



80
29
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE QUIMICA

DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA MEZCLADO
EN LINEAS DE GASOLINAS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A

ANGEL LLAVOT LOPEZ



MEXICO, D. F.

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

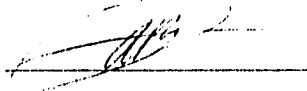
JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE: Prof. Arturo López Torres
VOCAL: Prof. Celestino Montiel Maldonado
SECRETARIO: Prof. Alberto Bremauntz Michavila
1^{er} Suplente: Prof. Ambrosio Chávez Chavarria
2^{do} Suplente: Prof. José Fernando Barragán Aroche

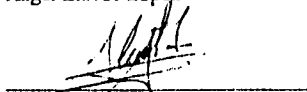
Sitio donde se desarrolló el TEMA:

SENDEN. Privada del Relox No. 30.
Facultad de Química

ASESOR: Prof. Alberto Bremauntz Michavila



SUSTENTANTE: Angel Llavot López



Al Creador de todo, que me ha dado la dicha de vivir feliz y me ha ayudado a alcanzar mis metas...

A mi País, que siempre encuentra la manera de salir de sus muchos problemas y darnos a todos un poco de sí...

A mis padres, José y Lourdes que han sabido llevarme por el camino del bien y siempre me han dado su apoyo y cariño...

A mis cuatro queridos abuelos de los que recibo y recibí cariño incondicionado...

A la Universidad, por compartirme los conocimientos y herramientas para convertirme en un hombre productivo e integro...

A los Ingenieros Alberto Bremauntz Michavila y Jorge Durán, por su invaluable soporte en la elaboración de este trabajo...

A los Ingenieros Arturo López Torres y Celestino Montiel por su colaboración en la mejora de este trabajo...

Índice

	Página
Introducción	V
1.- La Refinación y el Mezclado de Productos	1
1.1 Conceptos Preliminares	1
1.1.1 Origen del Petróleo	1
1.1.2 Características Físicas y Químicas del Petróleo	1
1.2 Proceso de Refinación	5
1.2.1 Antecedentes	5
1.2.2 Destilación Atmosférica y al Vacío	8
1.2.3 Craqueo Térmico	10
1.2.4 Craqueo Catalítico	12
1.2.5 Craqueo con Hidrógeno	14
1.2.6 Reformación Catalítica	16
1.2.7 Isomerización, Alquilación y Recuperación de Vapor	18
1.2.8 Tratamiento Final	19
1.2.9 Elaboración de TAME y MTBE	22
1.3 Productos Derivados de la Refinación del Petróleo	24
1.4 El Mezclado de Productos como Parte del Proceso de Refinación	28
2.- Mezclado de Gasolinas	31
2.1 Elaboración de Gasolinas	31
2.1.1 Generalidades	31
2.1.2 Componentes de las Gasolinas	32
2.2 Características de las Gasolinas	36
2.2.1 Características Generales	36
2.2.2 Presión de Vapor	38
2.2.3 Número de Octano	39
2.3 Aspectos Económicos y Contaminación Ambiental	42
2.3.1 Aspectos Económicos de la Mezcla de Gasolinas	42
2.3.2 Aspectos Ambientales Involucrados en la Fabricación de Gasolinas	43
2.4 Mezclado de Gasolinas	47
2.4.1 Descripción General del Proceso de Mezclado	47
2.4.2 Determinación de las Propiedades de la Mezcla de Gasolinas	48
2.5 Cálculo de Algunas Propiedades para Mezclas de Gasolinas	51
2.5.1 Presión de Vapor	51
2.5.2 Número de Octano	52
2.5.3 Otras Propiedades	53
2.6 El Mezclado en Línea como Alternativa en la Producción de Gasolinas	55

	Página
3.- Mezclado en Línea	60
3.1 Producción de Gasolinas en México	60
3.1.1 Generalidades	60
3.1.2 Descripción del Proceso	61
3.2 Conceptos Básicos de Control Automático	64
3.2.1 Aspectos Generales del Control	64
3.2.2 Sistema de Control Distribuido	66
3.2.3 Control Avanzado de Procesos	67
3.3 Objetivo y Beneficios del Mezclado en Línea	70
3.3.1 Beneficios del Mezclado en Línea	70
3.3.2 Objetivos del Mezclado en Línea	72
3.4 Descripción del Sistema de Mezclado en Línea	73
3.4.1 Funciones del Sistema de Mezclado	73
3.4.2 Niveles de Control en el Sistema de Mezclado	74
3.5 Elementos Físicos del Sistema de Mezclado en Línea	78
3.5.1 Tanques, Tuberías y Válvulas	78
3.5.2 Analizadores	79
3.5.3 Sistema de Control	81
3.6 Evaluación Económica para la Implementación de un Sistema de Mezclado en Línea	84
4.- Diseño del Programa de Optimización de Mezclado	87
4.1 Descripción del Programa de Optimización	87
4.1.1 Descripción General	87
4.1.2 Ingreso de Datos	88
4.1.3 Consideraciones antes de Correr el Programa	89
4.2 Para Correr el Programa	90
4.2.1 Definición del Problema	91
4.2.2 Ejecución del Programa	92
4.2.3 Despliegado del los Resultados	94
4.3 Corriendo el GASMEZC	95
5.- Análisis de Resultados y Conclusiones	109
5.1 Análisis de Resultados	109
5.1.1 Comparación con Resultados del BLEND-LP	109
5.1.2 Uso del GASMEZC para el Cálculo de Gasolinas Mexicanas	112
5.2 Conclusiones	114

	Página
Apéndice A El Petróleo en México	118
Apéndice B Capacidad Nominal de Fraccionamiento de Gasolinas	120
Apéndice C Ventas Interiores	121
Apéndice D Conceptos Relacionados con los Sistemas de Control	122
Apéndice E Diagrama de Flujo para el Sistema de Analizadores	128
Apéndice F Arreglo Esquemático del Cuarto de Analizadores	129
Apéndice G Despliegue de las Fórmulas Utilizadas en el GASMEZC	130
Apéndice H Simbología Empleada para los Diagramas de Flujo	135
 Bibliografía General	 136

Índice de Tablas

Tabla 1.1 Principales Hidrocarburos Presentes en el Petróleo	2
Tabla 1.2 Características de los Crudos de Exportación	3
Tabla 1.3 Intervalos de Ebullición de Fracciones Características del Petróleo	9
Tabla 1.4 Productos Derivados del Petróleo	25
 Tabla 2.1 Influencia de la T Ambiente en la Destilación	 37
Tabla 2.2 T Ambiente Mínima para 90% de Destilado	38
Tabla 2.3 Influencia de la T Ambiente en la PVR	39
Tabla 2.4 Efectos de Variables Sobre el Número de Octano	41
Tabla 2.5 Restricciones en las Emisiones de Automotores en USA	44
Tabla 2.6 Valores de los Componentes para Mezclas de Gasolinas	54
 Tabla 3.1 Producción de Gasolinas en México	 60
Tabla 3.2 Especificaciones de Gasolinas Mexicanas	62
Tabla 3.3 Evaluación Económica para el Proyecto de Mezclado en Línea de Gasolinas	82
 Tabla 4.1 Características de los Componentes en la Hoja I del Programa	 88
Tabla 4.2 Producción de Gasolinas (Ejemplo 1, 3 páginas)	97
Tabla 4.3 Producción de Gasolinas (Ejemplo 2, 3 páginas)	100
Tabla 4.4 Producción de Gasolinas Mexicanas (Datos Generales, 3 páginas)	103
Tabla 4.5 Producción de Gasolinas Mexicanas (Datos Locales, 3 páginas)	106
 Tabla 5.1 Resumen de los Resultados Obtenidos en Ambos Simuladores	 109
Tabla 5.2 Resumen de los Resultados Obtenidos en el Cálculo para Gasolinas Mexicanas	113

Índice de Figuras

	Página
Fig. 1.1 Diagrama de Flujo de una Refinería	7
Fig. 1.2 Productos Obtenidos de la Refinación en el Mundo	27
Fig. 2.1 Implementación del Sistema de Mezclado	54
Fig. 3.1 Producción de Gasolinas por Operaciones Intermitentes	63
Fig. 3.2 Sistema de Control Distribuido	68
Fig. 3.3 Sistema de Mezclado en Línea por Niveles	77
Fig. 3.4 Producción de Gasolinas por Mezclado en Línea	83

Introducción

El petróleo se ha convertido en una manifestación más de poder; pues desde su aparición y hasta nuestros días, no se ha encontrado una mejor manera de obtener energía que a partir de la combustión de los distintos derivados del llamado oro negro. La importancia de estos combustibles es tal, que dependiendo del país, hasta el ochenta por ciento de los productos derivados del petróleo son usados en la generación de energía. Por otro lado la industria petroquímica, tan sólo en Estados Unidos, ocupa a trescientos mil trabajadores y maneja cerca de veinte mil millones de dólares¹.

Si bien el proceso de refinación a partir del cual se obtienen una infinidad de productos, proporciona algunos que pueden ser usados en el mercado directamente, la mayoría de ellos después de ser sometidos a procesos de purificación y conversión, son mezclados entre sí para lograr que aquellos que salen al mercado cumplan con las especificaciones exigidas de calidad o de protección ambiental; como en el caso de los combustibles para automóviles o gasolinas.

Este proceso de mezclado en el caso particular de las gasolinas da a éstas las características que requieren para ser usadas en los automóviles. El proceso de mezclado ha sido llevado a cabo hasta ahora mediante el vaciado de distintos productos en un tanque de mezclado; cada uno de los productos involucrados se agregamediante bombeo al tanque por separado en cierta cantidad y es hasta el final cuando se verifica si la mezcla reúne las características que se esperaban. En caso de alguna deficiencia, las operaciones necesarias para su arreglo resultan demasiado costosas. Si el producto se obtiene con una calidad menor a la requerida es necesario agregar a la mezcla un componente de alta calidad con el subsecuente

¹ Hydrocarbon Processing 56(5) 191 (1977)

gasto; por el contrario si el producto se obtiene con calidad por arriba de la requerida se está regalando calidad al tener que venderlo a un precio por debajo del costo de producción. Se da entonces origen al mezclado en línea que permite mezclar todos los componentes involucrados al mismo tiempo y mediante un sistema de control corregir sobre la marcha las posibles desviaciones que se presentaran.

En el presente trabajo se pretenden mostrar los múltiples beneficios que conlleva la implementación de un sistema de mezclado en línea mediante los siguientes objetivos:

1. Localizar las operaciones de mezclado como parte del proceso de refinación.
2. Describir el proceso de mezclado de productos destilados y en especial el de mezclado de gasolinas y evaluar la importancia del mezclado de productos destilados en las operaciones de refinación.
3. Enumerar todos los elementos necesarios para la implementación del sistema de mezclado en línea (computacionales y físicos)
4. Describir las múltiples ventajas de un sistema de mezclado en línea; tanto económicas como de proceso.
5. Elaborar un programa simplificado que ilustre el proceso de optimización de la formulación para la mezcla producto.

6. Comparar el proceso de mezclado por lotes o intermitente con el proceso de mezclado en línea para demostrar que este último es mucho más eficiente que el proceso intermitente.

Para conseguir estos objetivos el presente trabajo se encuentra dividido en cinco capítulos: La Refinación y el Mezclado de Productos, Mezclado de Gasolinas, Mezclado en Línea, Diseño del Programa de Optimización para un Sistema de Mezclado en Línea y Análisis de Resultados y Conclusiones.

En la primera de estas cinco partes se hace una descripción general del proceso de refinación del petróleo, comenzando por el origen de esta fuente de energía, mencionando cada uno de los procesos involucrados en su procesamiento, e involucrando al mezclado en cada una de las etapas en las que forma parte indispensable para la elaboración del producto final.

En el segundo capítulo se hace mención de todos aquellos aspectos que involucra la producción de gasolinas, una vez que se han obtenido los intermediarios a partir de los cuales se fabricará la mezcla final. Así mismo se hace una descripción de las características físicas, químicas, económicas y ambientales requeridas para la elaboración de una gasolina de calidad mediante un proceso eficiente. Para asegurar que la gasolina que se produce cumple con todos estos requerimientos también se incluye una descripción de como deben ser calculadas las propiedades de la mezcla a partir de conocer las propiedades de sus componentes.

El capítulo tres describe propiamente el mezclado en línea. Comienza hablando sobre las características de las gasolinas mexicanas y las generalidades de los sistemas de control como marco introductorio. En las secciones siguientes se describe el funcionamiento del sistema de mezclado en línea, los sistemas de control

necesarios, los requerimientos computacionales, los cambios al proceso necesarios para la implementación del sistema en una refinería donde antes se producía "gasolinas finales" por operaciones intermitentes y por último la evaluación económica de dicho proyecto. Todo lo anterior tiene como marco de referencia una refinería típica mexicana, sin referirse a ninguna en particular; más bien es un modelo generalizado de este tipo de plantas en México.

