO, GCB

Tabla 18. Información preparaciones Combustóleo Liviano 2003-2004

COMPONENTES	PROCOTOLO	TANQUES	BOMBAS
	(%V/V)		
Combustóleo base II	62	K-2804	P-38052
Combustóleo base I	28	K-104/808	P-3203
ALC	10	K-5	P-3203

Sistema de información operacional, SIO, GCB

Tabla 19. Información preparaciones Combustóleo Pesado 2003-2004

COMPONENTES	PROCOTOLO	TANQUES	BOMBAS
	(%V/V)		
Combustóleo base II	87	K-2804	P-38052
Combustóleo base I	10	K-104/808	P-3203
ALC	3	K-5	P-3203

Sistema de información operacional, SIO, GCB

2.4.2 Costos por Reprocesos: Se evaluó el costo de la energía de bombeo de los componentes y los análisis del laboratorio para obtener el visto bueno del producto. En la tabla 20 se presenta los costos de los análisis de laboratorio para los productos:

Tabla 20. Costo Análisis de laboratorio para Visto Bueno

PRODUCTO	Costo (\$)
Combustóleo Liviano	353.360
Combustóleo Pesado	408.970
Gasolina Regular	982.420

Laboratorio de ECOPETROL S.A. 2005

2.4.3 Costos por excedentes en Calidad¹³: Para el cálculo de los costos por excedentes en calidad, se eligieron las propiedades principales, para gasolina:

¹³ GCB. Planeación de la Producción. Hoja de precios.

Índice Antidetonante y presión de vapor y para Combustóleos: viscosidad, azufre y gravedad API. Se utilizó ecuación 6, para las diferentes propiedades:

$$C_c = (IA - IAe) * C_p * V \quad (6)$$

C_c = Costo de los excedentes en calidad para cada propiedad. (\$USB/mes)

C_p = Costo de una unidad para cada propiedad en ECOPETROL S.A

Pe : Índice antidetonante de la especificación.(Octanos)

P = Índice antidetonante promedio del mes (Octanos)

V = volumen vendido en el mes del combustible (Bls)

La información necesaria relacionada con precios de las propiedades se obtuvo de la HOJA DE PRECIOS GCB (Planeación de la Producción) y los precios relacionados a productos (Combustóleo liviano, gasolina, GLP) a partir del RIS (Reportes de Indicadores de Gestión, Gerencia General GCB, Margen de Refinación). Esta información se revisó mes a mes, para las preparaciones desde el 1 de enero de 2003 al 31 de marzo de 2005.

- **Presión de vapor RVP:** La GCB no tiene un costo asignado a una unidad en presión de vapor para la Gasolina, por lo cual se realizó una aproximación con el precio del Gas Licuado del Petróleo (GLP), determinando el porcentaje existente de GLP en la gasolina.

Precio Unidad en RVP: $((\text{Precio Gasolina} * 0.993 + \text{Precio GLP} * 0.07) - \text{Precio de gasolina})$.

- **Viscosidad (SSF):** En la GCB no se tiene un precio asignado a la unidad de SSF de viscosidad, por lo cual se realizó la siguiente aproximación: Se realizó un protocolo de mezcla para determinar el porcentaje requerido de ALC

(3 SSF) para disminuir una unidad de Viscosidad (1 SSF) en el Combustóleo Liviano (50 SSF).

Precio Unidad de Viscosidad: $(\text{Precio Combustóleo de 50 SSF} - (\text{Precio Combustóleo de 50 SSF} * 0.995 - \text{Precio de ALC} * 0.005))$.

- **Gravedad API**

Se tiene como pivote: 6 API.

Para API Mayores a 6 se tiene una pérdida de 0.3 US\$ / Barril / Unidad.

Para API Menores a 6 no se considera una pérdida.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta parte del libro se presentaran los diferentes resultados hidráulicos y económicos obtenidos durante el desarrollo del trabajo.

3.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS UNIDADES DE MEZCLA.

A partir de las curvas de operación de las bombas (Ver anexo 3, 4 y 5) se determinaron los rangos operativos de cada bomba. Además se refleja la situación particular de la operación de la bomba frente a la curva de presión de cada componente. En estas curvas se aprecia la variación de la caída de presión en la válvula de control e igualmente muestra el punto de operación de la bomba correspondiente a la situación estudiada (Flujos de diseño).

3.1.1 Rangos de trabajo de las bombas.

Tabla 21. Flujos de trabajo de las bombas de las UCM

BOMBAS	GCI	GCS
	(GPM)	(GPM)
Bombas gasolina		
P-002 A/B/C	1421	2841
P-003 A/B/C	1421	2841
P-001 A/B/C	445	888
P-006 A/B	1920	3840
P-3525 y P-3526	390	780
P-007 A/B	108	216
P-005	108	216
Bombas combustóleo		
P-3224 y P3225	1140	2280
P-3805	900	1440
P-3203	720	1300

GCI: Flujo mínimo de trabajo de la bomba

GCS: Flujo máximo de trabajo de la bomba

3.2 SIMULACIÓN DE LOS PERFILES DE PRESIÓN

Se calcularon los perfiles de presión para los flujos de diseño en la UCM de gasolina y para la UCM de combustóleo se determinaron los flujos máximos de trabajo.

3.2.1 Unidad de control de mezcla para Gasolina: A partir del balance de energía mecánica en la sección de entrega de producto se obtuvo que la presión existente en el cabezal de mezcla es de 50.8 Psig, cada componente debe cumplir con esta presión para entrar al cabezal y vencer la presión para llevar el producto hasta el respectivo tanque de almacenamiento. En la tabla 22, se presenta las presiones que presenta cada componente antes de entrar al cabezal de mezcla.

Tabla 22. Presión de cada componente a la entrada del cabezal de Gasolina

COMPONENTE	Presión aguas a bajo de la válvula de control
	(Psig)
Presión en el cabezal de mezcla	50.8
Nafta Virgen	51.0
Gasolina Aromáticos/ Natural	51.9
Nafta Craqueada	51.7
Aromezclados	50.7
Gasolina Pozos Colorados	49.9
Nafta Virgen de Cartagena	51.8

Análisis de Resultados: Los resultados de la actualización del estudio hidráulico se consignan en las tablas y gráficos del ANEXO 1 y 3, de cuya observación se puede resumir los siguientes comentarios:

- En el análisis de presiones desde el punto aguas arriba del mezclador estático hasta los tanques de producto, se puede observar que la línea de

recibo (16 in) del K-939, a pesar de mostrar una alta velocidad (10.28 ft/s) su caída de presión por cada 100 pies (0.62 psig) es muy aceptable, además esta velocidad se encuentra por debajo de la velocidad crítica¹⁴ (15 ft/s) que permite una acelerada erosión. Un incremento en su diámetro a 18 in la disminuirá a 8.1 ft/s y una Caída de presión de 0.3 psig/ 100 pies.

- La sección de descarga de componentes hasta las válvulas de control muestran altas velocidades en las líneas de nafta craqueadas (12.5 Ft/s), nafta virgen (12.1 Ft/s), y nafta se Pozos Colorados (11.9 Ft/s), las cuales al igual que en el numeral anterior se podrían subsanar, si así se lo requiere, con el incremento en sus diámetros.
- Todos los componentes cumplen con la presión de descarga requerida en el mezclador (50.8 Psig) para entrar al mezclador y llevar el producto hasta el tanque de almacenamiento, excepto los componentes de Gasolina de Pozos Colorados y Arommezclados.
- En las líneas de suministro de los componentes gasolinas de Pozos Colorados y Arommezclados se encontraron limitaciones significativas por cuanto los tramos de tuberías existentes presentan altas caídas de presión (Línea de 10 in – pozos colorados -2.02 psig /100 ft y en la Línea de 4 in – Arommezclados 1.77psig / 100 ft) que no permiten la operabilidad de sus sistemas. Estos dos tramos requieren: para la nafta de Pozos Colorados aumentar a 12 in por lo menos 2500 pies de su tubería ó aumentar a su siguiente tamaño el diámetro del impulsor de las bombas P-3506 A/B o trabajar a un flujo máximo del 70% del flujo considerado en el diseño, y para los Arommezclados aumentar a 6 in por lo menos 1500 pies de tubería (del tramo de 4 in) ó cambiar el impulsor de la P-3507 A/B a su siguiente tamaño o trabajar a un flujo máximo del 70% del flujo de diseño.

¹⁴ ECOPETROL.S.A. Criterio de dimensionamiento de las líneas de ECOPETROL. 2004 p. 40.

- Para cubrir los rangos operacionales requeridos, hay ocasiones en que se debe operar con una o con dos bombas y hasta tres bombas en paralelo. Este último caso se presenta para manejar la rata de flujo de nafta Craqueada, se requiere funcionar con las tres bombas P-002 A/B/C.

3.2.2 Unidad de control de mezcla para Combustóleo: Los resultados de la actualización del estudio hidráulico se consignan en las tablas y gráficos del ANEXO 2, 4 y 5 de cuya observación se puede resumir los siguientes comentarios:

Después de simular diferentes flujos para cada componente y flujo de producto los flujos máximos de trabajo se presentan en la tabla 23:

Tabla 23. Flujos máximos de Operación para las UCM de Combustóleo

COMPONENTE	Combustóleo Liviano	Combustóleo Pesado
	(GPM)	(GPM)
Combustóleo Base I	700	504
Combustóleo Base II	1260	1330
ALC	560	210
PRODUCTO	2300	1750

- Las Bombas P-3224/25 existentes, empleadas para transferir Aceite Liviano de Ciclo a la unidad de Mezcla, con el cambio de impeler (cambio de 8 a 10 in) propuesto por ECOPETROL S.A, cumple con las exigencias de presión requeridas para la transferencia de ALC a la mezcla.
- La presión de descarga requerida de cada componente al cabezal de Combustóleo Liviano debe ser mayor a 89.7 Psig y para Combustóleo Liviano debe ser de 74 Psig, estos resultados se pueden observar en el ANEXO 2 y el la tabla 24.

Tabla 24. Presión de cada componente en la entrada el cabezal de combustóleo

COMPONENTE	Combustóleo Liviano	Combustóleo Pesado
	(Psig)	(Psig)
Cabezal de mezcla	89.7	74
Combustóleo Base I	92.8	77.8
Combustóleo Base II	91.1	76.3
ALC	91.0	75.4

- Cada componente cumple con la presión necesaria para entrar al cabezal de mezcla, tanto para el mezclador de combustóleo liviano (89.7 Psig) y el mezclador de combustóleo pesado (74 Psig).
- Para los nuevos flujos de trabajo las UCM de combustóleos no presentan altas velocidades que puedan producir una acelerada erosión, la velocidad más alta se presenta en la línea de recibo del tanque K-948 (9.4 ft/s- línea de 10 in) la cual es bastante menor a la velocidad crítica donde se puede presentar acelerada erosión (15 ft/s).
- La línea que transporta Combustóleo Base II (10 in), presenta altas caídas de presión (1.10 Psig / 100 ft) restringiendo el flujo a una rata máxima de 1400 GPM con la Válvula de control totalmente abierta, esto se solucionará cuando se habilite el tanque K-7 para este componente (Línea 12 in), pues las pérdidas por fricción en la tubería serán menores.

3.3 Protocolos de mezcla para la UCM de gasolina.

Los métodos utilizados para el cálculo de los protocolos de mezcla se pueden observar en la tabla 25.

- Los modelos se validaron con diferentes protocolos de mezcla realizados, presentando muy buenos resultados, para el índice antidetonante presenta una desviación de 0.2 octanos y para el RVP de 0.5 psi.

- En le ANEXO 8, se pueden observar algunos protocolos de mezcla realizados durante el primer trimestre del 2005, con sus respectivos datos de análisis de laboratorio.

Tabla 25. Modelos matemáticos de las propiedades de la Gasolina¹⁵

Modelo StarBlend	Disponible para	Descripción
Lineal por volumen	Benceno, Azufre y Aromáticos	Combinación algebraica de las propiedades de las existencias.
Lineal por masa	Azufre	Combinación algebraica de las propiedades de las existencias pesadas según densidad.
Método de Índice	RVP	Eleva el RVP de cada existencia a un potencia, las mezcla linealmente, eleva el reciproco a esa potencia para volver al dominio estándar.
Método iterativo DuPont	RON, MON	Cálculo no lineal de los efectos que tiene una de las existencias sobre todas las demás. Los coeficientes se desarrollan en base a resultados experimentales con las existencias reales para mezclado para un cliente.
Índice de mezclado D-86	Destilación D-86	Transforma cada valor D-86 utilizando una función exponencial, mezcla linealmente los valores transformados y luego reconvierte al dominio de la temperatura con una función logarítmica.