En el cuarto capítulo se pretende elaborar un programa capaz de realizar la simulación de la optimización de la mezcla de intermediarios para producir gasolinas mexicanas, haciendo descripción detallada de las consideraciones tomadas y tratando de representar las operaciones necesarias para la producción de las dos gasolinas MagnaSin y Nova Plus, comparándolas con las mezclas para otros tipos de mezclas no elaboradas en México. Cabe mencionar aquí, que la gasolina Nova está por ser eliminada del mercado debido a la constante preocupación por suprimir el plomo proveniente de los aditivos (TEL) de este tipo de combustibles; de hecho, está a punto de aparecer un nuevo tipo de gasolina denominado Premium.

La última parte compara los resultados obtenidos en cada prueba y muestra que tan efectivo es el programa, así como las conclusiones de este trabajo, sobre las ventajas de los sistemas de mezclado en línea y la utilidad del programa elaborado.

Sin pretender agotar el tema, el presente trabajo es una buena fuente de información para aquellas personas interesadas en el mezclado de gasolinas a nivel industrial y al mismo tiempo les muestra los resultados a los que se pueden llegar en caso de decidir hacer uso de un sistema de este tipo.

1.- LA REFINACIÓN Y EL MEZCLADO DE PRODUCTOS

1.1 Conceptos Preliminares

1.1.1 Origen del Petróleo

El petróleo es una mezcla líquida de hidrocarburos, flamable, viscosa, de color entre amarillo y negro y de la cual se derivan infinidad de productos que van desde los combustibles hasta los polímeros más específicos usados en otras ramas de la industria química. Su nombre viene del latín *petroleum* que significa aceite de piedra (*petra*: piedra, *oleum*: aceite).

Se cree que el petróleo se origina como resultado de la descomposición de materia orgánica, animal y vegetal, en ausencia de oxígeno, la cual se acumula formando sedimentos y es sepultada entre capas de roca a causa de movimientos geológicos. La formación del depósito de petróleo se debe a que éste se filtra a través de capas de rocas permeables hasta una trampa donde, rodeado de rocas impermeables que le impiden seguir avanzando, queda atrapado. A este proceso se le conoce como la teoría orgánica del origen del petróleo, y aunque existen otras, esta es la mayormente aceptada.

1.1.2 Características Físicas y Químicas del Petróleo

La mayoría de los compuestos presentes en el petróleo están formados únicamente de carbono e hidrógeno, y van desde los más simples, como el metano en el gas natural, hasta molécula de un elevado peso molecular. Todas estas especies se distribuyen en tres grupos: parafinas, naftas y aromáticos; y dependiendo de cual de esos grupos se encuentre en mayor proporción al crudo se le clasificará como parafínico, nafténico o aromático.

Tabla 1.1
Principales Hidrocarburos Presentes en el Petróleo

Nombre	Porcentaje Peso
Parafinas (Alcanos)	32
Lineales	14
Isoparafinas y ramificados	18
Cicloparafinas	21
Alquilciclopentanos	10
Alquilciclohexanos	6
Bicicloparafinas	5
Aromáticos	43
Alquilbencenos	18
Cicloparafinas aromáticas	5
Fluorenos	3
Aromáticos binucleares	17
Tri- y tetranucleares	4

Hydrocarbon Processing, 56(6)-189-(1977)

Si bien es cierto que los compuestos de carbono e hidrógeno son en proporción los principales componentes del petróleo, existen compuestos que incluyen átomos de otros elementos como el oxígeno, nitrógeno y azufre, compuestos organometálicos y sales. Aunque en mucho menor cantidad, todos ellos confieren características que, conjuntamente con sus hidrocarburos, hacen a cada uno de los crudos existentes en el mundo diferentes del resto. Tan solo en nuestro país se producen tres clases distintas de crudo de exportación: el istmo, el maya y el olmeca. Estos tres tipos de crudos no son obtenidos del subsuelo tal cual, sino que a partir de los distintos tipos de crudo natural extraídos en México, se preparan mezclas que reúnen las características del producto que se ofrece al mercado internacional.

Tabla 1.2
Características de los Crudos de Exportación

Crudo	Maya	Istmo	Olmeca
Tipo	Pesado	Ligero	Muy ligero
Peso específico	0.920	0.840	0.800
°API	22.0	33.6	39.6
% Peso de S	3.3	1.3	0.8
Precio \$USD/Barril	12.12	18.08	20.02
% Exportado	64.10	24.00	11.9

PEMEX. Memorias de Labores 1991. México 1992.

De la tabla anterior se puede ver como cada uno de los crudos producidos tiene características muy distintas a las de los otros, y esto hace que muchas veces el proceso de refinación tenga por lo menos pequeñas diferencias para procesar cada uno de esos crudos. Sin temor a equivocarse se puede decir que no existen dos plantas de refinación completamente iguales, pues si algún método en particular resulta apropiado para cierto tipo de petróleo puede que ese mismo método sea inconveniente en el tratamiento de otro.

Quizá de todas las propiedades que una mezcla tan compleja, como es el petróleo, pudiera tener, las dos más importantes sean las de peso específico (traducido erróneamente al español como gravedad específica del inglés *specific gravity*) y el contenido de azufre.

La primera de ellas, peso específico, debe ser lo más bajo posible, pues esto asegura que el crudo a procesar contendrá una mayor cantidad de fracciones ligeras cuyos productos son más valiosos una vez procesados. Este denominado peso específico se refiere, más propiamente dicho, a la densidad relativa del petróleo a 60°F referida a la densidad del agua pura a esa misma temperatura (1 g/cm^3).

El Instituto Americano del Petróleo, API por sus siglas en inglés (American Petroleum Institute) ha desarrollado una escala arbitraria para representar la densidad de todos los productos derivados del petróleo y que va desde poco menos de cero (aceite residual del petróleo) hasta cerca de 340 (metano); se denomina como densidad °API y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$^{\circ}\text{API} = \frac{141.5}{\text{Densidad relativa 60/60}} - 131.5$$

Se puede ver como entre mayor sea la densidad relativa del crudo, menor será su densidad °API y viceversa; por lo cual los crudos con mayor densidad °API serán los más valiosos y por ende los de precios más altos.

El contenido de azufre de un crudo lleva a clasificarlo como amargo o dulce. Generalmente el crudo considerado amargo no es muy recomendable debido a que los compuestos azufrados presentes lo vuelven muy corrosivo; además de que demeritaría la calidad de los productos obtenidos a partir de él, pues la presencia de azufre provoca coloraciones y olores desagradables. Por si esto fuera poco, el azufre envenena algunos de los catalizadores empleados en el proceso de refinación.

Se dice que un crudo es amargo cuando contiene cantidades superiores al 0.5% en peso de compuestos de azufre, aunque también se puede hacer este análisis en volumen, diciendo que un crudo es amargo si contiene más de 0.05 ft³ de compuestos azufrados en 100 GAL de crudo. Mientras tanto, un crudo dulce contiene poco o nada de los mencionados compuestos. Se ha observado una correlación muy estrecha entre los crudos con alto contenido de azufre y los más pesados, es decir, un crudo pesado será con seguridad amargo también. Esta correlación podemos observarla claramente en los crudos mexicanos; el crudo maya

es amargo y pesado, mientras el olmeca es muy ligero y con un contenido de azufre muy bajo.

Otras características como la presencia de compuestos de nitrógeno, sales inorgánicas o metales, no son determinantes pero sí importantes y resulta preferible que se encuentren en bajas proporciones en el crudo a procesar. El nitrógeno y sus compuestos son serios envenenadores de catalizadores y si el crudo contiene más de 0.25% en peso de nitrógeno es necesario someterlo a procesos de eliminación. La presencia de sales inorgánicas se representa como contenido de cloruro de sodio (NaCl), si este es mayor a 10 lb/1000 barriles es necesario desalar el crudo para evitar problemas de corrosión y deposición. Por su parte los metales como el níquel, el vanadio y el cobre afectan seriamente a los catalizadores provocando que el producto obtenido sea de baja calidad; este efecto se deja ver desde concentraciones cercanas a las 2 ppm.

Estas características deben ser tomadas en cuenta antes de seleccionar el proceso global de refinación y al mismo tiempo proporcionarán una idea general de los productos que pueden ser obtenidos y de la calidad con la que se obtendrán.

1.2 Proceso de Refinación

1.2.1 Antecedentes

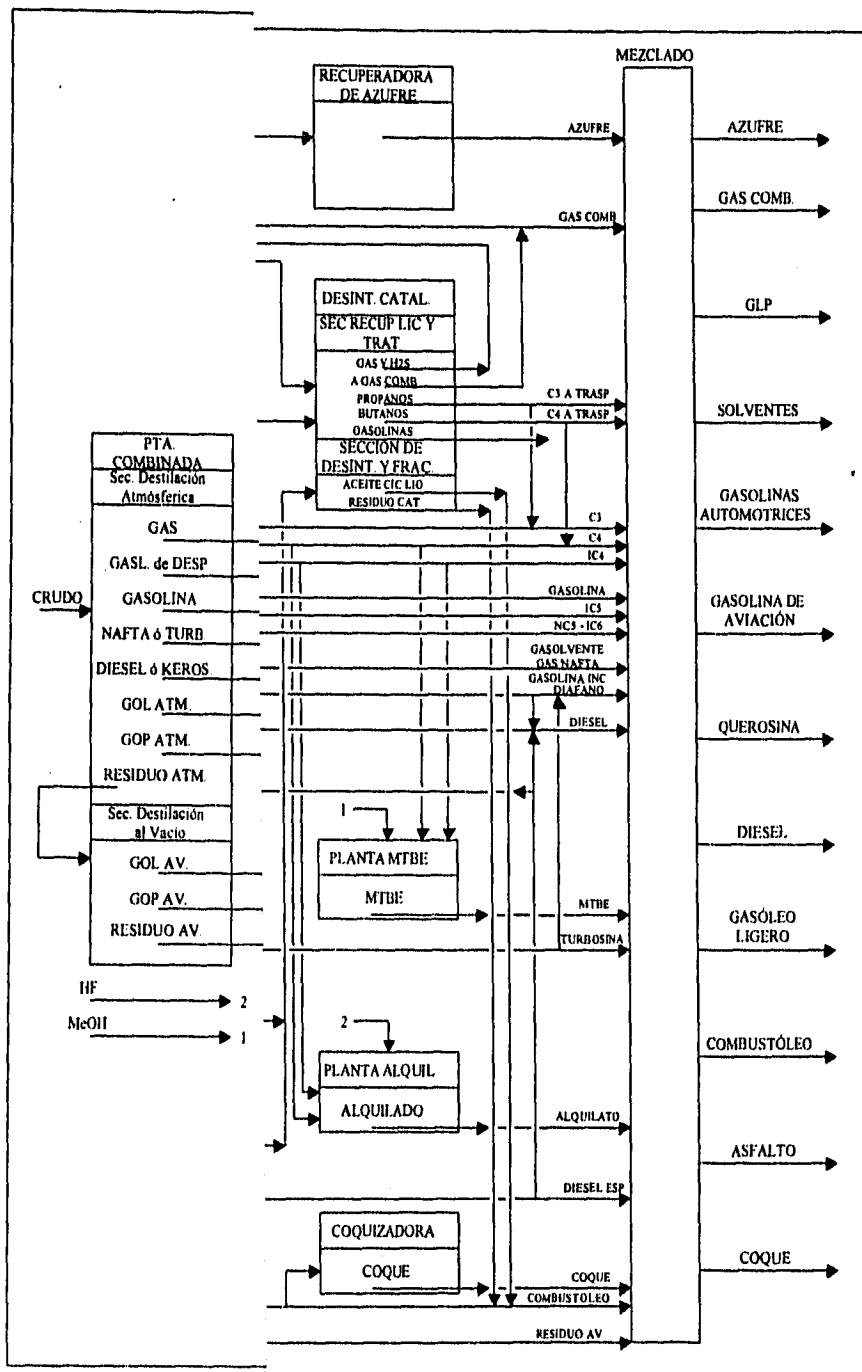
El uso de petróleo se remonta mucho tiempo atrás; los chinos, por ejemplo, ya lo usaban como combustible y en el alumbrado de sus ciudades hace más de 2,000 años; y en América, se conocía el chapopote (*chapoctli*, *chiahuatl*: grasa y *poctle*: humo) para pavimentar sus avenidas. Sin embargo la refinación del petróleo tuvo sus inicios hasta mediados del siglo pasado en los Estados Unidos cuando las refinerías sólo separaban el petróleo en gasolina, querosina, aceites lubricantes y

combustóleos. De estas cuatro fracciones la más valiosa era el querosina; mientras la gasolina, formada de las fracciones demasiado ligeras para incluirse en el querosina, permaneció prácticamente sin utilizar hasta la invención del automóvil.