Manual de operación Blending de gasolina, 2004. Área Materias primas

¹⁵ Rodríguez, F. Manual de operación Blending de gasolina, 2004. Materias primas. P.47.

3.4 PUESTA EN SERVICIO DE LAS UCM DE GASOLINA Y COMBUSTÓLEO.

3.4.1 Unidad de Mezcla para Gasolina: Se realizó seguimiento durante tres meses a las preparaciones de gasolina mediante el sistema de control de mezcla. Las preparaciones iniciales (tres meses) de Gasolina Regular se realizaron en forma automática mediante la UCM, con tres componentes y sin analizadores de las propiedades en línea, en la tabla 26, se presentan los datos de operación:

Tabla 26. Resultados de la operación de la UCM de Gasolina Regular.

Características	Flujo	% apertura válvula
	(GPM)	
Nafta Craqueada	3096.1	83.5
Nafta Virgen	2023.0	80.2
Nafta de aromáticos	255.5	16.3
Presión en el cabezal de mezcla	54 Psig	
Nafta Craqueada	3302.7	92
Nafta Virgen	2059.4	90
Nafta de aromáticos	323.3	24.1
Presión en el cabezal de mezcla	55 Psig	

- La unidad de control de mezcla de gasolina ha funcionado perfectamente desde el punto de vista hidráulico, no se han presentado altas presiones en las líneas de proceso y cada componente ha vencido la presión para entrar al cabezal de mezcla. Se comprobó que la presión obtenida en la simulación para el cabezal de mezcla (50.8 Psig) es bastante cercana a la obtenida en operación (50-55 psig).
- Los componentes de trabajo para la mezcla de gasolina solo fueron tres: Nafta Craqueada K-954, Nafta Virgen K- 950, Nafta de Aromáticos K-950. No se trabajó con el componente Aromatizados (K-1812), pues el tanque de

almacenamiento se encontraba en mantenimiento, este componente se almacenó con la nafta de aromáticos en el tanque K-956. Se recomienda habilitar este tanque y así realizar la dosificación de Aromáticos de manera controlada a la mezcla.

- No se trabajó la UCM con Gasolina Pozos Colorados y Nafta virgen de Cartagena, pues estos componentes durante dos años no se reciben en ECOPETROL S.A, se recomienda buscar nuevos componentes para utilizar estas dos unidades para la mezcla y así aumentar los grados de libertad en las preparaciones.
- Las preparaciones de Gasolina Extra no se realizaron mediante la UCM por falta de los analizadores de RON y RVP, además por falta del componente de Aromatizados (componentes de alto octano), el cual es el que aumenta el índice antidetonante de la gasolina.
- Se presentó gran inestabilidad en las propiedades del Componente de Nafta de Aromáticos debido a los desvíos constantes de aromatizados (corrientes de Tolueno- Xileno por altos inventarios y de Platformado) por ausencia de almacenamiento.
- Se realizó control en los excedentes de calidad solo de una propiedad, el índice antidetonante. Los tres componentes utilizados presentan un RVP muy cercanos a 8.0 psi, siendo imposible realizar un control de esta propiedad. Se recomienda buscar nuevos componentes en la refinería para utilizarlos en la mezcla y aumentar el número de grados de libertad de las preparaciones y así realizar control de diferentes propiedades.
- Se recomienda iniciar las preparaciones de gasolina extra mediante la UCM, y así aumentar los beneficios económicos para la empresa.

En la tabla 27 y en las figuras 11, 12 y 13, se presenta el resumen de las preparaciones de gasolina durante los años 2003-2004 y durante el primer trimestre del 2005. En el ANEXO 6 se puede observar el seguimiento mes a mes de las preparaciones.

Tabla 27. Preparaciones de Gasolina durante el 2003, 2004 y UCM

AÑO	Barriles Entregados	Δ IA	Δ RVP	% Reprocesos	Índice de Reprocesos
GASOLINA REGULAR					
2003	25.246.099	0.29	0.28	23.1	3
2004	24.438.072	0.19	0.55	28	3
UCM	5.902.789	0.18	0.61	33.3	3
GASOLINA EXTRA					
2003	2.137.654	0.172	0.94	33.7	14
2004	1.874.823	0.159	0.76	30.0	14
2005	524.937	0.22	0.90	25.0	11

Δ IA Y Δ RVP= Excedentes en calidad por Índice Antidetonante y por RVP con relación a la especificación.

El índice de reproceso es la relación entre el número de reprocesos y preparaciones totales realizadas y el índice de reprocesos es la relación entre el número de reprocesos por cada millón de barriles de producto entregado con visto bueno.

Figura 11. Excedente en calidad del Índice Antidetonante Gasolina Regular

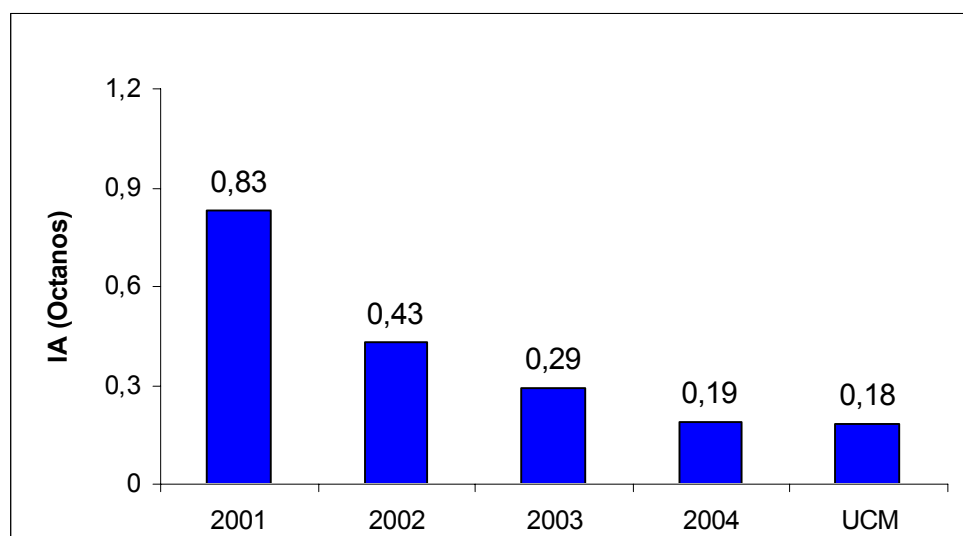
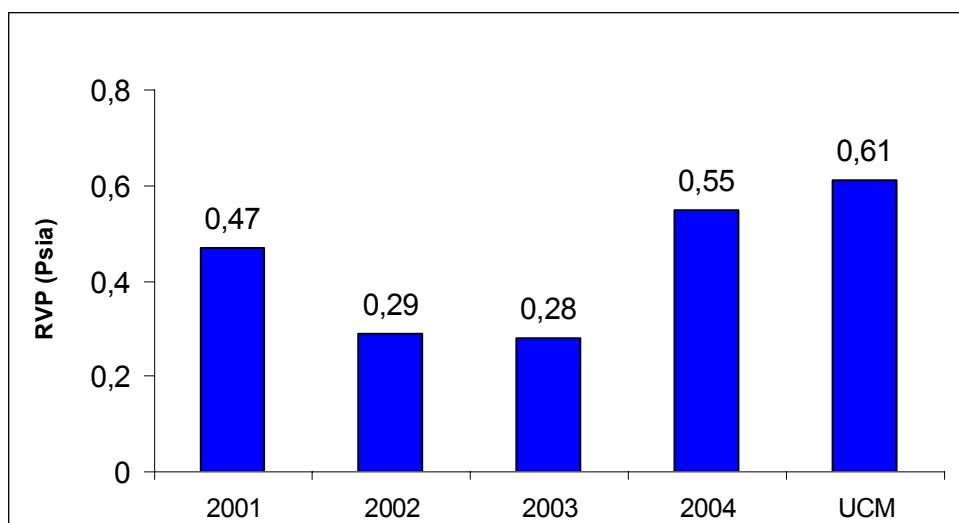
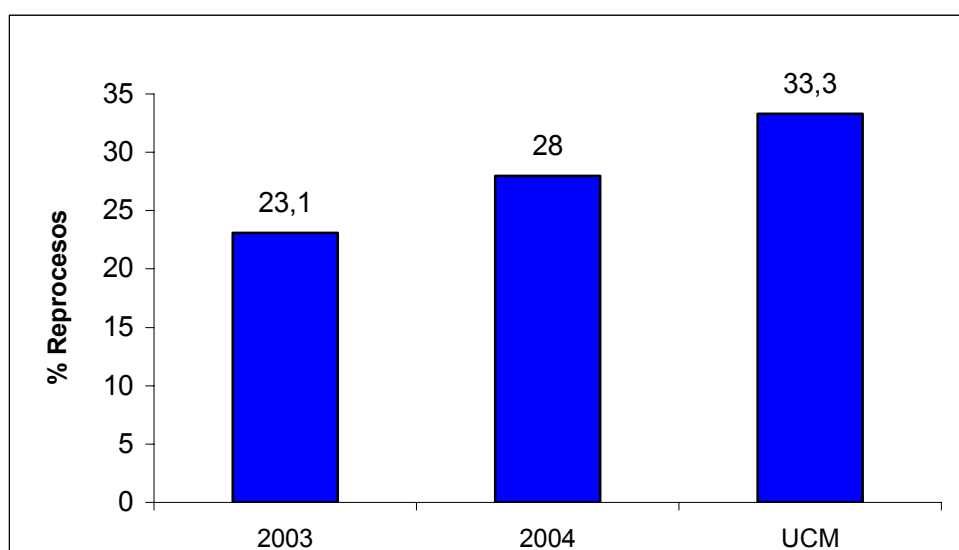


Figura 12. Excedentes en calidad del RVP para Gasolina Regular



RVP: Presión de vapor

Figura 13. Porcentaje de reprocesos para Gasolina Regular



Análisis de Resultados: Se presentó un aumento en el Porcentaje de Reprocesos en las preparaciones de Gasolina Regular mediante la UCM (33.3%), las principales causas son las siguientes:

✓ Inestabilidad en las propiedades del Componente de Nafta de Aromáticos, debido a los desvíos constantes de corrientes de Tolueno- Xileno por altos inventarios y de Platformado por ausencia de almacenamiento.

✓ Durante el 2003 y 2004 se realizaban dos análisis diarios en el laboratorio para RON y el tiempo de preparación era mayor (Rata de Flujo: 4700 BPH), presentando la posibilidad de realizar varios ajuste en el protocolo de mezcla. Durante las preparaciones mediante la UCM se realizan en menor tiempo (Rata de flujo: 8500 BPH) y solo se tiene un dato diario de las propiedades de los componentes, lo cual no permite realizar modificaciones en el protocolo de mezcla inicial.

✓ No están en servicio los analizadores para obtener datos en tiempo real de RON, MON, RVP entre otras, y de esta manera poder hacer modificaciones en las relaciones de mezcla.

Durante el primer trimestre del 2005 mediante la operación con UCM de Gasolina Regular se ha presentado un excedente de calidad por Índice Antidetonante de 0.18 –0.19 Octanos, el cual se puede disminuir mediante la operación de los analizadores. Se presenta alto regalo de calidad por propiedades como Aromáticos, Benceno, Azufre y Punto final de Ebullición en las Gasolinas los cuales son potenciales para aumentar el beneficio económico de los UCM.

Se recomienda habilitar el tanque de aromezclados (K-1812), y así realizar las preparaciones de gasolina extra mediante la UCM y así aumentar los beneficios económicos.

3.4.2 Unidad de mezcla para Combustóleo Liviano y Pesado: Las preparaciones de Combustóleo Liviano y Pesado se realizaron mediante la unidad de control de mezcla, utilizando los tres componentes de diseño y con

analizadores en línea de viscosidad y densidad. La UCM de combustóleo no se trabajó en forma automática, pues para la puesta en servicio de este, fue necesario trabajar con otros tanques y bombas que no estaban contemplados en el diseño del RBC (Control Regulatorio de Mezcla). La mezcla se realiza desde el cuarto de control, en forma semiautomática, pues el operador es quien da las órdenes de encendido y apagado de los equipos, además de controlar el flujo de cada componente mediante la variación en la apertura de las válvulas de control.