El proceso de refinación continuó mejorándose, y después de la Primera Guerra Mundial se introduce el proceso de craqueo, que consiste básicamente en romper las moléculas de hidrocarburos pesados en otras más pequeñas que constituyen las fracciones más ligeras y valiosas. El resultado fue la obtención de gasolinas que funcionaban mejor en los motores de los automóviles que las obtenidas por destilación.

En la década de los 30's y hasta la Segunda Guerra Mundial el proceso de refinación se fue haciendo cada vez más complejo al incluir el craqueo catalítico, polimerización, alquilación e isomerización; al mismo tiempo permitió a las refinerías cumplir con las exigencias de calidad para los combustibles de aviación militar tan necesarios en la época.

El desarrollo de la aviación durante los 50's y 60's trajo como consecuencia una alta demanda de combustibles para jet y de aceites lubricantes de alta calidad. La reformación catalítica se convirtió entonces en el principal proceso para conseguir mejorar el producto. Este proceso unido con el craqueo con hidrógeno mejoró considerablemente la calidad de los productos de las refinerías de aquel entonces.



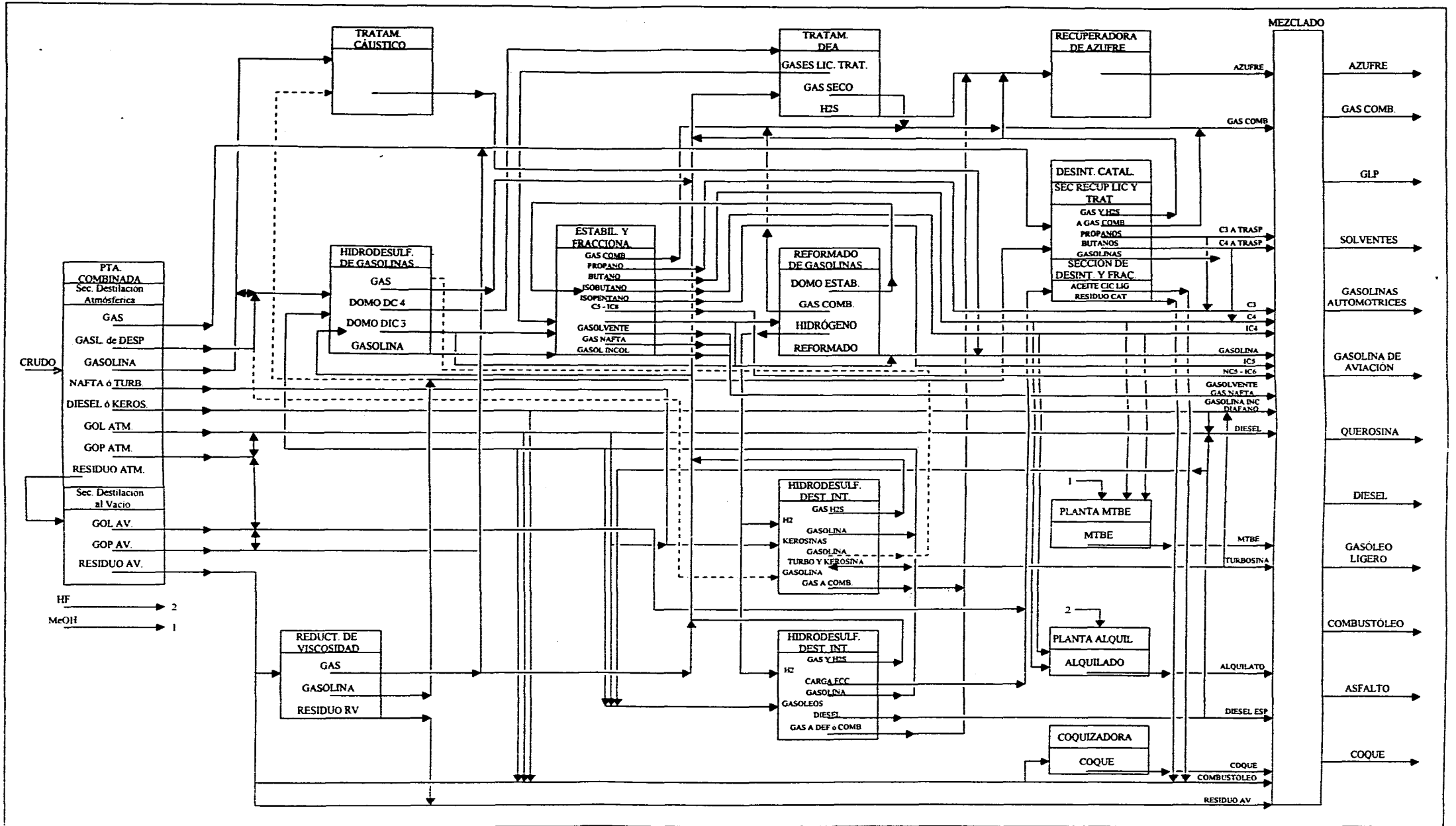


Fig. 1.1 Diagrama de Flujo de una Refinería.

Pero, ¿cómo es que estos procesos forman parte de la refinación del petróleo?, ¿cómo se conectan entre sí?, ¿cuál es su secuencia?, ¿en qué consisten? Pues bien, el proceso de refinación consiste de una compleja red de procesos llevados a cabo simultáneamente a partir de las fracciones obtenidas de la destilación del petróleo. En la figura 1.1 y las secciones siguientes se muestra un esquema generalizado de como es que funciona una refinería y cuales son los productos que de ella se obtienen, junto con una descripción de cada una de las operaciones involucradas en este proceso.

1.2.2 Destilación Atmosférica y al Vacío.

Antes de iniciar la destilación el crudo es sometido, en caso necesario, a un proceso de desalación en el que se le mezcla con agua para formar una emulsión a 120°C. Para evitar la evaporación de los hidrocarburos y del agua se lleva a cabo a presión. El agua disuelve las sales presentes, siendo el siguiente paso la separación de las dos fases agregando un agente químico que rompe la emulsión o mediante un campo eléctrico de entre 16,000 y 35,000 volts que junta las gotitas de agua con la sal disuelta formando una emulsión. Con esta operación se consigue disminuir el contenido de sal hasta en un 90% con una sola etapa. Se puede conseguir una mejor eliminación de sal si se utiliza más de una etapa en serie durante la desalación.

Una vez desalado, el crudo se hace pasar por una serie de intercambiadores de calor elevando su temperatura hasta 290°C, usando como fuente de calor los productos de destilación. Antes de ingresar a la sección atmosférica de destilación, el crudo eleva su temperatura en un calentador a fuego directo hasta una temperatura de entre 350°C y 400°C, con lo que se garantiza la vaporización de todos los productos ligeros (gas, gasolina directa, nafta y querosina).

A lo largo de toda la columna atmosférica se tienen extracciones laterales que proporcionan corrientes con distintos productos y algunas colas de bajo punto de ebullición, los cuáles son separadas en pequeñas columnas (o agotadores) mediante el uso de vapor. El vapor y las colas de bajo punto de ebullición se recirculan a la columna, mientras los productos como naftas y gasóleos son extraídos.

Los domos de la columna son enviados a un condensador y de ahí a un tanque de reflujo a 45°C y presiones menores a la atmosférica. Este equipo condensa la fracción de pentano y más pesados constituyentes de la gasolina ligera directa separándola de los gases no licuables.

Tabla 1.3
Intervalos de Ebullición de Fracciones Características del Petróleo

Fracción	Intervalo de Ebullición.			
	Método ASTM.		Intervalos Verdaderos.	
	(°F)	(°C)	(°F)	(°C)
Butanos y más ligeros				
Gasolina ligera (LSR)	90-220	32-105	90-190	32-88
Nafta (Gasolina pesada)	180-400	82-204	190-380	88-193
Qerosina	330-540	166-282	380-520	193-271
Gasóleo ligero (GOL)	420-640	215-338	520-610	271-320
Gasóleo atmosférico	550-830	288-443	610-800	320-427
Gasóleo de vacío (GOV)	750-1050	399-565	800-1050	427-565
Residuo de vacío	1000	538	1050	565

Gary & Handwerk. España 1980.

Para conseguir una mejor separación, los fondos de la torre atmosférica son enviados a una columna de vacío donde la baja presión ayuda a evaporar las fracciones más pesadas a temperaturas más bajas de la que normalmente necesitarían para ebullición. Esta columna opera en un intervalo de 25 a 40 mmHg y mediante el uso de vapor la presión efectiva a la que se lleva a cabo la separación

desciende hasta cerca de los 10 mmHg, mientras que la corriente es calentada en un calentador a fuego directo hasta una temperatura de 455°C antes de ingresar a la torre.

Normalmente la sección de destilación de vacío y la atmosférica se encuentran unidas en lo que se denomina planta de "destilación combinada", y cuyos productos e intervalos de ebullición se pueden apreciar en la tabla 1.3. Los productos aquí obtenidos no reúnen todos los requerimientos de calidad y no pueden ser utilizados directamente volviéndose necesario someterlos a procesos de purificación y conversión antes de ponerlos en el mercado.

1.2.3 Craqueo Térmico

El proceso de separación descrito está basado en las diferentes propiedades físicas de los componentes del petróleo, pero el proceso no queda ahí. Cambiando la estructura molecular de los compuestos presentes es posible convertir las moléculas de hidrocarburos poco importantes en aquellas que implican una mejor remuneración económica.

Uno de los primeros procesos en el que se lleva a cabo este tipo de conversiones es el llamado craqueo, o descomposición térmica de hidrocarburos de cadena larga en moléculas más pequeñas. Por ejemplo una molécula como el dodecano ($C_{12}H_{26}$) carece de importancia como producto útil en la fabricación de gasolinas, pero mediante este proceso se le puede convertir en parafinas (C_6H_{14} = hexano y C_7H_{16} = heptano) o en olefinas (C_6H_{12} = hexeno y C_5H_{10} = penteno) más pequeñas; sin embargo el conjunto de reacciones que toman parte en este proceso son muy complejas. Una vez que se obtienen los diferentes productos conseguidos

mediante el craqueo es necesario emplear nuevamente procesos de separación para obtener cada uno de ellos por separado.

Los fondos de la columna de vacío se craquean térmicamente en un coquizador para producir gas, gasolinas y coque. La coquización puede considerarse un proceso de craqueo térmico, es decir, un proceso de ruptura de moléculas de elevado peso molecular en otras más pequeñas mediante el uso de altas temperatura en ausencia de oxígeno, y en este caso uno de los productos es coque o carbón. El coque que se obtiene contiene materia volátil que para eliminarse debe de calcinarse a temperaturas de entre 1090 y 1260°C aproximadamente.

Otro proceso de craqueo térmico es el de reducción de viscosidad al que se someten los residuos pesados de la destilación, con objeto de hacerlos más apropiados para su empleo en otros de los procesos de la refinería.

Los gasóleos procedentes de las unidades de destilación atmosférica y al vacío, y el gasóleo procedente del coquizador, se utilizan como alimento a las unidades de craqueo. Si bien en sus inicios el craqueo era llevado a cabo térmicamente, es decir a temperaturas que oscilaban entre los 450 y 540°C, y a presiones de 18 a 35 kilogramos por centímetro cuadrado, actualmente se prefiere hacer uso de los procesos de craqueo catalítico y craqueo con hidrógeno, cuyo desarrollo ha sido un importante avance en la industria de refinación, pues si bien la temperatura a la que opera también son altas las condiciones de presión son mucho menos severas gracias al uso de catalizadores.

1.2.4 Craqueo Catalítico

El proceso de craqueo catalítico es uno de los más importantes en la fabricación de gasolinas. Mediante el uso de un catalizador, las condiciones de operación son mucho menos severas, trabajándose a una temperatura de entre 454 y 510°C y una presión de entre 0.7 y 1.4 Kg/cm². Los primeros catalizadores que se emplearon en el proceso fueron arcillas naturales con un 12.5% de alúmina y 87.5% de sílica, pero recientemente se han sustituido por zeolitas lo que favorece la formación de gasolinas y reduce la producción de coque y gas.