En las tabla 28, 29 y 30, se presentan los datos de trabajo durante el primer trimestre para combustóleo:

Tabla 28. Presión de operación de la UCM de Combustóleo

Producto	Flujo	ΔP mezclador	P cabezal mezcla
	(GPM)	(Psig)	(Psig)
Combustóleo Liviano	2310	14	88
Condición de diseño	1750	15	120
Combustóleo Pesado	1750	15	60
Condición de diseño	1160	15	120

Tabla 29. Resultados de la operación de la UCM de Combustóleo Liviano

Características	ALC	BASE I	BASE II	CABEZAL
Flujo (GPM)	209	671	1371	2251
% Apertura de la válvula	38.3	58.6	99.7	
Presión (Psig)				74
Flujo (GPM)	256	749	1307	2312
% Apertura de la válvula	98	47.3	100	
Presión (Psig)				88

Tabla 30. Resultados de la operación de la UCM de Combustóleo Pesado

Características	ALC	BASE I	BASE II	CABEZAL
Flujo (GPM)	0	238	1251	1489
% Apertura de la válvula	0	25	100	
Presión (Psig)				58
Flujo (GPM)	0	178	1260	1438
% Apertura de la válvula	0	19	100	
Presión (Psig)				50

- El mezclador de Combustóleo Liviano, para su nuevo flujo de trabajo (tabla 28), presenta una caída de presión (14 Psig) cercana a la de diseño (15 Psig), se considera que el sistema esta trabajando correctamente, pues el flujo de trabajo que genera esta caída de presión es mayor al flujo de diseño.
- Con el nuevo sistema de trabajo (tanques y bombas) el flujo máximo que se puede alcanzar para el combustóleo Base II es de 1370 gpm, trabajando la válvula de control totalmente abierta.
- Para Combustóleo Pesado se ha trabajado a una rata de flujo de 2500 BPH (1750 GPM) presentando una caída de Presión de 15 Psig (diseño: 15 Psig) y una presión de entrada al cabezal de 60 Psig (Diseño: 120 Psig), siendo bastante aceptables con respecto al diseño, pues se esta trabajando a un flujo mayor al de diseño (1700 BPH), ver tabla 28.
- Los sistemas de bombeo de los componentes, combustóleo base I y Aceite Liviano de Ciclo, a pesar de cumplir con los requerimientos de presión, presentan problemas de vibración y cavitación, debido a que el flujo mínimo de diseño de las bombas, es mayor al flujo con el que se esta trabajando en la mezcla. Las bombas de ALC, trabajan con el cuadro de control de flujo mínimo totalmente abierto. En la tabal 31 se presenta los flujos de trabajo de las bombas:

Tabla 31. Flujo de trabajo de las bombas de la UCM de Combustóleo

MEZCLAS	ALC	Base I	Base II
	(GPM)	(GPM)	(GPM)
Combustóleo Liviano	315	700	1330
Combustóleo Pesado	0	280	1260
Preparación simultánea	140	420	1120
Flujo mínimo de las bombas	1140	720	900

- Las preparaciones de Combustóleo Pesado se realizan solamente con Combustóleo Base I y Base II, pues el Flujo requerido de ALC es muy pequeño (140 GPM) causando daños en la bomba.

- No se han realizado preparaciones de combustóleo liviano y pesado en forma simultánea, principalmente porque los flujos de trabajo de cada componente son muy pequeños causando daños en las bombas. Se recomienda reemplazar las bombas de ALC y Combustóleo Base I por unas de menor capacidad.

En la tabla 32 y en las figuras 14, 15 y 16, se presenta el resumen de las preparaciones de Combustóleo durante los años 2003-2004 y durante el primer trimestre del 2005. En el ANEXO 6 se puede observar el seguimiento mes a mes de las preparaciones.

Tabla 32. Preparaciones de Combustóleo 2003, 2004 y UCM

AÑO	Volumen	ΔAzufre	$\Delta\mu$	ΔAPI	% Reprocesos
	(Bls)	(%w/w)	(%w/w)	(API)	
Combustóleo Liviano					
2003	9.554.545	0.289	2.0	1.1	100
2004	10.973.657	0.262	2.2	1.9	100
UCM	2.791.591	0.17	1.9	1.28	8
Combustóleo Pesado					
2003	3.233.642	0.14	19.9	0	100
2004	3.698.075	0.10	13.9	0.3	96
UCM	524.937	0.01	11.5	0.09	53

Δ Azufre, Δ Viscosidad y Δ API = Es el regalo de calidad de cada una de las propiedades.

Figura 14. Excedente en calidad de Viscosidad para Combustóleo Liviano.

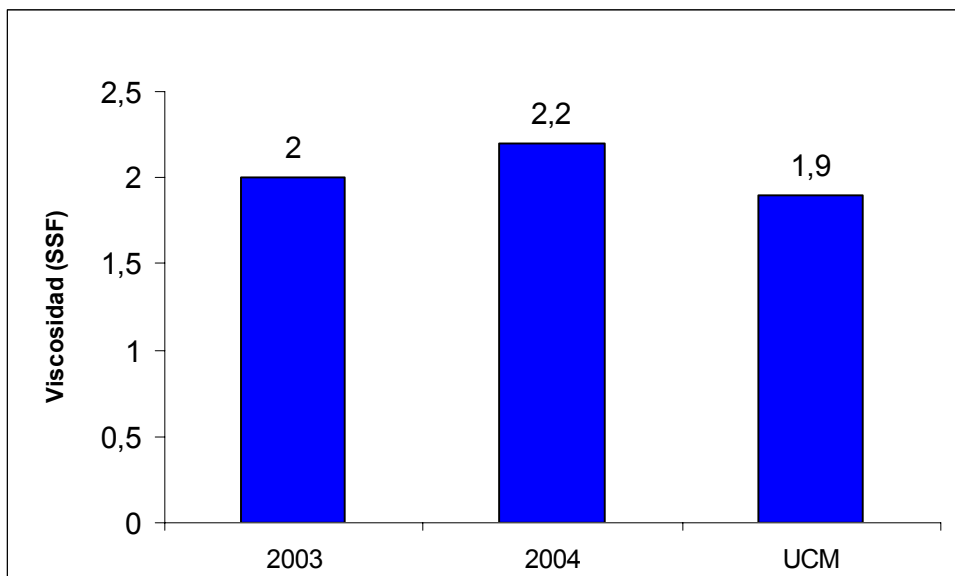


Figura 15. Excedente en calidad de Viscosidad Combustóleo pesado

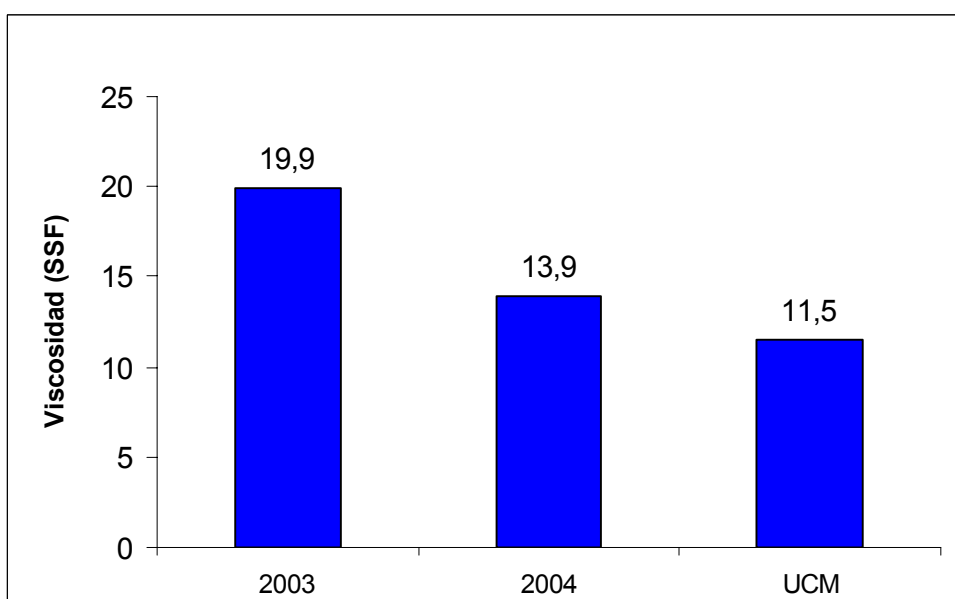


Figura 16. Excedente en calidad de Azufre Combustóleo Liviano

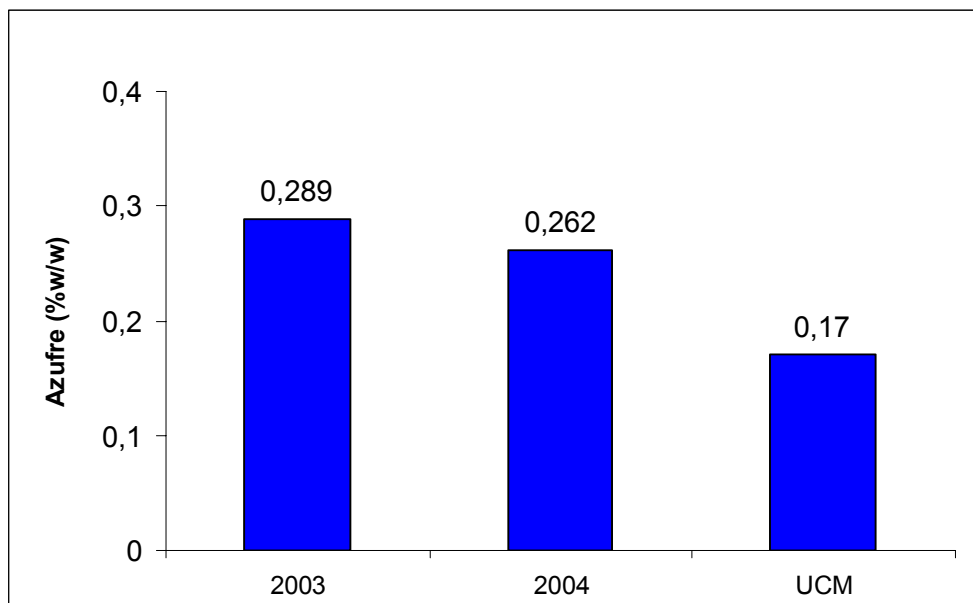
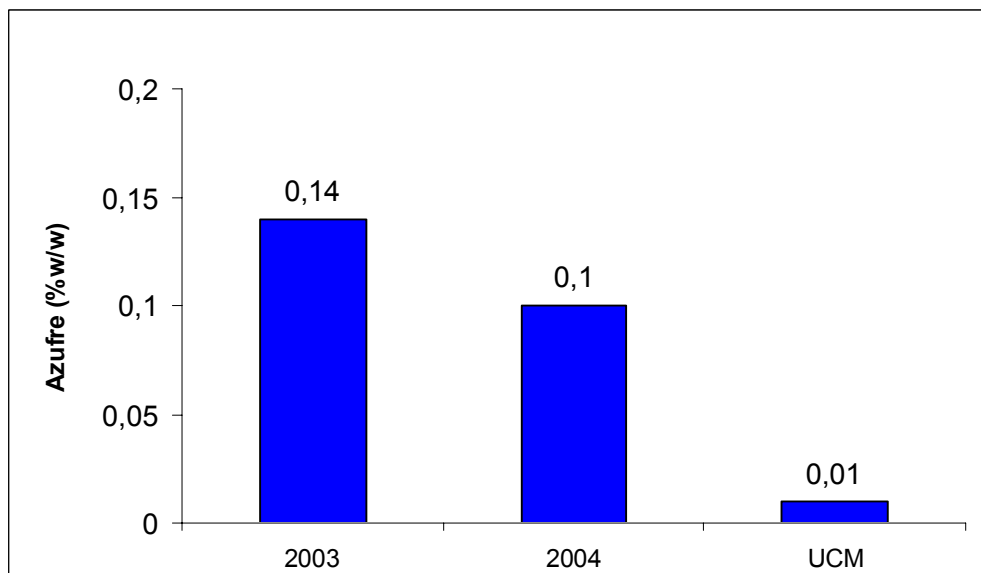


Figura 17. Excedentes en calidad de Azufre para Combustóleo Pesado



Análisis de Resultados:

- La puesta en servicios del Analizador de Viscosidad de Combustóleo Liviano a disminuido los excedentes en Calidad y principalmente el porcentaje de reprocesos pasando de un 100% a un 8%.

El Regalo de Calidad por Viscosidad y porcentaje de reprocesos en Combustóleo Pesado se han disminuido, pero aun existe un delta bastante grande (figura 5), esto se debe principalmente a la falta de confiabilidad del viscosímetro. Se recomienda definir la desviación estándar del Viscosímetro de combustóleo pesado (realizar validación), además se debe cambiar la curva de calibración del viscosímetro.