Existen dos formas de llevar a cabo el proceso de craqueo catalítico: una de ellas es mediante el uso de plantas de lecho fijo o bien en plantas de lecho fluidizado. Si bien cada constructor tiene sus propias modificaciones al proceso, podemos decir que su principal variación consiste en la de usar bolitas o cilindros de catalizador de 1/8 a 1/4 de pulgada (en el caso del lecho móvil), o bien partículas de catalizador de no más de 50 µm con propiedades análogas a las de un líquido agitado por aire o vapor. Si hablamos químicamente, los catalizadores son prácticamente iguales.

El proceso de craqueo produce carbón que se deposita sobre el catalizador, con la subsecuente baja de su actividad. La necesidad de reactivar el catalizador ha llevado a desarrollar sistemas en los que el coque es eliminado mediante combustión con aire, trasladando continuamente al catalizador del reactor a un regenerador y de ahí al reactor nuevamente. Como las reacciones de craqueo son endotérmicas y la de regeneración es exotérmica, algunas plantas se han diseñado de

tal manera que el calor producido en la regeneración del catalizador es empleado para precalentar la alimentación al reactor de craqueo con el subsecuente ahorro de energía al iniciarse el proceso.

Ambos procesos guardan grandes similitudes, y por ser el craqueo catalítico de lecho fluidizado el más usado, será el que a continuación se describe. El aceite alimentado se calienta y vaporiza al entrar en contacto con el catalizador a la entrada del reactor. El vapor forza al catalizador a moverse ascendentemente dentro del reactor, lo que permite al catalizador asentarse en un lecho cuyo espesor se puede ajustar para alcanzar el tiempo de reacción deseado. Los vapores del gasóleo mantiene el lecho en condiciones turbulentas favoreciendo un mejor contacto entre las partículas de catalizador y las moléculas de los hidrocarburos.

Conforme la reacción de craqueo continúa, se deposita coque sobre el catalizador provocando un descenso en la actividad del mismo. Debido a esto el catalizador es continuamente extraído de la base del reactor y regenerado en otro equipo quemando el coque con una corriente de aire; esta operación al mismo tiempo calienta el catalizador hasta la temperatura necesaria para la reacción.

Los productos del craqueo son extraídos del reactor por la parte superior y se mandan a una torre de separación donde se obtienen los productos dentro de los intervalos de ebullición deseados. Para evitar que el catalizador sea arrastrado por la corriente de vapor que sale del reactor se le separa del gas mediante el uso de ciclones que lo regresan hacia el lecho de reacción. Al mismo tiempo, de vez en

cuando se agrega catalizador fresco mientras una cantidad similar se elimina, lo cual tiene el objeto de mantener la actividad catalítica al nivel deseado.

Cabe mencionar aquí que en las refinerías mexicanas se usa una combinación del craqueo térmico y el craqueo catalítico, en lugar de sólo éste último. Este craqueo termocatalítico se muestra en la figura 1.1 como la planta de desintegración catalítica.

1.2.5 Craqueo con Hidrógeno

El otro proceso de importancia en este punto del proceso refinación, es el denominado craqueo con hidrógeno, desarrollado en la segunda mitad de este siglo después de la Segunda Guerra Mundial. Como su nombre lo indica, requiere de hidrógeno para llevarse a cabo, y éste es obtenido a partir de la planta de reformación que será descrita más adelante. Si bien este es un proceso caro, la facilidad de obtener hidrógeno y la flexibilidad propia del proceso, lo han convertido en uno de los más utilizados. Se emplea básicamente para producir gasolinas a partir de los gasóleos pesados que no pueden ser tratados en el craqueo catalítico; las altas presiones a las que se trabaja y la atmósfera de hidrógeno facilitan su conversión en moléculas más pequeñas y útiles, sin la formación de coque o grandes cantidades de gas. El proceso emplea catalizadores basados en zeolitas cuya actividad catalítica se mantiene por largo tiempo sin necesidad de regeneración, como en el caso del craqueo catalítico, y además ayudan a mejorar el rendimiento en la producción de gasolinas y octanos. Las zeolitas dan origen al craqueo mientras que la hidrogenación es catalizada por níquel, óxido de tungsteno, platino o paladio.

El proceso de craqueo con hidrógeno es llevado a cabo a temperaturas más bajas que en el caso del craqueo catalítico (260 a 427°C), pero a presiones mucho más altas (70 a 140 Kg/cm²). El proceso se realiza en un sistema de lecho catalítico fijo con circulación de líquido a través de él, y normalmente necesita de dos etapas para alcanzar una óptima conversión. Al ingresar a la primera etapa la alimentación fresca se mezcla con el hidrógeno producido con anterioridad y con el gas de recirculación (también incluido para mejorar la conversión) haciendo pasar la mezcla a través de un calentador en su camino hacia el primer reactor. La primera etapa convierte el 40 o 50% de los gases de salida en producto que hierve a menos de 200°C. El efluente del reactor se hace pasar por una serie de intercambiadores de calor y a un separador de alta presión; mientras los gases ricos en hidrógeno se separan y recirculan, el efluente líquido se envía a una columna de destilación donde se separan por el domo la gasolina y fracciones ligeras y por los fondos la corriente que servirá de alimentación a la segunda etapa del reactor. Esta corriente se mezcla nuevamente con hidrógeno y se calientan antes de ingresar al reactor donde se consigue una conversión total de entre el 50 y 70% referido a lo que se alimento a la segunda etapa. El producto de esta segunda etapa se mezcla con el de la primera antes del fraccionamiento.

Ambos reactores están diseñados para contener varias lechos de catalizador. La razón de esto es el disponer de lugares en los que se pueda inyectar hidrógeno frío recirculado para regular la temperatura. Además, la distribución uniforme de la corriente de alimentación y del hidrógeno facilitan un desgaste parejo del catalizador.

1.2.6 Reformación Catalítica

Hasta ahora se ha visto como resulta importante para la industria de la refinación la elaboración de productos como gasolinas y combustibles; pues bien, su fabricación no queda ahí, sino que además esas gasolinas deben someterse a procesos en los que se mejoren sus características, como el número de octano. Como ejemplo de esto tenemos el caso del proceso de reformado catalítico al que se alimentan la corriente de naftas (gasolinas pesadas) de la columna de destilación, las procedentes del coquizador y las de las plantas de craqueo, para modificar su estructura molecular y convertirlos en productos de mejor calidad sin la formación de subproductos pesados indeseables ni coque. Las reacciones son llevadas a cabo en presencia de hidrógeno lo que evita la formación de productos insaturados que polimerizan en sustancias con altos puntos de ebullición.

Durante el reformado, las moléculas largas son partidas en pequeñas cadenas de hidrocarburos saturados e isoparafinas. La formación de compuestos aromáticos, la ciclización de parafinas para formar naftenos y su subsecuente conversión a aromáticos, la saturación de olefinas para formar parafinas que luego reaccionan como en el caso anterior son el conjunto de reacciones que toman lugar durante el proceso de reformado. Básicamente son cuatro las reacciones que se llevan a cabo: deshidrogenación de naftenos a aromáticos, deshidrociclación de parafinas a aromáticos, isomerización y craqueo con hidrógeno. Las reacciones de deshidrogenación son endotérmicas y dan origen a un descenso de la temperatura, además son las reacciones con velocidades más altas, por ello es necesario incluir intercambiadores de calor entre los lechos de catalizador para mantener la mezcla a temperaturas lo suficientemente altas para lograr el reformado.

El proceso de reformación catalítica usa platino como catalizador activo, distribuido sobre partículas de óxido de aluminio como soporte. Pequeñas cantidades de cloruros y fluoruros se adicionan con objeto de promover el efecto catalítico. Si bien es cierto que el platino tiene un alto costo, el proceso es factible gracias a la larga vida activa del catalizador y a la alta calidad de los productos obtenidos.

Existen varios tipos de procesos de reformación que incluyen: Platforming (UOP), powerforming (Exxon), ultraforming (Std. Oil, Ind.), houdriforming (Hudry) y catalytic reforming (Engelhard), entre otros. En una planta de tipo platforming, la nafta alimentada es mezclada con hidrógeno a razón de 1:5 en base molar, y calentada hasta una temperatura de entre 455 y 433°C. La mezcla gaseosa pasa a través de los lechos de catalizador a lo largo de tres reactores conectados en serie, que operan a presiones de entre 14 y 56 Kg/cm². En el primer reactor la reacción de deshidrogenación consume gran cantidad de calor, por lo cual es necesario recalentar la mezcla gaseosa y así mantener la temperatura y la velocidad de reacción antes de ingresar al segundo reactor. A medida que la carga atraviesa los diferentes reactores, las velocidades de reacción disminuyen, el tamaño de los reactores aumenta y el recalentamiento resulta menor.

Después de dejar el tercer reactor, se condensa el producto líquido y se envía a una columna de fraccionamiento; mientras los gases ricos en hidrógeno separados previamente en un tambor de la corriente líquida, son divididos en dos corrientes: la primera de ellas se usa como recirculación y la segunda se usa como producto que puede ser empleado en las unidades de hidrocrackeo o como combustible.

1.2.7 Isomerización, Alquilación y Recuperación de Vapor

El octanaje de la gasolina directa puede mejorarse mediante el uso del proceso de isomerización que convierte las parafinas normales en sus isómeros, por ejemplo, el pentano puede ser convertido en isopentano con un incremento de alrededor de treinta unidades en su número de octano. El catalizador empleado es similar al usado en el reformado catalítico con base de platino, y también usa una atmósfera de hidrógeno para evitar la formación de subproductos indeseados, aunque éste no participa en las reacciones. Las condiciones de operación son mucho menos rigurosas, temperaturas entre 100 y 200°C y presiones entre 14 y 20 Kg/cm². Básicamente se emplea para la producción de isopentano e isohexano a partir de sus parafinas lineales correspondientes, las reacciones se llevan a cabo sobre una cama fija de catalizador a través de dos reactores en serie, con válvulas y tuberías que permiten revertir las posiciones de proceso de los recipientes y el aislamiento total de las partes para la reposición del catalizador.

Las corrientes de gas procedentes de las plantas de destilación, del coquizador y de las unidades de craqueo, se fraccionan en las plantas de recuperación de vapor, en gas combustible, gas licuado del petróleo (GLP), hidrocarburos insaturados (propileno, butileno y pentenos), butano normal e isobutano. El gas combustible se usa en la misma refinería y el butano se mezcla para formar gasolinas o GLP. Los hidrocarburos insaturados, y el isobutano son enviados a unidades especiales de alquilación para su procesado.

La unidad de alquilación produce moléculas grandes a partir de moléculas pequeñas de las cuales una es una olefina y la otra una isoparafina (usualmente

isobuteno). Principalmente se produce isoctano a partir de estas combinaciones que puede ser usado en la fabricación de gasolinas de aviación. Este proceso se puede llevar a cabo mediante el uso de ácido sulfúrico o fluorhídrico como catalizador de la reacción. Mientras el proceso que usa ácido sulfúrico se lleva a cabo a temperaturas bajas de entre 2 y 7°C con la subsecuente necesidad de refrigeración, el proceso con ácido fluorhídrico utiliza temperaturas de entre 24 a 46°C evitando el uso de refrigeración. En cuanto uno de los procesos requiere refrigeración, el otro necesita de condiciones de seguridad mucho más estrictas. Las isoparafinas formadas hierven en el intervalo de las gasolinas, y el producto denominado alquilato, con un alto contenido de octanos, se mezcla con las gasolinas especiales para automóviles y las gasolinas de aviación.

1.2.8 Tratamiento Final

Los destilados medios de las plantas de destilación, del coquizador y de las de craqueo se mezclan con los combustibles diesel, para reactores, y combustibles para calefacción. En algunas refinerías el gasóleo pesado de vacío es procesado para la obtención de aceites lubricantes. Después de eliminados los asfaltenos en el desasfaltador con propano. Los gasóleos pesados de vacío y desasfaltados obtenidos, se tratan en primer lugar mediante extracción con disolventes, para eliminar los compuestos aromáticos pesados, siendo después desparafinados para mejorar su punto de fluidez y poder ser mezclados para fabricar aceites lubricantes.

No existe un solo modelo de refinería que se pueda aplicar a todas las situaciones, se debe buscar un modelo de flujo de proceso que se adecue a las

necesidades del mercado, a la materia prima disponible y a las consideraciones económicas que dictaminen las condiciones de operación.

La mayoría de los productos obtenidos hasta este punto del proceso no son utilizables aún. Antes de que puedan ser comercializados es necesario removerles las impurezas con las que son obtenidos. La principal de estas impurezas es el azufre en cualquiera de sus formas, aunque también existen otros compuestos que contaminan los productos como los derivados del oxígeno, derivados del nitrógeno, o aquellos compuestos que propician la formación de gomas. El azufre por ejemplo, reduce el efecto antidetonante de algunos aditivos para gasolinas, causa corrosión severa en los motores diesel, la mayoría de sus compuestos tienen un desagradable olor y además, cada vez esta más regulado el contenido de azufre en los combustibles debido a los efectos dañinos que tiene sobre el medio ambiente.