- La disminución en el Regalo de Calidad por Azufre se debe principalmente a la carga (Petróleo), ya que durante este trimestre ha presentado alto contenido de azufre (el analizador de azufre no esta en servicio).
- En las preparaciones de la UCM, solo se realiza control de excedentes en Calidad por Viscosidad, no obstante con los tres componentes se puede optimizar una segunda propiedad (azufre o API).
- Se recomienda ensayar y poner en servicio la bomba P-3202 A, para bombear el componente combustóleo base I, y así evitar daños en la bomba P-3203, la cual esta trabajando por debajo de su guía de control de flujo mínimo; además se requiere reparar la bombas P-3205 y habilitar el tanque K-7 para Combustóleo base I, y de esta forma trabajar con la estructura existente en el RBC para la UCM de combustóleo.

- Para evitar problemas en las bombas de Aceite Liviano de Ciclo (ALC), las cuales trabajan con el cuadro de control de flujo mínimo totalmente abierto, se recomienda colocarle un reductor de velocidad o cambiarles el imple a uno de menor diámetro.
- Se debe definir la desviación estándar del Viscosímetro de combustóleo pesado (en periodo de validación), ya que no se tiene confiabilidad en sus resultados, se recomienda cambiar la curva de calibración del viscosímetro.

3.5 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS UCM.

En las figuras 18, 19 y 20 se presenta el dinero dejado por percibir por ECOPETROL S.A, debido a excedentes de calidad en los combustibles y por reprocesos y análisis de laboratorio innecesarios en las preparaciones.

Figura 18. Dinero por percibir por un millón de barriles en Gasolina Regular

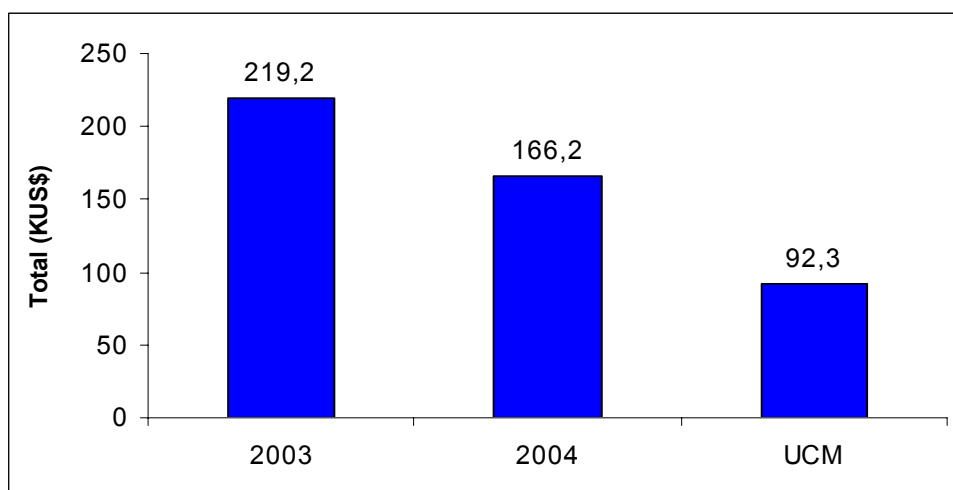


Figura 19. Dinero por percibir por un millón de Barriles en Combustóleo Liviano.

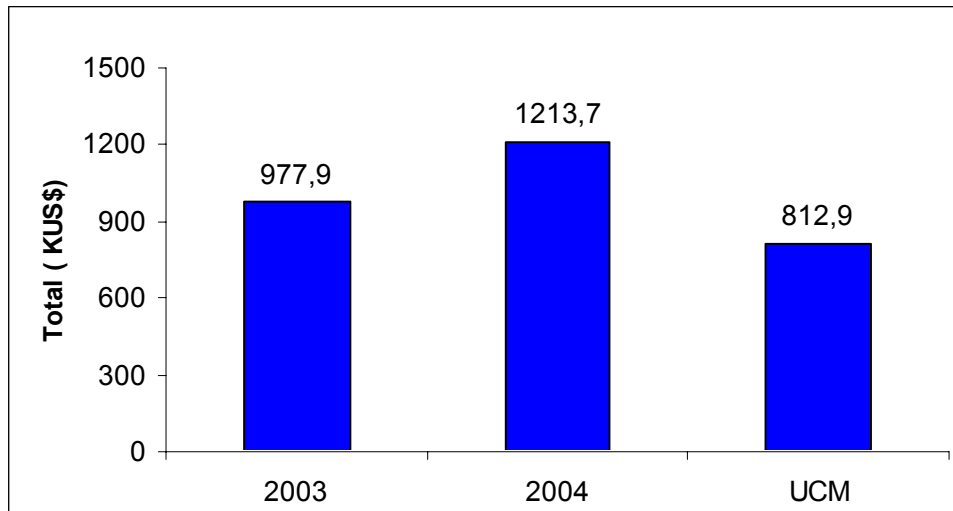
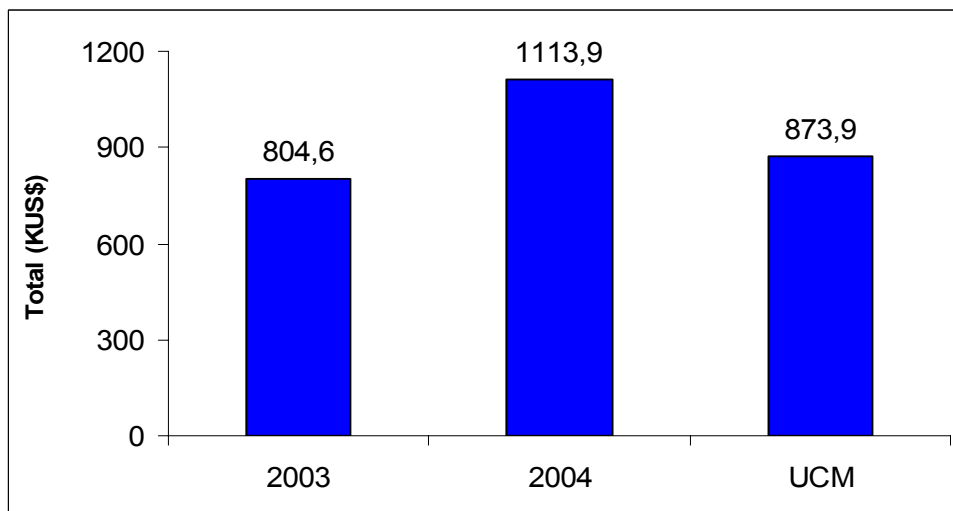


Figura 20. Dinero por percibir por un millón de Barriles en Combustóleo Liviano.



3.5.1 Beneficios de las unidades de control de mezcla: Los Beneficios de las UCM, principalmente se enfocaron al ahorro por reprocesos (consumo de energía y análisis de laboratorio), ahorro por disminución en los excedentes de calidad de los combustibles preparados, principalmente en Índice Antidetonante y viscosidad.

Análisis UCM de Gasolinas:

- Se presentó un aumento en las ganancias por disminución en el regalo de calidad en Índice Antidetonante y disminución en los costos por reprocesos, para las preparaciones de Gasolina Regular mediante la UCM, equivalente a 116.7 KUS\$ para 5902789 Barriles producidos durante el primer trimestre del 2005, esta información se presenta en la tabla 33.
- No se ha presentado ganancias por regalo de calidad en presión de vapor (RVP), pues no se esta realizando control de esta propiedad (no esta en servicio el analizador y no se tienen los componentes adecuados para realizar le control de esta propiedad).
- El costo por operación de equipos aumentó debido principalmente al mayor número de bombas que están trabajando.

Tabla 33. Ganancias UCM de Gasolina Regular primer trimestre 2005

PERIODO	ΔIA	ΔRVP	NÚMERO DE REPROCESOS
	(Octanos)	(Psi)	
Caso Base	0.24	0.42	20
UCM	0.18	0.60	19
Delta ganancia	0.06	-0.18	1
Ganancia (KUS\$)	116.2	0.0	0.5

Análisis UCM de Combustóleos:

- Mediante la UCM de Combustóleo Liviano con analizador de Viscosidad se ha controlado el porcentaje de reproceso y el regalo de calidad por Viscosidad, obteniendo un beneficio económico de 796.5 KUS\$ para 2.791.591 Barriles producidos en el primer trimestre del 2005. Esta información se presenta en la tabla 34.

- Mediante el SICOM de Combustóleo Pesado con analizador de Viscosidad en línea se ha controlado el porcentaje de reproceso y el regalo de calidad por viscosidad, obteniendo un beneficio económico de 868.0 KUS\$ para 942.125 Barriles producidos en el primer trimestre del 2005. Esta información se presenta en la tabla 35.

En el ANEXO 7, se presenta el dinero por percibir durante las preparaciones del primer trimestre del 2005, para las diferentes propiedades de los combustibles.

Tabla 34. Ganancia UCM de Combustóleo Liviano primer trimestre 2005

PERIODO	ΔAPI	ΔViscosidad	ΔAzufre	Número de reprocesos
	(API)	(SSF)	(%w/w)	
Caso Base	1.48	2.14	0.28	30
UCM	1.25	1.9	0.17	2
Delta ganancia	0.23	0.24	0.11	28
Ganancia (KUS\$)	193.8	69.3	524.7	8.7

Tabla 35. Ganancia UCM de Combustóleo Pesado primer trimestre 2005

PERIODO	ΔAPI	ΔViscosidad	ΔAzufre	Número de reprocesos
	(API)	(SSF)	(%w/w)	
Caso Base	0.3	16.91	0.12	20.3
UCM	0.09	10.6	0.01	10.0
Delta Ganancia	0.21	6.31	0.11	10.3
Ganancia (KUS\$)	58.0	612.7	188.9	80.4

4. CONCLUSIONES.

- Los sistemas de control de mezcla (UCM) de gasolina y combustóleo, cumplen con los requerimientos en capacidades y dimensiones necesarios para su completa operabilidad, además de cumplir con los requerimientos de flujos exigidos por ECOPETROL S.A.
- El área de materias primas presentaba un método de preparación de combustibles de forma manual, generando diferentes pérdidas económicas por alto porcentaje de reprocesos y excedentes en calidad de los combustibles, generando pérdidas anuales de 2493.8 KUSD\$.
- La puesta en operación de las unidades de control de mezcla, se realizó con éxito y actualmente se encuentra trabajando las UCM de gasolina en forma automática y las UCM de combustóleo en forma semiautomática, con analizadores en línea de propiedades como: viscosidad y densidad.
- Los beneficios más importantes obtenidos mediante la operación de las unidades de control de mezcla (UCM) de gasolina y combustóleos son: la automatización de la operación de mezclado, el menor tiempo de preparación, la reducción en los excedentes de calidad y el menor número de reprocesos, principalmente en las preparaciones de combustóleo, pasando de un 100% a un 8% en reprocesos para combustóleo liviano y a un 53% para combustóleo pesado.
- Se presentó un aumento en las ganancias para la empresa, mediante las preparaciones con las Unidades de Control de Mezcla, principalmente por reducción de reprocesos y de excedentes de calidad. Para el primer trimestre del 2005 mediante la UCM de Gasolina se ha presentado unas ganancias de

116.7 KUS\$ y para la UCM de combustóleo se ha presentado unas ganancias de 945.3 KUS\$.

- En las UCM de combustóleo liviano y pesado, después de la validación del viscosímetro y teniendo definida la precisión y exactitud de la medición, se lograra reducir los excedentes de calidad en viscosidad hasta un 0.5 SSF y reducir el porcentaje de reprocesos a un 6% mensual.

5. RECOMENDACIONES.

- Con el fin de aumentar los beneficios económicos en el proceso de mezclado y minimizar las pérdidas por reprocesos y por excedentes de calidad de los combustibles, se requiere definir semanalmente la cantidad máxima del componente Nafta de aromáticos a dosificar a la mezcla de Gasolina Regular debido a la inestabilidad de sus propiedades (RON, MON) y a la alta corrosión de esta corriente.
- Se recomienda trabajar las Unidades de Control de Mezcla en automático y con los analizadores de las diferentes propiedades para el producto y así lograr un control de flujo de cada componente disminuyendo las pérdidas por excedentes de calidad y número de reprocesos en las preparaciones.
- Se debe realizar programas de mantenimiento en las líneas principales de las unidades de mezcla y en los equipos (bombas, medidores, válvulas y mezcladores) que permita tener mayor confiabilidad en la operación.

6. BIBLIOGRAFÍA

Acosta M. Ezequiel. Memorias bombas centrifugas. Barrancabermeja, ECOPETROL S.A, 1999.

COSEING Ltda. – JCPR. Ampliación y Actualización de los elementos externos de la GCB. 2001. p 1-20.

CRANE. Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías. México,,: McGRAW-HILL. 1990. p. 3.2 a 3-52.

ECOPETROL S.A. Criterio de dimensionamiento de las líneas de ECOPETROL. 2004. p. 40

MOTT, Robert L. Mecánica de fluidos aplicada. México,,: Prentice Hall, 1996. p.260-290.