La eliminación de todos estos compuestos es necesaria si se quiere comercializar algún producto, por lo que son usados tratamientos como el endulzamiento, el tratamiento con hidrógeno, el tratamiento con ácido sulfúrico o incluso con algunas arcillas. Si bien cada proceso tiene sus propias características, podemos decir que su objetivo principal es la remoción de las impurezas presentes en los productos de la refinería. En el caso del tratamiento con ácido sulfúrico, el ácido elimina los compuestos con azufre por solubilidad y al mismo tiempo, polimeriza los compuestos altamente reactivos y neutraliza los compuestos básicos del nitrógeno; una vez hecho esto se extrae el ácido y todos las impurezas que removió. Por su parte el endulzamiento convierte los mercaptanos en disulfuros inofensivos al ponerlos en contacto con agente oxidante; como ejemplo tenemos el denominado tratamiento "doctor", en el que se pone en contacto el producto con una solución de plumbito de sodio en sosa. Si bien este proceso había sido ampliamente utilizado, su uso se ha reducido considerablemente debido a que se

necesita agregar azufre elemental y esto eleva considerablemente el contenido de azufre en el producto final y las inconveniencias de ser un proceso por lotes.

El tratamiento con hidrógeno o deshidrosulfuración tiene por objetivo principal la eliminación de los compuestos de azufre de cualquier tipo, en las naftas y los destilados intermedios. El producto se mezcla con hidrógeno una vez vaporizado, se le hace pasar sobre un catalizador (tungsteno, níquel, o una mezcla de óxidos de molibdeno y cobalto sobre alúmina) que convierte los compuestos de azufre en sulfuro de hidrógeno. La efluente del reactor intercambia calor con la corriente de hidrógeno fresco convirtiéndose en una mezcla líquido-vapor que se envía a un separador de donde los gases son recirculados al compresor de hidrógeno y los líquidos son conducidos a torres de separación (desbutanizadoras en caso de la planta de naftas y a la torre agotadora para los destilados intermedios.

Los compuesto de azufre formados serán conducidos a la planta recuperadora de azufre. El proceso consiste en quemar un tercio del H_2S para producir SO_2 que se hará reaccionar con el ácido remanente para producir azufre elemental. El gas ácido es alimentado a un tanque separador que eliminara los líquidos de arrastre que pudiera tener para de ahí pasar a un horno que oxidara la parte proporcional correspondiente que reaccionará para formar el azufre elemental. Ambas reacciones son fuertemente exotérmicas y el calor generado es usado para producir vapor a un lado del envolvente del reactor. Los gases son enfriados hasta la temperatura de condensación del azufre que seguirá su camino hasta el solidificador, mientras los gases remanentes se hacen reaccionar nuevamente para después unirse al azufre líquido generado.

Una vez que los productos han sido sometido a estos procesos de eliminación de impurezas, se encuentra listo para ser comercializado.

1.2.9 Elaboración de TAME y MTBE.

Existen dos procesos más que tienen participación importante en la elaboración de los productos de la refinería: El TAME y el MTBE. El TAME (Ter-Amil-Metil-Eter) es obtenido a partir de la reacción entre los componentes isoamílicos contenidos en el corte C₅ de la Planta Catalítica (FCC) con metanol (MeOH), usando como catalizador una resina catiónica del tipo ácido fuerte.

La gasolina proveniente de la FCC es recibida en un acumulador para eliminar el agua de la carga; una vez realizada esta operación la gasolina catalítica es alimentada a la torre de pentanización donde se separa la gasolina remanente por el fondo y es enviada a almacenamiento, mientras que por la parte del domo se obtiene la mezcla de pentanos que se alimentan a la Planta de TAME. La presión de del acumulador se controla con un sistema de entrada de nitrógeno y salida al quemador.

En vista de que la carga C₅ proviene de la sección de pentanización contiene ciertas impurezas que envenenan al catalizador, se hace pasar esta por una columna de lavado donde se pone en contacto a contracorriente con agua desmineralizadora; de tal forma que por el domo se obtienen los pentanos para llevar a cabo la reacción

Una vez eliminadas las impurezas contenidas en la carga de emilenos, se adiciona en línea a ésta, una corriente de etanol que se combina en el mezclador y a continuación se alimenta por el fondo al reactor principal para posteriormente, sea conducida al reactor secundario empacado con catalizador. La temperatura debe ser controlada para asegurar un buen desempeño de la reacción mediante el uso de intercambiadores de calor en las alimentaciones a los reactores.

El producto de la reacción es conducida hasta la columna fraccionadora donde son separados el C5 que no reaccionó por el domo y el TAME por el fondo. El C5 es enviado a una tercera etapa de reacción par aumentar la conversión de isoamileno. El flujo proveninete de este reactor es enfriado y alimentado a una columna de lavado de refinado donde es puesto en contacto a contracorriente con agua para separar el exceso de MeOH. La mezcla de MeOH y agua se manda una torre de recuperación de MeOH de donde se obtiene agua para lavado y MeOH que se mezcla con MeOH fresco para las plantas de TAME y MTBE.

El MTBE (Metil-Terbutil-eter) es producido a partir de la reacción entre isobutileno de la fracción C4 (butano, butileno e isobutileno) de la FCC con MeOH usando como catalizador una resina del tipo ácido fuerte.

Para eliminar las impurezas que dañan al catalizador se alimenta la carga C4 a la columna de lavado donde se pone en contacto con agua desmineralizada a contracorriente. Los flujos de alimentación son controlados por el nivel en la columna y la presión en la misma por un sistema de entrada de nitrógeno y salida al quemador instalado en el tanque separador de domos. La corriente proveniente de dicho tanque es mezclada con MeOH de recirculación calentandose antes de su ingreso al reactor principal donde se pone en contacto con el catalizador. La temperatura es controlada por una recirculación al reactor a través de un enfriador y la alimentación.

La corriente que sale del reactor principal es precalentada antes de entrar a la columna catalítica donde debido al catalizador se incrementa la conversión y se separa el MTBE como producto de fondo y la mezcla de C4's-MeOH por el domo ambas a almacenamiento. Esta mezcla es conducida a un condensador para ser alimentada a la torre de lavado de refinadodonde debido a una inyección de agua se

separan el refinado (C4) y la mezcla MeOH-agua que se envía a la torre de recuperación de MeOH.

1.3 Productos Derivados de la Refinación del Petróleo.

Si bien se puede pensar que a partir de la refinación del petróleo sólo se producen unos cuantos grupos de productos, bajo especificaciones individuales la diversificación se extiende muchísimo. Tan sólo en Estados Unidos, por ejemplo, el Instituto Americano del Petróleo ha determinado que se llegan a producir alrededor de dos mil productos distintos a partir de la refinación del petróleo¹, contando entre ellos gasolinas, diversos combustibles, aceites lubricantes, ceras, etc.

Esta variedad de productos se puede simplificar agrupándolos según el uso que se les da a cada uno de ellos. Este agrupamiento ayuda a clasificar a todos estos productos en base a las características que tienen en común, volviendo más sencillos su estudio y descripción. Los productos de una refinería se pueden agrupar de acuerdo a la tabla 1.4.

El gas combustible al que se hace referencia, esta compuesto básicamente de los gases más ligeros (metano y etano), cuyo poder calorífico y propiedades son similares a las del gas natural. Muchas veces estos gases son usados para la fabricación de hidrógeno por craqueo térmico, o bien, para la producción de petroquímicos como el etileno cuyos derivados se cuentan por miles.

El gas licuado está constituido por propano y butano, aunque este último en menor proporción debido a que es muy usado para la fabricación de gasolinas. El

¹ Gary & Hanwerk. Refino de Petróleo. España 1980, pag. 5

principal uso del gas licuado del petróleo (GLP) es el de combustible doméstico debido a su fácil transportación y almacenamiento seguro en pequeños recipientes.

Tabla 1.4
Productos Derivados del Petróleo

Grupo de Productos.
Gas combustible
Gases licuados
Gasolinas
Combustibles para Jet.
Querosinas
Destilados(Diesel y combustóleos ligeros)
Aceites lubricantes
Antioxidantes
Grasas
Ceras
Asfaltos
Coques
Negro de humo
Disolventes y otros

Nelson, USA 1958.

Dentro de las gasolinas podemos hablar de dos grandes grupos: las gasolinas para motores automotrices y las gasolinas de aviación. En la fabricación de gasolinas de cualquiera de los dos tipos se requiere de operaciones de mezclado, pues un solo producto no reúne las características necesarias para un adecuado funcionamiento de los motores. En el caso de las gasolinas automotrices, se requiere que el producto final reúna tres características básicas: (1) El combustible debe quemarse suavemente, sin detonaciones que alteren el funcionamiento del motor; (2) debe tener una volatilidad que permita encender el motor aun en climas fríos; y (3) su presión de vapor no debe de ser demasiado alta para evitar pérdidas de combustible por evaporación. Por su parte, las gasolinas para aviación dañan

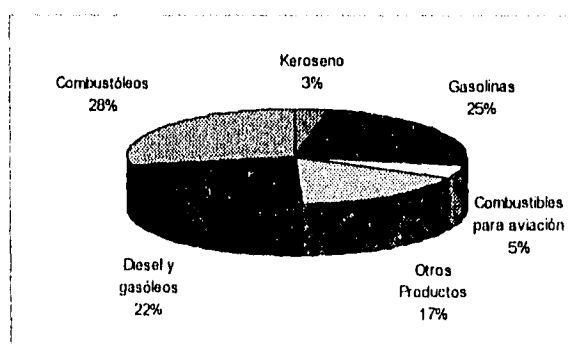
seriamente los motores si no se tiene cuidado en preparar un producto con bajo nivel de detonación; además se busca preparar una mezcla cuyo punto de congelación sea lo suficientemente alto como para no congelarse con las bajas temperaturas que se alcanzan a la altitud a la que se vuela actualmente. En ambos casos, la necesidad de mezclar productos en la búsqueda de las características deseadas es indispensable; normalmente en su preparación se usan como componentes de la mezcla la gasolina directa del primer destilado, la gasolina procedente del craqueo catalítico, del craqueo con hidrógeno, la procedente del reformado catalítico, el denominado alquilato y el n-butano obtenido como parte de los gases ligeros.

El querosina fue usado durante mucho tiempo como combustible para iluminación, sin embargo este uso ha declinado y ahora se le utiliza más como combustible en tractores, jets, o en turbopropulsores. En el caso de los motores a propulsión se busca que tengan un punto de congelación alto (por la misma razón expuesta arriba y porque pueden bloquear la turbina) y que se quemen limpiamente, es decir que no dejen residuos en el motor. Nuevamente no se logran obtener todas estas características con un solo producto por lo que es necesario preparar mezclas adecuadas a estos requerimientos.

Los productos denominados destilados intermedios comprenden gasóleos y dieselés, cuyos principales usos se encuentran en los motores de camiones, autobuses, locomotoras y barcos, entre otros. El caso de un motor diesel difiere de el de gasolina, pues en el motor diesel se requiere que el combustible detone tan pronto como es inyectado junto con el aire al cilindro del motor. Otro característica importante es la de dar a la mezcla del combustible la viscosidad necesaria para un mejor bombeo y conducción a través de las líneas que llevan el combustible al motor; por tanto se vuelve necesario preparar mezclas que reúnan estas características antes de poder ofrecerlo como producto al mercado.

Los combustóleos son usados como combustibles para hornos o calderas, cerca del setenta por ciento de estos productos son usados en la producción de vapor en la industria. El combustóleo esta constituido por los residuos de la destilación del petróleo y para que pueda ser usado se le mezcla con otras fracciones confiriéndole la viscosidad apropiada y las características requeridas para usarlo como combustible.

Fig. 1.2
Productos Obtenidos de la Refinación en el Mundo.



Hydrocarbon Processing, 56(7)-194-(1977)

Todos los derivados del petróleo que son usados como combustibles tienen ahora la necesidad de ser elaborados cuidando aquellas características que puedan dañar el medio ambiente. El contenido de azufre, de hidrocarburos aromáticos y de plomo son algunas de las características más reguladas en la actualidad debido al alto costo ambiental que implican, como la lluvia ácida, el envenenamiento de la sangre, y la contaminación en general. Por ello, se ha buscado que todos estos productos no contengan ninguno de estos elementos, lo que ha llevado a buscar, en el caso particular del plomo, muy usado como agente antidetonante en las gasolinas,

substitutos más limpios que confieran a las mezclas las mismas características que sus antecesores.