MORALES, Enrique y GARCÍA Felipe. Informe de entrenamiento departamento de Materias Primas y productos. Barrancabermeja. 1998. p 1-79.

RODRÍGUEZ. Francisco. Expansión y modernización tecnológica de todos los elementos externos del CIB, Documento de diseño funcional (FDD). 2000. P 1-150.

Disponible en Internet: <http://www.abb.com/global/seitp>.

Disponible en Internet: <http://www.ecopetrol.com.co/especialidade/catalogos>

Disponible en Internet: GOULDS PUMP. Manual de selección de bombas: <http://www.gouldspumps.com>

ANEXOS

ANEXO 1. Perfiles de Presión de la UCM de Gasolina

Tabla 36. Perfiles de Presión en la sección de mezcla UCM de Gasolina

Línea Entrega de Gasolina K-939		Diámetro	Lequiv.	Flujo	Velocidad	Pérdidas (hL)	Presión
DESDE	HASTA	(in)	(FT)	(GPM)	(ft/s)	(Psig)	(Psig)
Diferencia de altura de la sección			38.94	6400		12.12	12.12
Tanque K-939	Mezclador S-3939	16	5404		10.28	33.44	45.56
ΔP Mezclador estático S-3939		16				3	45.56
S-3939	S-3956	20	443.25		8.576	1.23	49.79
ΔP Mezclador estático S-3956		20				1	50.79

Línea succión Nafta Aromáticos		Diámetro	Lequiv.	Flujo	Velocidad	Pérdidas (hL)	Presión
DESDE	HASTA	(in)	(FT)	(GPM)	(ft/s)	(Psig)	(Psig)
Diferencia de altura de la sección			7.04	980		2.2	2.2
Succión K-956	Línea 20"	20	828.9		1.0	0.037	2.16
Línea 20"	Línea 12"	12	286.3		2.78	0.161	2.0
Línea 8"	P-001A/B/C	8	35.56		6.25	0.255	1.7
Línea de descarga							
P-001A/B/C	Línea 6"	6	114		11.1	2.16	111.1
ΔP turbina 4" (Psig)						1.5	108.9
Línea 8"	Válvula control	8	413.8		6.25	1.9	107.5
ΔP Válvula de control						53	105.6
Válvula	Cabezal mezcla	8	83		6.25	0.36	52.57
Diferencia de altura de la sección			0.88			0.277	51.9

Línea succión Nafta Craqueada		Diámetro	Lequiv.	Flujo	Velocidad	Pérdidas (hL)	Presión
DESDE	HASTA	(in)	(FT)	(GPM)	(ft/s)	(Psig)	(Psig)
Diferencia de altura de la sección			6.45	4400		2.02	2.02
Succión K-954	Línea 20"	20	1279		1.67	0.98	1.04
Línea 12"	P-002A/B/C	12	45.78		12.47	0.57	0.47
Línea de descarga							
P-002A/B/C	Línea 8"	8	146.2		12.48	2.39	111.7
ΔP turbina 8"						1.5	109.3
Línea 12"	Válvula control	12	406.5		12.47	4.28	107.8
ΔP Válvula de control						51	103.5
Válvula	Cabezal mezcla	12	121.9		12.47	1.254	52.5
Diferencia de altura			1.47			0.46	51.7

Línea succión Nafta Virgen		Diámetro	Lequiv.	Flujo	Velocidad	Pérdidas (hL)	Presión
DESDE	HASTA	(in)	(FT)	(GPM)	(ft/s)	(Psig)	(Psig)
Diferencia de altura de la sección			6.45	2625		2.02	2.02
Succión K-950	Línea 20"	20	1498		2.68	0.427	1.6
Línea 12"	P-003A/B/C	12	32.7		7.45	0.223	1.4
Línea de descarga							
P003A/B/C	Línea 8"	8	180.1		12.1	5.37	113.2
ΔP turbina 6"						2.4	107.8
Línea 10"	Válvula de control	10	458		10.74	4.47	105.5
ΔP Válvula de control						49.3	101
V. control	Cabezal de mezcla	8	104.2		12.1	0.99	51.7
Diferencia de altura			1.47			0.461	51.2

Línea succión Nafta Virgen de Cartagena		Diámetro	Lequiv.	Flujo	Velocidad	Pérdidas (hL)	Presión
DESDE	HASTA	(in)	(FT)	(GPM)	(ft/s)	(Psig)	(Psig)
Diferencia de altura de la sección			-0.15	980		-0.05	-0.05
Succión K-902	P-3525/26	16	1646.5		1.13	0.2	-0.25
Línea de descarga							
P3525/26	Línea 8"	8	200.24		6.28	0.88	114.28
ΔP turbina 4"						1	113.4
Línea 8"	Válvula de control	8	3684.5		6.28	16.35	112.4
ΔP Válvula de control						43.1	96.04
V. control	Cabezal de mezcla	8	44.23		6.28	0.2	52.94
Diferencia de altura						-0.87	51.87

Línea succión Nafta Pozos Colorados		Diámetro	Lequiv.	Flujo	Velocidad	Pérdidas (hL)	Presión
DESDE	HASTA	(in)	(FT)	(GPM)	(ft/s)	(Psig)	(Psig)
Diferencia de altura de la sección			5.9	2940		1.84	1.84
Succión K-947	Línea 20"	20	169.2		3.39	0.08	1.76
Línea 14"	P006A/B	14	972.2		6.97	2.98	-1.22
Línea de descarga							
P006A/B	Válvula de control	10	4174.8		11.96	58.57	130.0
ΔP turbina 6"						2	71.43
ΔP Válvula de control						16.0	69.4
V. Control	Cabezal de mezcla	10	102.47		11.96	1.31	53.4
Diferencial de altura						-2.13	49.99

Línea succión Aromezclados		Diámetro	Lequiv.	Flujo	Velocidad	Pérdidas (hL)	Presión
DESDE	HASTA	(in)	(FT)	(GPM)	(ft/s)	(Psig)	(Psig)
Diferencia de altura de la sección			6.32	300		1.97	1.97
Línea 6"	P-007A/B	6	1666.9		3.3	3.12	-1.15
Línea de descarga							
P-007A/B	Línea 4"	4	243.4		7.55	3.52	110.3
Línea 8"	Línea 4"	8	728.6		1.92	0.33	106.8
ΔP turbina 3"						0.3	106.5
Línea 4"	Válvula de control	4	2739		7.55	41.72	106.2
ΔP Válvula de control						10	66.5
V.control	Cabezal de mezcla	4	102.47		7.55	1.48	55.5
Diferencial de altura						-2.26	50.75

ANEXO 2. Perfiles de Presión de la UCM de Combustóleo.

Tabla 37. Perfiles de Presión en la unidad de mezcla de Combustóleo Liviano

Línea entrega de combustóleo liviano		Diámetro	Lequiv.	Flujo	Velocidad	Pérdidas (hL)	Presión
DESDE	HASTA	(in)	(FT)	(GPM)	(ft/s)	(Psig)	(Psig)
Altura del tanque K-948			39.4			17.41	17.41
Tanque K-948	Línea 10"	12	1666	2300	6.56	4.74	22.11
Línea 10"	Mezclador S-3954	10	2553		9.44	46.69	68.84
Diferencia de altura			5.65			5.66	74.5
ΔP mezclador estático						14	88.5
Mezclador	Cabezal de mezcla	10	60		9.44	1.22	89.72

Línea succión Combustóleo Base II		Diámetro	Lequiv.	Flujo	Velocidad	Pérdidas (hL)	Presión
DESDE	HASTA	(in)	(FT)	(GPM)	(ft/s)	(Psig)	(Psig)
Altura tanque K-2804			6.56	1260		2.93	2.93
Succión K-2804	Línea 12"	10	363		5.15	8.43	-5.49
Línea 12"	P-3805	12	100		5.15	2.32	-7.82
Diferencia de altura			-1.16			-0.52	-6.0
Línea de descarga							
P-3805	Línea 10"	12	5200		3.58	53.31	128.6
Línea muelle galán	Cabezal de control	10	1254		5.15	29.11	99.5
Cabezal de control	V. control	10	242.4		5.15	5.63	93.86
ΔP Válvula control						3.40	90.46
Diferencial de altura						0.65	91.11

Línea succión Combustóleo Base I		Diámetro	Lequiv.	Flujo	Velocidad	Pérdidas (hL)	Presión
DESDE	(in)	(FT)	(GPM)	(ft/s)	(Psig)	(Psig)	(Psig)
Altura tanque K-104			6.56	700		2.97	2.97
Succión K-104	Línea 16	10	103.2		2.86	0.33	2.63
Línea 16"	Línea 12"	16	562.6		1.12	0.2	2.43
Línea 12"	P-3203	12	282.2		1.98	0.39	2.04
Diferencia altura			-1.703			-0.77	1.27
Línea de descarga							
P-3203	Línea 10"	8	703		4.47	6.45	194.09
Línea de exportación	Cabezal de control	10	5046.1		2.86	16.31	177.8
Cabezal de control	Válvula de control	10	174.1		2.86	0.56	177.22
ΔP Válvula de control						94	83.22
Diferencial de altura			21.19			9.58	92.80

Línea succión ALC		Diámetro	Lequiv.	Flujo	Velocidad	Pérdidas (hL)	Presión
DESDE	HASTA	(in)	(FT)	(GPM)	(ft/s)	(Psig)	(Psig)
Altura tanque K-827			6.56	560		2.71	2.71
Succión K-827	Línea 16"	16	187.1		0.89	0.03	2.68
Línea 12"	P-3224/25	12	29.9		1.59	0.02	2.67
Diferencia de altura			-10.16			-4.19	-1.52
Línea de descarga							
P-3224/25	Línea 10"	10	40		2.29	0.05	184.7
Línea Gruesa	Cabezal de control	6	4277.6		6.36	49.31	135.4
Cabezal de control	Válvula control	6	168.3		6.36	2.52	132.9
ΔP Válvula control						43.0	89.86
ΔP medidor másico						5.0	84.86
Diferencia de altura			14.87			6.13	91.0

Tabla 38. Perfiles de Presión en la UCM de Combustóleo Pesado

Línea entrega de combustóleo Pesado		Diámetro	Lequiv.	Flujo	Velocidad	Pérdidas (hL)	Presión
DESDE	HASTA	(in)	(FT)	(GPM)	(ft/s)	(Psig)	(Psig)
Altura del tanque K-929			32.81	1750		14.6	14.64
Tanque K-929	Línea 10"	10	1673		7.15	33.78	48.38
Línea 10"	Mezclador S-3955	10	936		7.15	9.58	57.96
Diferencia de altura			1.72			0.77	58.73
ΔP mezclador estático						14	72.73
Mezclador	Cabezal	10	60		7.15	1.32	74.0
Línea succión Combustóleo Base I		Diámetro	Lequiv.	Flujo	Velocidad	Pérdidas (hL)	Presión
DESDE	(in)	(FT)	(GPM)	(ft/s)	(Psig)	(Psig)	(Psig)
Altura tanque K-104			6.56	504		2.97	2.97
Succión K-104	Línea 16	10	103.2		2.06	0.25	1.94
Línea 16"	Línea 12"	16	562.6		0.805	0.16	1.79
Línea 12"	P-3203	12	282.2		1.43	0.3	1.49
Línea de descarga							
P-3203	Línea 10"	8	674.3		2.06	1.65	190.98
Línea de exportación	Cabezal de control	10	5046.1		2.06	9.47	189.33
Cabezal de control	Válvula de control	6	44		5.72	1.16	179.86
ΔP Válvula de control						102.5	178.7
ΔP medidor másico						8	76.2
Diferencial de altura						-9.58	77.78

Línea succión Combustóleo Base II		Diámetro	Lequiv.	Flujo	Velocidad	Pérdidas (hL)	Presión
DESDE	HASTA	(in)	(FT)	(GPM)	(ft/s)	(Psig)	(Psig)
Altura tanque K-2804			6.56	1330		2.93	2.93
Succión K-2804	Línea 12"	12	363		3.77	4.03	-1.62
Línea 12"	P-3805	12	100		3.77	1.11	-2.73
Diferencia de altura			-1.16				
Línea de descarga							
P-3805	Línea 10"	12	6324		3.77	70.21	182.88
Línea muelle galán	Cabezal de control	12	1000		3.77	14.43	117.93
Cabezal de control	V. control	10	206.5		5.44	5.20	103.5
ΔP Válvula control						14	98.3
ΔP Medidor másico						8	84.3
Diferencial de altura						1.45	76.3

Línea succión ALC		Diámetro	Lequiv.	Flujo	Velocidad	Pérdidas (hL)	Presión
DESDE	HASTA	(in)	(FT)	(GPM)	(ft/s)	(Psig)	(Psig)
Altura tanque K-827			6.56	210		2.71	2.71
Succión K-827	Línea 16"	16	187.1		0.335	0.005	3.78
Línea 12"	P-3224/25	12	29.9		0.596	0.003	3.78
Diferencia de altura			2.609			1.08	
Línea de descarga							
P-3224/25	Línea 10"	10	40		0.86	0.01	180.3
Línea Gruesa	Cabezal de control	6	4277.6		2.38	8.55	180.29
Cabezal de control	Válvula control	3	115		9.54	8.52	171.7
ΔP Válvula control						86	163.21
ΔP medidor másico						8	77.21
Diferencia de altura		10				-6.13	75.35

ANEXO 3. Curvas de presión de la UCM de Gasolina

- Curva de Operación del sistema
- Curva de operación de la bomba
- Flujo de diseño del sistema

Figura 21. Curva de presión para el sistema Nafta Virgen

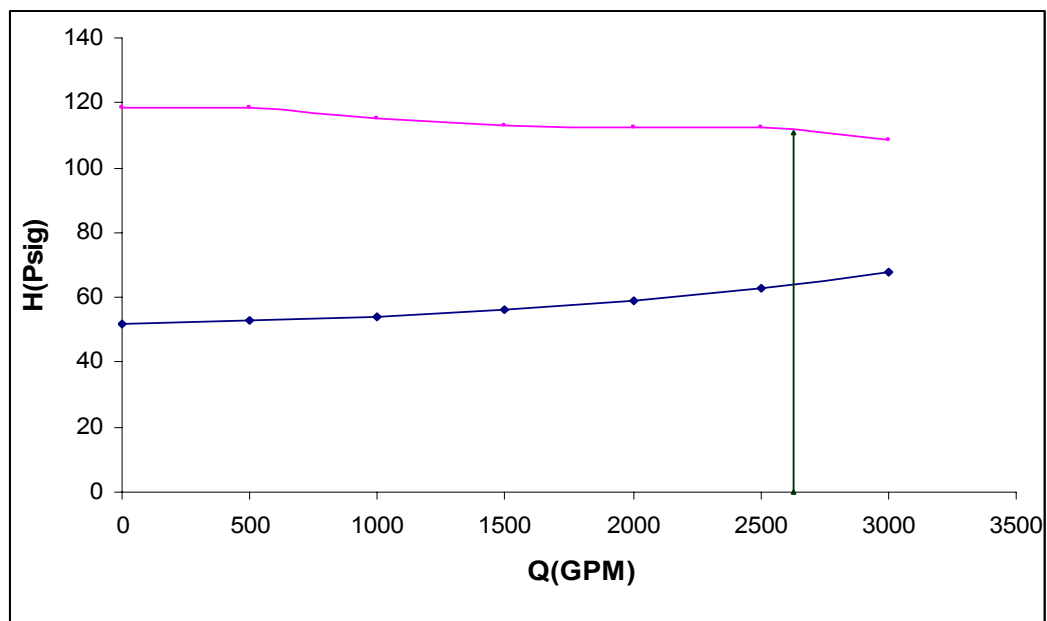


Figura 22. Curvas de Presión para el sistema de Nafta Craqueada

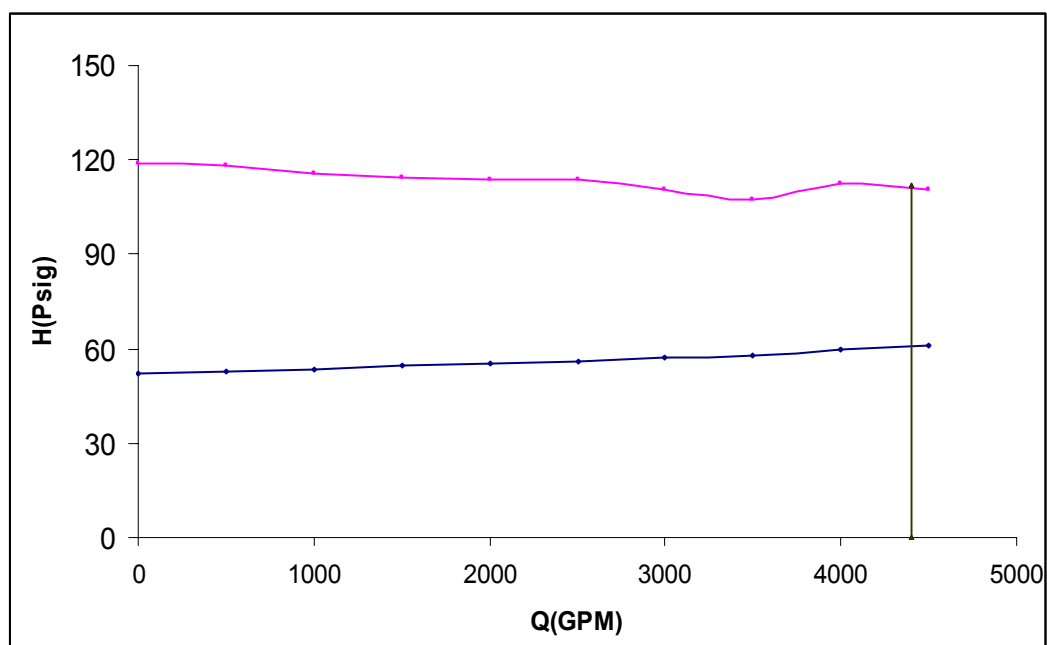


Figura 23. Curvas de Presión para el sistema de Nafta de Aromáticos

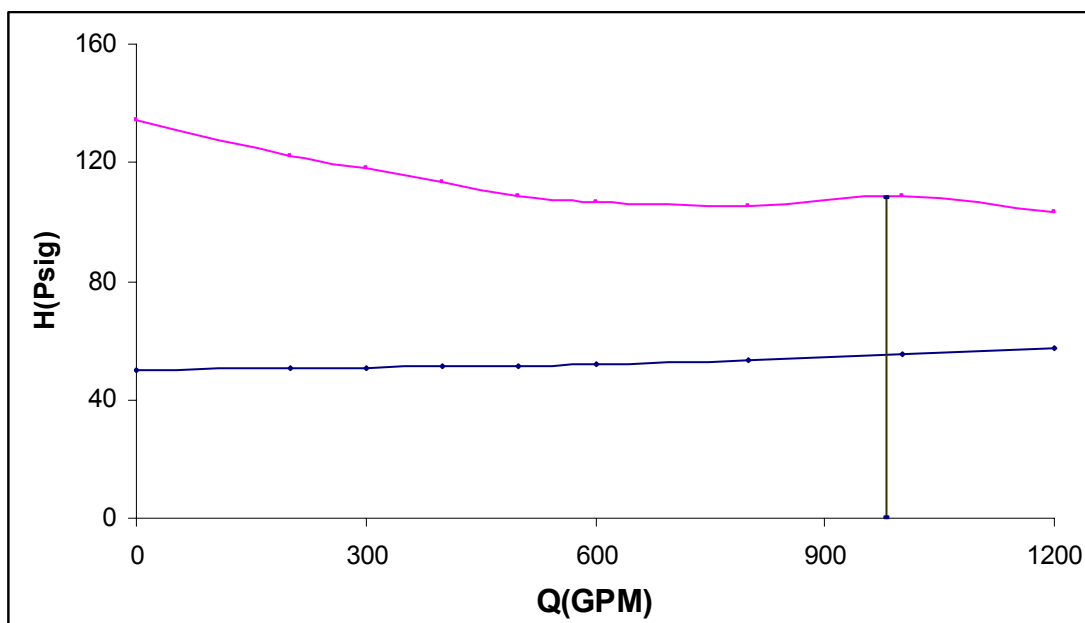


Figura 24. Curvas de Presión para el sistema de Nafta de Pozos Colorados

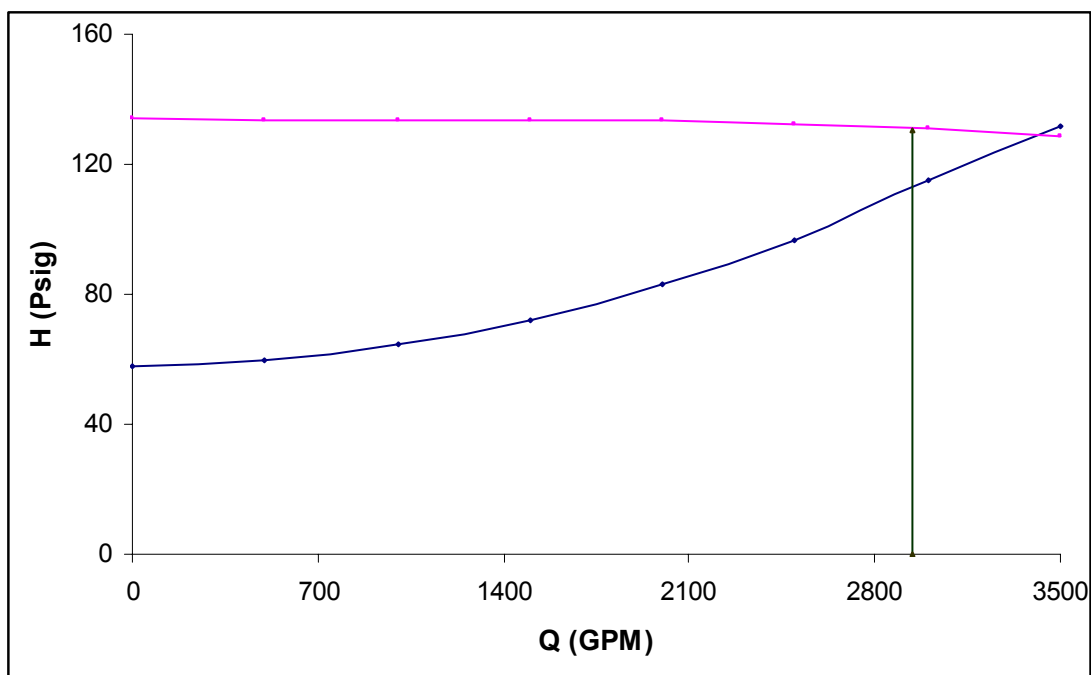


Figura 25. Curvas de Presión para el sistema Nafta de Cartagena

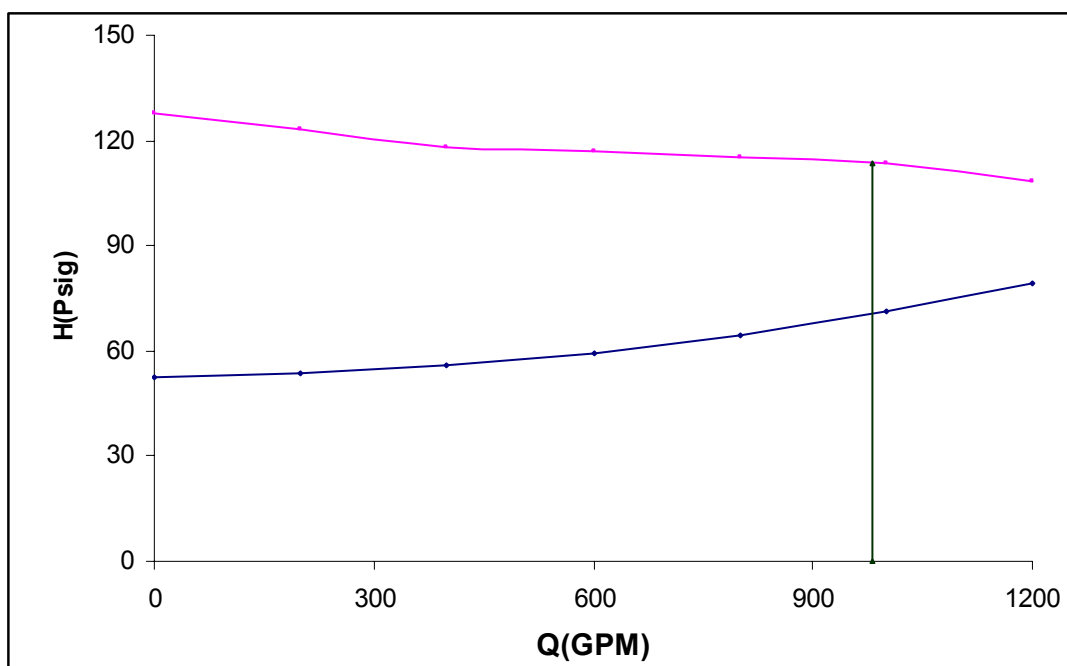
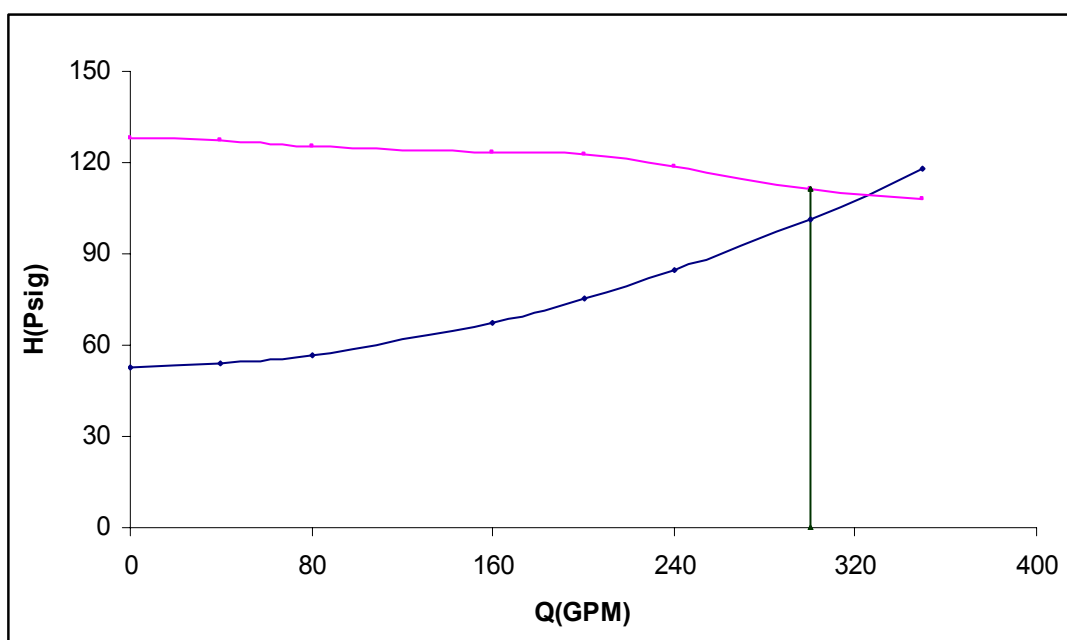