Los aceites lubricantes son otros derivados del petróleo, cuyo uso radica en disminuir la fricción entre dos piezas metálicas en contacto. En su elaboración la característica principal a tomar en cuenta es la viscosidad, dependiendo del uso final que se le de al aceite su viscosidad será menor, como en el caso de algunas máquinas textiles; o muy alta, en máquinas sometidas a esfuerzos muy grandes; entre estos dos extremos existe una amplia variedad de productos. Las grasas son aceites lubricantes a los que se ha añadido agentes que les confieren una consistencia gelatinosa o bien, que les han hecho alcanzar una viscosidad muy elevada. Estos agentes pueden ser compuestos orgánicos de aluminio, calcio, sodio o litio.

Otros productos orgánicos obtenidos a partir del petróleo son las ceras, los solventes, los asfaltos, el negro de humo, la amplia gama de los petroquímicos derivados (olefinas, alcoholes, polímeros, etc.) e incluso compuestos inorgánicos como los fertilizantes, el amoníaco y el azufre elemental. Podemos observar como los productos derivados del petróleo tienen una gran importancia en nuestra vida, pues los encontramos prácticamente en cualquier lugar hacia al que veamos contándose por miles.

1.4 El Mezclado de Productos como Parte del Proceso de Refinación

El proceso de refinación ofrece mayores beneficios cuando se producen intermediarios que pueden ser mezclados con el fin de obtener productos específicos con las características requeridas por el mercado, además si la demanda de alguno de estos productos llega a disminuir los intermediarios pueden ser usados en la elaboración de otros con mayor demanda en ese momento. Un ejemplo claro de

esto es como las naftas y compuestos ligeros son mezcladas con diversos productos para producir gasolinas o combustibles de otro tipo. Los principales productos obtenidos a partir de mezclado son los aceites lubricantes, gasolinas, diesel, combustibles y gasóleos.

Cuando se realiza el mezclado de productos se busca distribuir los componentes disponibles de tal manera que se satisfaga la demanda de productos comerciales y sus especificaciones al menor costo posible, maximizando así las ganancias. Este tipo de acciones tienen mayor impacto si consideramos que incluso una refinería de mediano tamaño elabora un gran volumen de productos y al ahorrar incluso una cantidad muy pequeña de dinero por unidad de producción los beneficios obtenidos al final del periodo de actividades será muy grande. Por ejemplo si una refinería produce cien millones de litros de gasolina al año, el ahorro de un centavo por litro dará un ahorro anual de un millón de pesos anuales².

Actualmente el mezclado se realiza mediante el uso de mezcladores en línea controlados por computadora; particularmente tiene importancia el uso de estos sistemas en el mezclado de gasolinas cuyo volumen de producción es muy grande debido a la gran demanda que tiene este producto en el mercado, pero se utilizan las mismas técnicas básicas para el cálculo del mezclado para cualquier otro producto. A la computadora se alimentan los datos de propiedades, características, costos y disponibilidad de los intermediarios y del producto deseado. La máquina, haciendo uso de la programación lineal optimiza las operaciones de mezclado seleccionando los componentes a mezclar de tal manera que el producto se obtenga al menor costo posible. Las opciones que satisfacen estas características pueden ser muy variadas, debido al amplio número de variables involucradas en el proceso y por ello se tienen varias opciones a elegir.

² Gary & Hanwerk. Refino de Petróleo. España 1980. pag 177

El proceso de mezclado es monitoreado constantemente para verificar que las propiedades del producto como son: punto de ebullición, presión de vapor, peso específico y números de octano, se encuentren dentro de las especificaciones; con ello los datos obtenidos son retroalimentados a la computadora y esta aplica acciones correctivas, en caso necesario, manipulando las corrientes de mezclado.

Este proceso descrito tan sencillamente en estas páginas tiene una gran importancia en la obtención de productos de alta calidad en el proceso de refinación, y el trabajo se dedicará a analizarlo en profundidad en los capítulos siguientes, mientras el diseño del programa de mezclado se presentará hasta el cuarto capítulo junto con toda la información concerniente a los intermediarios a mezclar y los productos que se desea mezclar.

2.- MEZCLADO DE GASOLINAS

2.1 Elaboración de Gasolinas

2.1.1 Generalidades

En la fase inicial del desarrollo de la industria petrolera no se concedía a las gasolinas mayor importancia, simplemente eran la fracción del petróleo demasiado ligera como para formar parte del queroseno. No fue sino hasta la aparición del automóvil cuando empezó a aprovecharse este producto gracias a aquellas características que la hacen apropiada para los motores de combustión. Al transcurrir el tiempo la importancia de las gasolinas ha crecido de tal manera que, muchos de los países productores de petróleo tienen que adaptar sus refinerías al incremento en la demanda de gasolinas y otros productos ligeros provocados por el crecimiento poblacional y así ser capaces de satisfacer al mercado. México y Brasil fueron dos de los países que más invirtieron en este tipo de modificaciones durante la década pasada a pesar de que para 1982 se convirtieron en los dos países más endeudados del mundo¹.

Casi el total de las gasolinas que se producen en las refinerías tienen como destinatario el mercado automovilístico cuya importancia es tan grande, que si bien se producen gasolinas para aviones y jets, estas sólo representan el 3% del mercado total de las gasolinas² y no se consideran al hacer el diseño preliminar de una refinería, por lo tanto tampoco se consideran aquí.

Las gasolinas son mezclas complejas de hidrocarburos cuyos puntos de ebullición se encuentran entre los 38 y 211°C (de acuerdo al método ASTM), estas

¹ Petróleo Internacional. 40(julio) 16-17 (1982).

² Gary & Handwek. Petroleum Refining. USA 1994. pag 12

mezclas se preparan con el objeto de brindar en el producto final un fácil calentamiento, una alta calidad antidetonante, un fácil arranque y bajo contenido de depósitos en el motor. En la elaboración de las gasolinas los principales componentes que toman parte son la gasolina ligera directa (LSR), el reformado catalítico, la gasolina craqueada catalíticamente y la hidrocraqueada, el alquilato y n-butano; así como los agentes de mezclado presentes en un 20% en volumen y que han venido a substituir a los compuestos de plomo usados anteriormente para mejorar la capacidad antidetonante del combustible. En la búsqueda de mejorar las características de las gasolinas, se agregan a las mezclas comerciales componentes en pequeñas cantidades (usualmente ppm) tales como aditivos, detergentes, anticorrosivos, etc.

2.1.2 Componentes de las Gasolinas

El primero de los componentes involucrados en la elaboración de las gasolinas es la gasolina directa del primer destilado constituida básicamente por la fracción de C_5 que ebulle aproximadamente a la temperatura de $88^{\circ}C$, y cuyo octanaje (capacidad antidetonante) no puede ser mejorado mediante reformación catalítica. Este destilado podría ser usado como gasolina si no fuera por su bajo poder antidetonante; además la cantidad de gasolina directa que se obtiene no cubre la gran demanda que tienen las gasolinas como producto en el mercado por lo cual es necesario convertir las fracciones pesadas del petróleo en fracciones ligeras que resultan más útiles. La gasolina directa únicamente requiere de tratamiento para eliminación de mercaptanos (ensayo doctor) o de un lavado cáustico para dejarla lista para ser mezclada.

La gasolina proveniente de las plantas de craqueo catalítico y craqueo con hidrógeno normalmente se usan directamente como alguno de los componentes para el mezclado, sin embargo, en ocasiones puede llegar a separarse en dos corrientes:

una pesada y otra ligera. De ser así, a la fracción pesada se le somete al proceso de reformado antes de enviarse a la sección de mezclado. Este tipo de acciones se ha vuelto más común desde que la disminución en el uso del plomo como antidetonante apareció, obligando a los refinadores a tener componentes de mezclado con mejores propiedades antidetonantes.

La planta de reformado catalítico proporciona uno más de los componentes de la mezcla final. Esta unidad procesa la nafta proveniente de la unidad de destilación, la proveniente del coquizador y de ser necesario la de las unidades de craqueo. El proceso se controla de tal manera que el producto incrementa considerablemente su capacidad antidetonante convirtiendo las parafinas de bajo octano en compuestos aromáticos de alto octano. Si bien esta característica hace al proceso de reformación una poderosa herramienta, también es cierto que la presencia de compuestos aromáticos en el producto final tiene un alto costo ambiental y por lo tanto, las constantes restricciones gubernamentales al respecto provocaron que el proceso de producción busque nuevas alternativas para mejorar el octanaje de los intermediarios para gasolina. Por otro lado cuando los compuestos aromáticos son pesados favorecen la acumulación de residuos en el motor del automóvil.

La gasolina polimerizada se produce a partir de la reacción de olefinas ligeras para convertirlas en hidrocarburos dentro del rango de ebullición de la gasolina incrementando la capacidad antidetonante del producto hasta en 30 unidades. Este proceso sirve también como punto de partida para la elaboración de compuestos oxigenados que substituyen al plomo como agente antidetonante y considerados como agentes de mezclado. Este tipo de proceso es superado por el proceso de alquilación, cuyos rendimientos volumétricos duplican a los de la isomerización. El alquilato es producto de la reacción del isobuteno con el propileno o incluso con el butileno y pentileno (siempre y cuando se controle la no formación de cadenas

demasiado largas sin valor en una mezcla para gasolina). La isomerización también disminuye la presión de vapor del producto.

El buteno es uno más de los componentes de la gasolina; se adiciona con objeto de obtener la presión de vapor deseada. La presión de vapor de la gasolina debe ser lo suficientemente baja para evitar la evaporación y pérdida del combustible y lo suficientemente alta como para favorecer un fácil arranque. El buteno tiene alta capacidad antidetonante y por lo tanto, es muy recomendable tenerlo como componente de la gasolina incluyéndose tanto como es posible.

Los agentes de mezclado son sustancias que no forman parte del crudo y que se agregan hasta en un 20% en volumen a las gasolinas. Todos estos compuestos contienen oxígeno como parte de su molécula, por ejemplo éteres o alcoholes. Se usan con el fin de aumentar la capacidad antidetonante de la mezcla final y para reducir las emisiones contaminantes resultado de la combustión de las gasolinas. Algunos de los compuestos usados como agentes de mezclado son el metil-*ter*-butil éter (MTBE), *ter*-amil-metil éter (TAME), etil-*ter*-butil éter (ETBE), metanol, etanol y alcohol *ter*-butílico. Para decidir que tipo de agente se va a usar hay que tomar en cuenta muchos factores como la disponibilidad de las materias primas y el costo de producción. El metanol y el etanol no son muy usados pues, al entrar en contacto con pequeñas cantidades de agua se separan de la mezcla combustible formando dos fases, por lo que requieren de alcoholes un poco más grandes para homogenizar la mezcla, y ni aún así se consigue un mezclado óptimo.

Como se ha mencionado con anterioridad, estas sustancias son agregadas a las gasolinas con objeto de aumentar el poder antidetonante de la gasolina producto, pero no es ese el único aspecto a tomar en cuenta cuando se mezclan tal cantidad de sustancias. Uno de estos aspectos es la modificación en la volatilidad de la

mezcla; una buena mezcla combustible debe tener una curva de volatilidad suave, sin saltos o cambios abruptos.

Otros componentes de las mezclas para gasolinas son los aditivos cuyas funciones van desde dar color al combustible hasta la de desactivar metales pesados. Entre estos aditivos encontramos los colorantes agregados a las gasolinas con objeto de hacer su identificación más fácil, y así ayudar a las personas encargadas de las estaciones de servicio a verificar que la gasolina es depositada en el tanque subterráneo de almacenamiento correcto. Los aditivos antioxidantes van encaminados a darle a la gasolina estabilidad para su almacenamiento, agregando la cantidad que sea necesaria. Siguiendo con esta tendencia, se agregan a la gasolina desactivadores de metales, como el cobre, que puedan acelerar los proceso de oxidación. Los aditivos anticorrosivos son compuestos tensoactivos capaces de retener las pequeñas gotas de agua que pudieran estar presentes en los tanques de almacenamiento o bien, en los tanques de los vehículos automotores. Para prevenir la formación de residuos en el carburador, válvulas, el inyector de gasolina o en la cámara de combustión del motor, se adicionan a la gasolina detergentes capaces de eliminarlos; sin embargo, muchas veces el detergente apropiado para eliminar los residuos en una parte del motor puede causar acumulación en otro parte, de ahí que se tenga que buscar mezclas detergentes que puedan funcionar bien en todo el motor sin afectar algún lugar en específico. Por último se debe mezclar con las gasolinas aditivos que eviten la formación de emulsiones aceite en agua tan estables que disminuyen la efectividad de la explosión del combustible, además de arrastrar mugre y residuos a lo largo de todo el motor.