Figura 26. Curvas de Presión para el sistema Aromesclados



ANEXO 4. Curvas de Presión de la UCM de Combustóleo Liviano

Figura 27. Curvas de Presión para Combustóleo Base I

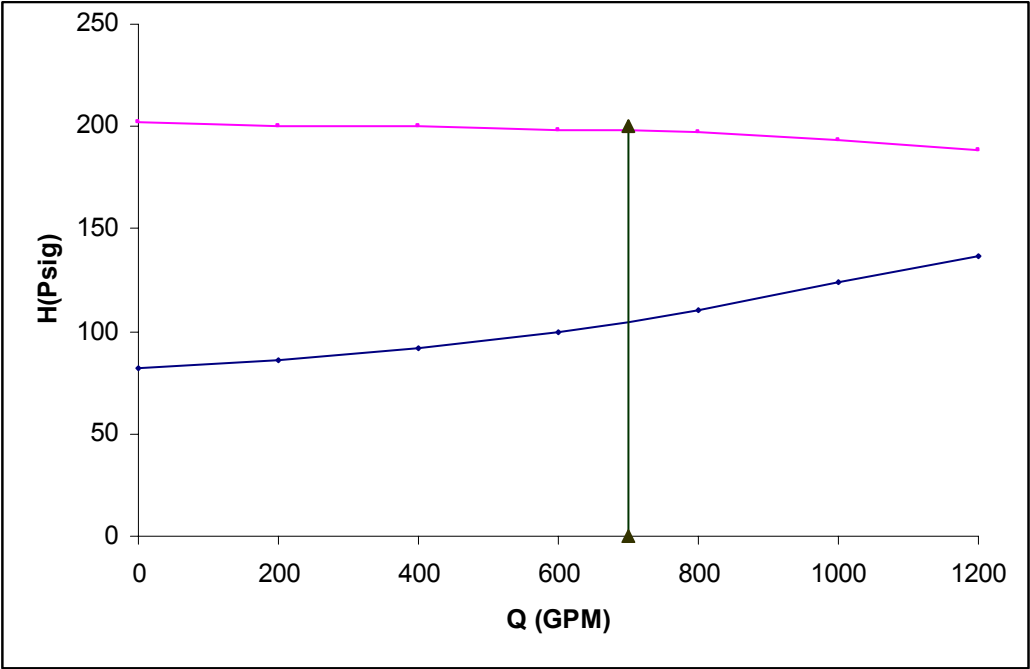


Figura 28. Curvas de Presión para Combustóleo Base II

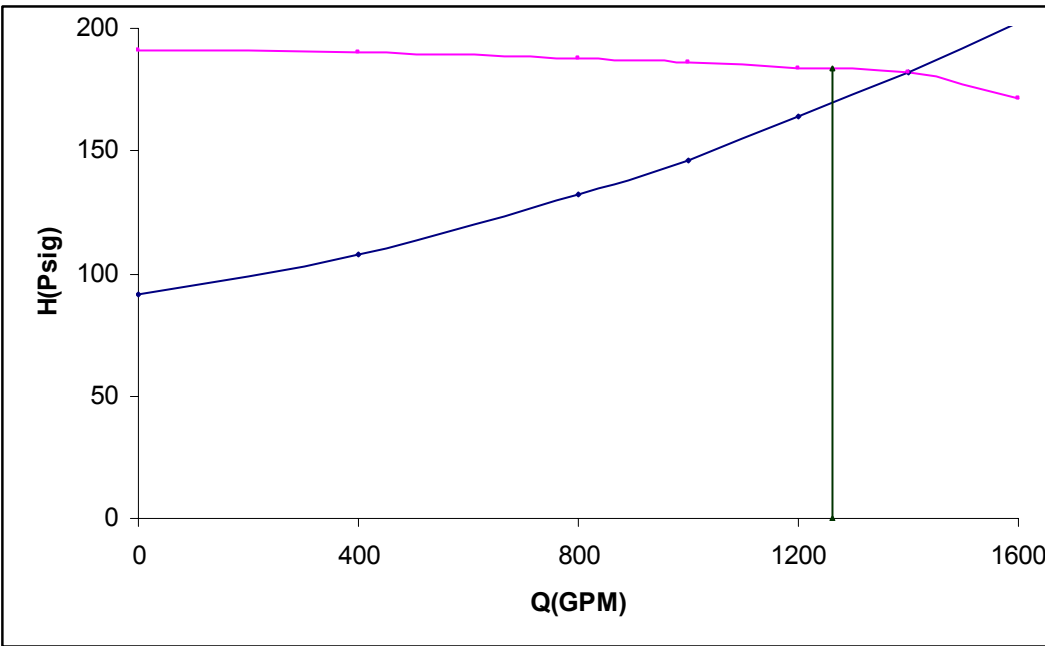
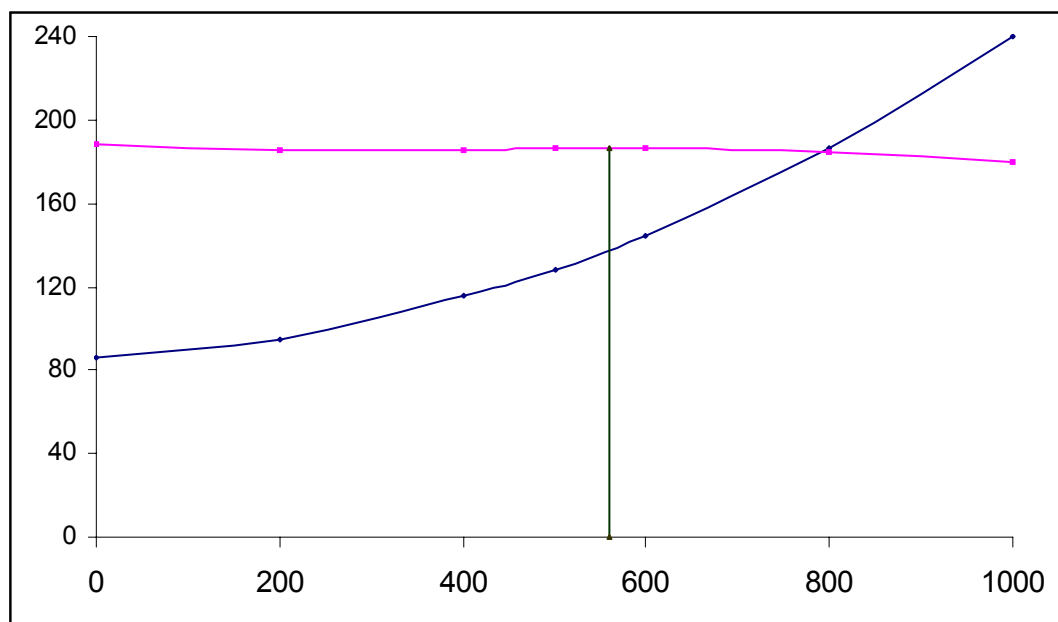


Figura 29. Curvas de Presión para ALC



ANEXO 5. Curvas de Presión de la UCM de Combustóleo Pesado

Figura 30. Curvas de Presión para Combustóleo Base I

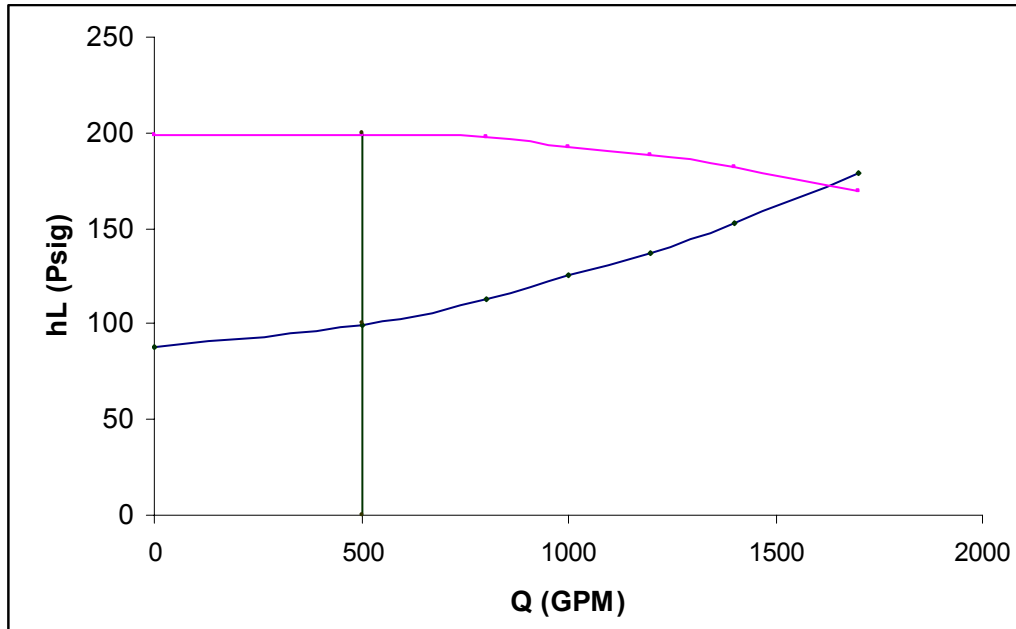


Figura 31. Curvas de Presión para el sistema de Combustóleo Base II

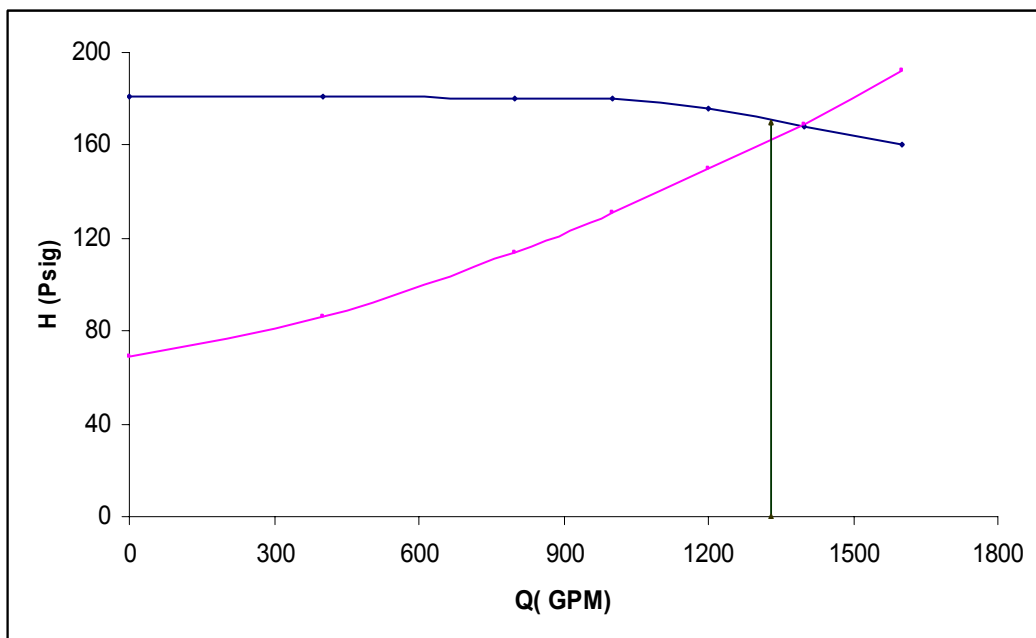
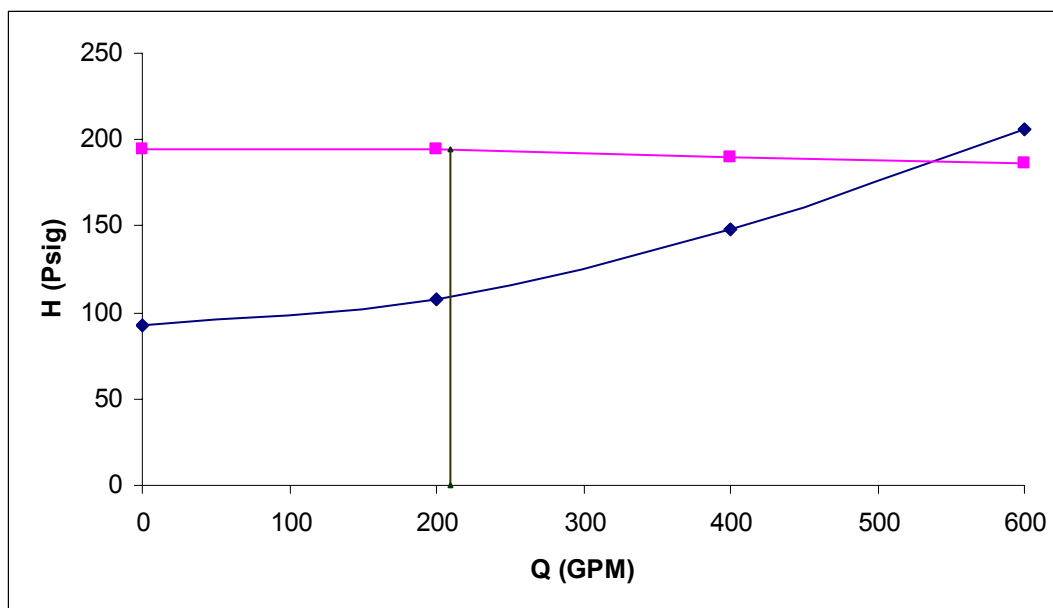


Figura 32. Curvas de Presión para el sistema de ALC



ANEXO 6. Propiedades y reprocesos en las preparaciones de Gasolina y Combustóleo.

Tabla 39. Propiedades de las preparaciones de Gasolina Regular

FECHA	Aromáticos	Azufre	Δ Benceno	RVP	PFE	IA	% Reprocesos
	(%V/V)	(%w/w)	(%w/w)	(PSI)	(°C)	(Octano)	
Ene-03	21,0	0,048	0,49	8,52	213	81,44	17,6
Feb-03	23,5	0,050	0,46	8,15	213	81,46	21,7
Mar-03	24,3	0,045	0,63	8,22	207	81,30	18,5
Abr-03	23,0	0,066	0,70	8,33	212	81,47	21,7
May-03	22,6	0,063	0,57	8,62	211	81,34	33,3
Jun-03	22,1	0,062	0,70	8,18	218	81,22	21,7
Jul-03	26,0	0,053	0,68	8,21	214	81,28	26,7
Ago-03	25,3	0,051	0,71	8,24	210	81,30	11,1
Sep-03	24,1	0,050	0,57	8,36	209	81,21	13,8
Oct-03	24,7	0,077	0,38	8,32	212	81,50	40,7
Nov-03	24,2	0,054	0,43	7,95	211	81,45	31,0
Dic-03	25,5	0,069	0,69	8,20	213	81,41	23,1
2003	23,8	0,057	0,58	8,22	212	81,37	23,1
Ene-04	22,5	0,089	0,61	8,22	215	81,47	39,3
Feb-04	21,3	0,078	0,71	8,29	213	81,47	39,1
Mar-04	23,8	0,056	0,78	8,13	212	81,43	38,1
Abr-04	23,3	0,060	0,76	8,36	213	81,56	22,7
May-04	22,9	0,045	0,77	7,96	210	81,44	43,5
Jun-04	23,0	0,046	0,80	8,57	209	81,52	47,8
Jul-04	23,2	0,059	0,78	7,63	201	81,57	20,0
Ago-04	23	0,060	0,80	7,41	211	81,36	12,5
Sep-04	23	0,057	0,80	7,56	210	81,40	19,0
Oct-04	24	0,051	0,92	7,96	211	81,44	22,2
Nov-04	19	0,059	0,65	7,91	207	81,60	20,0
Dic-04	19	0,058	0,65	7,92	207	81,57	18,2
2004	22	0,060	0,75	7,95	210	81,49	28,0

Tabla 40. Propiedades Combustóleo Liviano

Fecha	Volumen (Barriles)	Viscosidad (SSF)	Azufre (%w/w)	Pto inflamación (°C)	%Reprocesos
Ene-03	749989	48,3	1,38	76,4	100
Feb-03	865892	47,9	1,337	90,6	100
Mar-03	833834	48,3	1,387	92,3	100
Abr-03	1038355	48,1	1,422	77,0	89
May-03	698684	46,9	1,453	79,4	100
Jun-03	674901	47,9	1,415	79,6	100
Jul-03	684891	47,3	1,377	83,2	100
Ago-03	797263	47,7	1,387	95,2	100
Sep-03	880886	48,0	1,44	72,7	100
Oct-03	527085	47,4	1,452	68,9	100
Nov-03	1110360	48,7	1,449	75,5	82
Dic-03	692405	48,3	1,446	83,2	100
	9554545	48,0	1,41	81,3	143
Ene-04	915097	48,0	1,449	82,7	100
Feb-04	993267	47,2	1,395	78,4	88
Mar-04	826944	47,6	1,510	81,8	100
Abr-04	841349	48,6	1,468	80,3	100
May-04	1114499	47,1	1,389	78,6	100
Jun-04	950521	47,4	1,277	81,3	100
Jul-04	974914	47,5	1,423	84,6	100
Ago-04	709744	48,0	1,492	74,7	86
Sep-04	977220	48,1	1,455	79,7	75
Oct-04	878606	48,3	1,493	74,4	100
Nov-04	776387	48,0	1,433	75,4	100
Dic-04	1015109	47,6	1,508	72,1	100
	10973657	47,8	1,44	78,8	120

Tabla 41. Propiedades Combustóleo Pesado

Fecha	Volumen (Barriles)	Viscosidad (SSF)	Azufre (%w/w)	Pto inflamación (°C)	%Reprocesos
Ene-03	155969	293	1,583	79,6	33
Feb-03	69771	292	1,606	73,6	100
Mar-03	232712	309	1,480	77,4	100
Abr-03	144175	328	1,686	90,8	100
May-03	340862	343	1,605	84,7	83
Jun-03	352924	339	1,639	93,1	100
Jul-03	336759	334	1,543	90,9	100
Ago-03	286354	341	1,555	85,2	100
Sep-03	318082	336	1,577	81,9	67
Oct-03	303512	335	1,486	78,7	67
Nov-03	393551	329	1,546	84,1	100
Dic-03	298971	324	1,549	87,8	100
	3233642	330	1,57	84,9	100
Ene-04	217082	334	1,641	87,4	83
Feb-04	285127	331	1,509	68,5	88
Mar-04	188463	334	1,644	73,1	100
Abr-04	270803	339	1,533	82,9	100
May-04	379550	338	1,584	76,2	100
Jun-04	288860	339	1,443	79,9	100
Jul-04	343096	342	1,579	88,5	86
Ago-04	312339	325	1,650	79,8	17
Sep-04	327193	340	1,664	86,1	71
Oct-04	418813	259	1,578	77,0	33
Nov-04	385395	253	1,666	73,3	100
Dic-04	281354	253	1,671	74,6	100
	3698075	312	1,60	78,9	100

ANEXO 7. Resultados económicos para Gasolina Regular y Combustóleos.

Tabla 42. Dinero por Percibir en Gasolina Regular.

PERIODO	VOLUMEN	IA	RVP	REPROCESOS	ENERGÍA	TOTAL
	(BLS)	(KUS\$)	(KUS\$)	(KUS\$)	(KUS\$)	(KUS\$)
2003	25.246.099	5441.6	63.3	29.1	59.7	5534.0
2004	24.438.072	3106.8	920.2	34.6	63.3	4061.5
CASO BASE	24.842.086	4274.2	491.8	31.9	61.5	4797.8
SICOM	5.902.789	346.8	189.3	8.5	38.2	544.6

Tabla 43. Dinero por Percibir en Combustóleo Liviano.

PERIODO	VOLUMEN	API	VISCOSIDAD	AZUFRE	REPROCESOS	ENERGÍA	TOTAL
	(BLS)	(KUS\$)	(KUS\$)	(KUS\$)	(KUS\$)	(KUS\$)	(KUS\$)
2003	9.554.545	3144.3	585.1	5575.8	38.5	41.4	9343.7
2004	10.973.657	6140.9	1294.2	5851.4	31.0	47.52	13317.5
CASO BASE	10.264.101	4642.6	939.7	5713.6	34.8	44.5	11330.6
SICOM	2.791.597	1017	484	768	0.2	16	2269.2

Tabla 44. Dinero por Percibir en Combustóleo Pesado.

PERIODO	VOLUMEN	API	VISCOSIDAD	AZUFRE	REPROCESOS	ENERGÍA	TOTAL
	(BLS)	(KUS\$)	(KUS\$)	(KUS\$)	(KUS\$)	(KUS\$)	(KUS\$)
2003	3.233.642	95.3	1703.5	783.7	19.2	13.91	2601.7
2004	3.698.075	476.7	2831.8	789.0	22	15.9	4119.5
CASO BASE	3.465.858	286.0	2267.7	786.4	20.6	14.9	3360.6
SICOM	942.125	47.0	759.0	16.0	2.0	6.0	824.0

ANEXO 8. Protocolos de mezcla para Gasolina Regular.

TABLA DE PROTOCOLOS PARA EL SICOM DE GASOLINA								
Fecha		15-Ene-05			GASOLINA REGULAR		TANQUE	K-939
Elaborado por:								
Componentes	Remanente	N. Craqueada	N. Virgen	N. Aromáticos	G. P. Colorados	N. Cartagena	Aero-mezclados	RESULTADO
TANQUE	K-939	K-954	K-950	K-956	K-947	K-902	K-1812	
BPH	5300	4400	3000	450	0	0	0	7400
%V/V s	NA	56.05	38.22	5.73	0	0	0	100.0
MON (octano)	77.6	82	63.2	79.8				76.9
RON (octano)	86	94	64.8	85.8				85.8
IA (octano)	81.8	88.0	64.0	82.8				81.4
RVP (psi)	8.4	7.7	8	12.2				8.4
Volumen (Bls)	53000							

ANÁLISIS VISTO BUENO DEL LABORATORIO	
MON (octano)	77.2
RON (octano)	85.6
Índice Antidetonante (octano)	81.4
Presión de vapor (psi)	6.63

TABLA DE PROTOCOLOS PARA EL SICOM DE GASOLINA								
Fecha		25-Feb-05			GASOLINA REGULAR		TANQUE	K-939
Elaborado por:								
Componentes	Remanente	N. Craqueada	N. Virgen	N. Aromáticos	G. P. Colorados	N. Cartagena	Aero- mezclados	RESULTADO
TANQUE	K-939	K-954	K-950	K-956	K-947	K-902	K-1812	7950
BPH	6892	4200	2850	900				100,0
%V/V s	NA	52,83	35,85	11,32				76,1
MON (octano)	77,1	80,9	61,5	80,4				85,6
RON (octano)	86,1	93,6	63,2	86,3				80,9
IA (octano)	81,6	87,3	62,4	83,4				8,0
RVP (psi)	8,2	7,99	7,52	8,48				
Volumen (Bls)	89590							

ANÁLISIS VISTO BUENO DEL LABORATORIO	
MON (octano)	77,3
RON (octano)	85,9
Índice Antidetonante (octano)	81,6
Presión de vapor (psi)	7,26