El último paso en la elaboración de gasolinas consiste en las operaciones de mezclado, en donde todas las sustancias antes mencionadas deben de combinarse en las proporciones correctas a un costo lo más bajo posible. Cuando se piensa en

preparar una mezcla de gasolinas a partir de todos estos componentes, se deben tomar en cuenta tres aspectos principalmente: (1) Se deben usar los componentes en la misma proporción en la que son producidos para evitar que la refinería sufra de exceso o falta de materia prima. (2) Cada una de las gasolinas producidas debe ser fabricada cumpliendo con las especificaciones que exige el mercado, sin excederlas o no alcanzándolas. (3) Se debe tomar en cuenta que la gasolina no será utilizada inmediatamente después de ser producida, sino que puede llegar a transcurrir hasta un mes antes de que llegue al consumidor final. Estos tres puntos deben de hacerse converger en la manera más económica posible, y si bien es una tarea difícil el buscar un óptimo mezclado, la ayuda de herramientas de computo y la posibilidad de manipular algunas variables como las proporciones de mezcla y el tipo de componentes de las mismas, facilitan un poco la tarea.

2.2 Características de las Gasolinas

2.2.1 Características Generales

En la actualidad, las gasolinas deben de cumplir con especificaciones que exigen de ellas las mejores características. Las nuevas gasolinas deben de cumplir no sólo con las características que aseguran un buen funcionamiento de los motores en los que son usadas, ahora además, deben de reunir propiedades que garanticen la no alteración del equilibrio ecológico.

Existen muchísimas propiedades importantes en las gasolinas, pero quizás las de mayor importancia son el intervalo de ebullición y el poder antidetonante. La gasolina, como combustible automotor, debe evaporarse con facilidad y quemarse por completo cuando se produzca la chispa dentro del cilindro.

El intervalo de ebullición se mide mediante curvas de destilación, prueba que se aplica a muchos de los derivados del petróleo, en especial a aquellos que deben de ser evaporados para poder ser usados, como la gasolina. La curva de destilación ayuda a predecir el desempeño de los productos; por ejemplo las gasolinas deben ser lo suficientemente volátiles para permitir un fácil arranque del motor sin necesidad de precalentarla, y al mismo tiempo, no deben ser demasiado volátiles como para provocar una evaporación excesiva con la subsecuente pérdida de combustible o la formación de bolsas de vapor. El intervalo de ebullición determina la facilidad de arranque, la intensidad de la aceleración, las pérdidas por dilución en el cárter y la tendencia a la formación de las bolsas de vapor. El tiempo de calentamiento del motor viene dado por la cantidad de combustible destilado a 70°C, y la temperatura a la cual se ha destilado el 90% de la mezcla según el método ASTM (D 86). El calentamiento se expresa en términos de kilómetros de funcionamiento requeridos para desarrollar completamente la potencia, considerándose como efectivo un calentamiento de tres a seis kilómetros. Este calentamiento esta influenciado por la relación de combustible evaporado a 70°C y la temperatura ambiente considerándose satisfactorio un desempeño similar al de la tabla 2.1.

Tabla 2.1
Influencia de la T Ambiente en la Destilación

% Destilado a 70°C	3	11	19	23	28
T ambiente mín. (°C)	27	16	5	0	-7

Gary & Handwerk. USA 1994.

La dilución en el cárter también esta influenciada por la temperatura ambiente y por la temperatura a la que se evapora el 90% de la mezcla, para evitar que las pérdidas por dilución sean grandes, la temperatura a la que se evapora esta cantidad de combustible debe apegarse a la tabla 2.2.

Tabla 2.2
T Ambiente Mínima de para 90% de Destilado

T ambiente min. (°C)	27	16	5	0	-7
Dest. ASTM 90% (°C)	188	177	171	168	163

Gary & Handwerk. USA 1994.

Otra característica importante es la limpieza de la gasolina. La gasolina debe ser química y físicamente limpia, lo que significa que no debe contener sustancias que provoquen la formación de subproductos como gomas o polímeros, no debe de reaccionar mientras se encuentre almacenada, ni contener sólidos insolubles o grandes cantidades de agua mezclada. Todas las características enumeradas hasta ahora deben de ser tomadas en cuenta en la elaboración de la gasolinas para así asegurar un desempeño óptimo de los motores y los combustibles.

2.2.2 Presión de Vapor

La presión de vapor de las gasolinas se relaciona con un fácil arranque y la no formación de bolsas de vapor. De manera particular se utiliza el método Reid para evaluar esta propiedad¹, aplicado únicamente para evaluar la presión de vapor de productos derivados del petróleo no viscosos y volátiles. La presión de vapor Reid (PVR, RVP = Reid Vapor Pressure) es la presión de vapor absoluta de una mezcla a 38°C y una relación vapor/líquido de cuatro. Usualmente la PVR se expresa en libras sobre pulgada cuadrada absolutas (psia) o kilogramos sobre centímetro cuadrado (Kg/cm²), pero también puede ser expresada en milímetros de mercurio (mmHg), atmósferas (atm) o pascuales (Pa). Si bien la PVR es un aproximación muy buena a la presión de vapor real, no son equivalentes pues la PVR se evalúa evaporando la gasolina en contacto con una mezcla gaseosa formada por vapor de agua y aire en un espacio cerrado. En general la presión de vapor real es mayor a la PVR. La PVR debe ser de alrededor de 0.6 Kg/cm² como mínimo para facilitar

¹ Baird. Petroleum Product Blending. USA 1989. pag. 13.

el arranque del motor incluso en climas fríos¹. Para controlar la formación de bolsas de vapor la PVR debe mantenerse por debajo de los límites mostrados en la tabla 2.3.

Tabla 2.3
Influencia de la T Ambiente en la PVR

Temperatura Ambiente (°C)	16	21	27	32
PVR max. permisible (Kg/cm²)	0.9	0.8	0.7	0.6

Gary & Handwerk. USA 1994.

2.2.3 Número de Octano

El poder que puede desarrollar un motor de combustión está limitado por dos fenómenos de combustión conocidos como detonación (knocking) y preignición (rumble). Si la mezcla combustible/aire explota simultáneamente en varias partes del motor en lugar de hacerlo progresivamente después de la chispa, se produce un sonido característico al que se conoce como detonación o knocking. La preignición es provocada por varias explosiones de la mezcla durante la compresión (uno de los cuatro tiempos característicos de los motores de gasolina -admisión, compresión, explosión y expulsión-) el cual provoca también un sonido característico. En ambos casos la energía liberada por la explosión no puede ser convertida totalmente a trabajo mecánico por el pistón y por lo tanto se pierde en forma de calor contrarrestado por el sistema de enfriamiento del motor o bien escapando junto con los gases resultantes de la combustión. A parte de los problemas económicos y de pérdida de energía, las detonaciones pueden provocar daños al motor; de todo esto se puede concluir la importancia que tiene la propiedad antidetonante de las gasolinas.

¹Encyclopedia Kirk-Othmer. Vol. 12 pag. 351.

El comportamiento antidetonante de las gasolinas se expresa como número de octano, el cual se obtiene comparándolo con mezclas de dos hidrocarburos puros: n-heptano e isoocetano (2,2,4-trimetilpentano). El n-heptano tiene un comportamiento antidetonante nulo por lo que se le asigna arbitrariamente un número de octano de cero; mientras el isoocetano tiene un alto poder antidetonante por lo que se le asigna un número de octano de 100. El número de octano de una gasolina se define como el porcentaje de isoocetano en una mezcla con n-heptano que tiene la misma capacidad antidetonante de la gasolina analizada bajo condiciones estándares (definidas por la Cooperative Fuel Research³). Hay, sin embargo, algunos hidrocarburos que tienen mejor comportamiento antidetonante que el isoocetano y por ello fue necesario llevar la escala hasta valores por arriba del 100.

Existen dos maneras de evaluar el número de octano: el método de investigación (RON = research octane number) y el método de motor (MON = motor octane number). Ambos métodos utilizan la misma prueba de motor para evaluarse pero, cada uno de ellos se efectúa bajo condiciones de operación diferentes. El RON representa la operación del motor bajo condiciones de ciudad, cuando la velocidad es baja y los cambios de velocidad frecuentes; mientras el MON se refiere a la operación del motor en condiciones de carretera, o sea alta velocidad. En general el RON es mayor al MON, y la diferencia entre estos dos se conoce como sensibilidad del combustible, la cual es un indicador de los cambios en el funcionamiento del motor con esa gasolina bajo ambas condiciones. El número de octano registrado (PON = posted octane number) para el combustible equivale a la media aritmética entre el RON y el MON, y es con el que se caracteriza a las gasolinas en el mercado.

³ Baird. Petroleum Product Blending. USA 1989. pag. 17.

El número de octano de una gasolina puede ser mejorada mediante el uso de aditivos añadidos a la mezcla en muy pequeñas cantidades. El más usado de estos productos ha sido el tetractilo de plomo (TEL = tetraethyl lead), cuyo uso empezó en los años 20's y ha venido disminuyendo debido a cuestiones ambientales. Otro buen aditivo resultó ser el metilciclopentadienil tricarbonil manganeso (MMT = methylcyclopentadienyl manganese tricarbonyl), sin embargo debido a su elevado precio comparado con su efectividad fue eliminado poco tiempo después de su aparición en los años 70's dejó de usarse.

La altitud y el clima afectan muchas de las propiedades de las gasolinas como la volatilidad y el número de octano. El número de octano se ve grandemente afectado por la altura del lugar de consumo, pero la mayoría de los combustibles se preparan tomando en cuenta esta consideración y por ello se logra disminuir el efecto de la altura a una disminución de tres unidades de número de octano por cada 1,500 m de incremento en la altura. En la tabla 2.4 se muestran otros de los factores que afectan al poder antidetonante de la gasolina.

Tabla 2.4
Efectos de Variables Sobre el Número de Octano

Variable	Efecto Sobre el # de Octano
Altitud	-3 RON por cada 305 m de incremento.
Humedad	-0.5 RON para un incremento del 10% en la humedad a 21°C.
Velocidad del Motor	-1 RON para un incremento de 300 rpm.
Temperatura del Aire	+1 RON por cada 1°C de aumento.
Avance del Encendido	+1.5 RON por 1° de avance.
Temperatura del Refrigerante	+1 RON por cada 6°C de aumento.
Depósitos en la Cámara de Combustión	+1 a 2 RON de 1,600 a 10,000 Km.

2.3 Aspectos Económicos y de Contaminación Ambiental

2.3.1 Aspectos Económicos de la Mezcla de Gasolinas

Siempre se busca elaborar gasolinas a precios económicos, por lo cual se deben evaluar una serie de factores antes de llevar a cabo el mezclado:

- Evaluar la calidad de los componentes disponibles como la gasolina natural, los compuestos oxigenados, butanos, reformado, etc.
- Tratar de ajustar los precios de venta de acuerdo a la calidad de los componentes (de ser posible).
- Verificar los aspectos económicos y operacionales de los proceso de reformación, alquilación e isomerización.
- Optimizar los puntos de corte de la unidad de destilación para obtener corrientes de mejor calidad⁶.

Todos estos aspectos llevaran a fabricar gasolinas de la manera más sana y económica posible arrojando los mayores beneficios.

El rendimiento de un combustible es un aspecto económico a tomar en cuenta por el comprador antes de elegir una marca en particular. Si bien esta aseveración no es particularmente cierta en el caso de México debido a que PEMEX sólo produce dos tipos de gasolinas (Magnasin y Nova) para todo el país, y que depende mucho del tipo de motor en el que se use la gasolina; el elaborar gasolinas con rendimientos altos es un objetivo buscado por los fabricantes interesados en ofrecer productos de calidad. El rendimiento de los combustibles se mide en kilómetros recorridos por litros consumidos (Km/L) y se calcula midiendo el consumo promedio de combustible para una muestra de automóviles de diferentes marcas trabajando bajo dos condiciones diferentes de manejo: una es manejo en carretera (manejo continuo y a alta velocidad), representando el 45% del resultado final; y la

⁶Hydrocarbon Processing, 61(12) 23 (1982).

segunda es manejo en ciudad (con paradas y arranques continuos y baja velocidad) representando el 55% del resultado.

La causa de este rendimiento es la capacidad calorífica del combustible, es decir que tanta energía puede liberar al ser quemado, medido en megajoules por litro (MJ/L). El rendimiento del combustible responde linealmente a esta propiedad y normalmente entre más grande fueran las moléculas que integran la gasolina mayor sería la energía liberada, pero también se acumularán más residuos en el motor y por lo tanto será necesario escoger la opción más adecuada. Por otra parte el uso de agentes oxigenados puede influenciar de modo negativo a esta propiedad y nuevamente deberán de balancearse todos los aspectos antes de seleccionar una mezcla producto apropiada.

2.3.2 Aspectos Ambientales Involucrados en la Fabricación de Gasolinas

El aspecto ambiental a pasado a formar parte importante en la elaboración de gasolinas, pues muchos de los compuestos utilizados en este combustible tienen efectos contaminantes graves al ser quemados en los motores. Tan sólo en la zona metropolitana del Valle de México circulan alrededor de tres millones de automóviles, mientras en todo el mundo se calcula una flota de 600 millones de autos que consumieron 1,750 MMton en 1993 (cifra que continúa creciendo, principalmente en países en vías de desarrollo)⁷; por lo que cualquier sustancia nociva que sea arrojada al medio como producto de la combustión de gasolinas estará presente en cantidades exorbitantes con el subsecuente perjuicio a la salud. Debido a esto muchas modificaciones se han hecho en la formulación de gasolinas, aunque, la solución debe de ser un acuerdo entre los productores de gasolinas y los productores de vehículos quienes deben de modificar en algunos casos el diseño de sus automóviles para reducir las emisiones contaminantes.

⁷ Hydrocarbon Processing, 74(2) 55-61 (1995)

Los primeros antecedentes de estas modificaciones aparecieron en Estados Unidos en el año de 1968 cuando todos los vehículos debían de regresar los vapores producto de la combustión incompleta de la gasolina al motor para ser utilizados nuevamente y disminuir así las emisiones de hidrocarburos ligeros a la atmósfera. Algunas de las principales modificaciones que por ley deben ser cumplidas por los automóviles en los Estados Unidos son enunciadas en la tabla 2.5.

En la tabla sólo se muestran cambios en los automóviles, pero estos obligan también a los fabricantes de gasolinas a hacer cambios en su formulación. Por ejemplo la instalación de los convertidores catalíticos, oblijo conjuntamente con la regulación ambiental, a eliminar el plomo de la formulación de las gasolinas y a buscar nuevas formas de aumentar el octanaje de la mezcla.

Tabla 2.5
Restricciones en las Emisiones de Automotores en USA

Año	Emisiones Contaminantes (g/Km)			Cambios en los Automóviles
	HC ^a	CO	NO _x	
Anterior	9.40	56	3.90	
1970	2.50	21		Combustión eficiente
1972	1.80	17		
1973			1.90	Recirculación de gases
1975	0.94	9.4		Oxidación catalítica
1977			1.20	
1980	0.25	4.4		
1981		2.1	0.60	Catalizador múltiple Sensor de oxígeno
1994 ^b	0.16	2.1	0.25	
2003 ^c	0.08	1.1	0.12	

^aHC = Hidrocarburos ^bA cumplir en tres años ^cSi es posible

Si bien este tipo de modificaciones en las gasolinas comenzó en Estados Unidos mucho tiempo atrás, otros países apenas comienzan a llevarlos a cabo, como en el caso de México cuyos vehículos con convertidores catalíticos empezaron a funcionar en 1990 al mismo tiempo que se lanzaba al mercado la gasolina Magnasin libre de plomo. Los países europeos comenzaron con este tipo de modificaciones hace ya algún tiempo, y en 1993 Austria fue el primero de ellos en prohibir el uso de gasolinas con plomo⁸ tendencia a la que se dirigen el resto de los países de esta área.

Los efectos contaminantes por combustión de gasolinas repercuten básicamente en la calidad del aire, por ello, restricciones ecológicas más estrictas han sido impuestas a los fabricantes de gasolinas quienes deben regular el contenido de azufre, de nitrógeno, de compuestos aromáticos, benceno, olefinas e incluso nivel mínimo de compuestos oxigenados, y límites a la PVR. Mientras más se sabe de los efectos en el ambiente de la combustión de gasolinas su reformulación se vuelve más estricta. El contenido de azufre de una gasolina que sale al mercado actualmente debe ser menor a 300 ppm (0.03% peso)⁹, no debe contener más de 1% en volumen de benceno y al menos debe contener un 2% de oxígeno; mientras la PVR esta limitada a un máximo de 0.8 Kg/cm², aunque varía dependiendo de la región.¹⁰

Todas las restricciones ambientales implican cambios en la estructura u operación de las refinerías, sobre todo la eliminación del plomo y en segundo lugar la de los compuestos aromáticos en las gasolinas, que obligan a buscar alternativas que combinen el uso de la reformación catalítica para así disminuir el contenido de estas sustancias en el producto final. Conforme el consumo de gasolinas sin

⁸ Hydrocarbon Processing, 74(7) 23 (1995).

⁹ Gary & Handwek. Petroleum Refining. USA 1994. pag 12.

¹⁰ Enciclopedia Kirk-Othmer. Vol. 12 pag 371.

plomo aumenta las refinerías deben buscar incrementar el octanaje de sus intermediarios con carácter de urgencia.

La eliminación del plomo como componente de las gasolinas ha llevado a hacer intensas investigaciones buscando sustituirlo por nuevos compuestos. Como se ha mencionado con anterioridad el uso de alcoholes y éteres ha sido una alternativa de solución a este problema. El compuesto más usado con este fin en la actualidad es el MTBE (metil-*tert*-butil éter), cuya capacidad de mejorar el octanaje de las gasolinas ha sido demostrado ampliamente¹¹. El proceso de producción del MTBE usa como materia prima el isobuteno, contenido en la fracción C₄ de las plantas de craqueo y metanol; hasta antes de la aparición de este proceso los butenos de esta fracción permanecían prácticamente sin ser utilizados (excepto el butadieno usado para fabricar hule sintético). El rendimiento de la reacción es alto y no ofrece problemas ambientales; sus características lo hacen realmente apropiado para mezclar componentes de gasolinas teniendo altos números de octano para el mezclado (RON = 115-135, MON = 98-110, PON= 106-123), que además aumentan si el octanaje de la gasolina es bajo, la concentración de MTBE sube y el contenido de compuestos saturados aumenta¹², su presión de vapor es baja, no afecta el funcionamiento normal de los motores, no forma trampas de vapor, ni ofrece problemas de corrosión; todo un noble agente para los fines perseguidos en las refinerías.

El MTBE ofrece muchísimas ventajas como componente de las gasolinas, sin embargo no es el único que se ha utilizado y a la par se manejan otros componentes como el TAME para la formulación de estos combustibles. El uso del TAME (*tert*-amil-metil éter) cuyas propiedades son lo suficientemente buenas como para complementar la función del MTBE, ha venido a ofrecer una nueva alternativa,

¹¹ Hydrocarbon Processing, 55(7) 121-125 (1976).

¹² Hydrocarbon Processing, 56(12) 98-102 (1977)

además se produce a partir de metanol y de las olefinas terciarias presentes en la gasolina craqueada catalíticamente y cuya presencia en el producto final no es del todo bien vista.

La elaboración de gasolinas más limpias y la búsqueda de nuevos combustibles es una prioridad importante en el mundo de la investigación ante la crisis energética que se espera dentro de algún tiempo y de manera más inmediata ante los grandes problemas de contaminación que sufrimos. Si hubiera suficiente, el uso del gas natural como combustible para autos sería una alternativa muy viable, pues las emisiones que su combustión causa son prácticamente nulas (aunque esto implique el hacer modificaciones en el tanque de almacenamiento de los autos). Sin embargo el uso de combustibles fósiles siempre producirá CO₂, causante del efecto invernadero y del calentamiento global del planeta, por lo que se seguirán buscando nuevas fuentes de energía; pero mientras no se encuentre una fuente realmente limpia el objetivo seguirá siendo el fabricar gasolinas lo más limpias posibles y mejores motores para su uso.

2.4 Mezclado de Gasolinas.

2.4.1 Descripción General del Proceso de Mezclado

Como se ha visto, el mezclado de intermediarios es uno de los pasos más importantes en la transformación del petróleo en productos terminados; permite a la refinería combinar los intermediarios producidos para así reunir las características y especificación que demanda el mercado al menor costo posible, es decir, optimizar el uso de los materiales disponibles en la refinería.

El proceso de mezclado es relativamente simple y puede llevarse a cabo de varias formas. Por mucho tiempo el mezclado de gasolinas se realizaba por lotes;

cada uno de los intermediarios se almacena en grandes tanques y mediante una especie de receta predefinida se agregan a un tanque de mezclado de acuerdo a la receta, en este tanque se tiene un sistema de agitación continua para homogeneizar la mezcla. Una vez que el proceso se concluye se toma una muestra y se envía al laboratorio. Si la mezcla cumple todas las especificaciones estará lista para ser comercializada; de no ser así, se deben añadir otros componentes para tratar de cumplir con las especificaciones requeridas. En el caso extremo una gasolina de alta calidad puede ser convertida a baja calidad con la subsecuente pérdida de dinero y aumento en el costo.

En la actualidad esta tarea se realiza a lo largo de la línea de producto, en lo que se denomina mezclado en línea. Mediante programación lineal se define vía computadora la mezcla preliminar. Conforme se lleva a cabo la mezcla se toman muestras en la línea de producto mediante instrumentos especializados y miden características tales como número de octano y volatilidad en pequeños lapsos de hasta cada 20 min. Si las propiedades de la mezcla no van de acuerdo a las especificaciones se ajusta la formulación usando la computadora, por lo cual es realmente difícil que haya necesidad de aplicar acciones correctivas al final del proceso. Debido al gran número de pruebas y análisis a los que se somete el producto a lo largo del proceso, las propiedades de la mezcla son conocidas con una alta precisión estadística pudiendo ser utilizada directamente al terminar el proceso. Las gasolinas una vez elaboradas deben ser enviados a una terminal de almacenamiento y después transportados a las estaciones de servicio mediante carros tanque, tuberías o de ser necesario por barco.

2.4.2 Determinación de las Propiedades de la Mezcla de Gasolinas

Si bien todo el proceso de mezclado es relativamente sencillo, el determinar las propiedades y proporciones de la mezcla es mucho más complejo. El elegir los

componentes de la mezcla y las proporciones en los que estos deben participar es el problema más complicado a resolver. La amplia gama de intermediarios que se involucran en el proceso de elaboración de gasolinas como la gasolina directa, la craqueada catalíticamente, la hidrocraqueada y la reformada, entre otros; y el preparar la mezcla en la forma más económica posible, hacen del proceso algo más que un simple mezclado de corrientes. La disponibilidad de cada uno de los intermediarios, sus propiedades y costos se involucran estrechamente en la fabricación de la gasolina producto.

Tomando en cuenta todos estos factores las posibles opciones se diversifican, pudiendo presentarse más de una solución al problema y la mejor manera de determinar estas soluciones es utilizar la programación lineal mediante dos posibles métodos. El primero y más simple, es el de alimentar a la computadora modelos de diferentes mezclas que satisfagan las características del producto y de las cuales la computadora puede elegir aquella mezcla que se pueda preparar a partir de los diferentes intermediarios disponibles. Este método es usado por aquellas refinerías que cuentan con modelos previos de mezclas posibles, pero tiene la dificultad de necesitar un alto número de mezclas para poder representar de modo significativo la flexibilidad de este proceso de mezclado y además, se puede necesitar un juego completamente nuevo de mezclas en caso de que alguna de las características de los intermediarios cambie, se necesite mezclar un nuevo elemento o las especificaciones del producto sean modificadas.

El otro método usa directamente en la elaboración del programa las características de los intermediarios y las especificaciones del producto, permitiéndole elegir la composición óptima de la mezcla directamente. Si bien es cierto que este método es mucho más flexible que el anterior, la elaboración del programa es mucho más compleja. La parte más complicada de la elaboración del

programa es la de poder utilizar las propiedades de los componentes en forma lineal, es decir que la propiedad sea aditiva al momento de realizar la mezcla. La mayoría de las propiedades importantes en las gasolinas, como el número de octano (que por cierto es la propiedad más cara a tomar en cuenta) y la presión de vapor, no siguen este comportamiento teniendo desviaciones de aumento o reducción el valor de la propiedad, por lo cual es necesario ajustar las propiedades de los intermediarios de tal manera que sea posible evaluar las propiedades de la mezcla linealmente.

Cuando una propiedad es aditiva, es decir, sigue un comportamiento lineal la operación de mezclado seguirá la siguiente fórmula:

$$P_M = \sum X_i * P_i$$

Donde P_M es la propiedad evaluada para la mezcla final, P_i es la propiedad para el componente i , y X_i puede ser la fracción mol, volumen o masa del componente i en la mezcla¹³. Si bien es cierto que algunas propiedades pueden seguir este comportamiento, las de mayor importancia (mencionadas arriba) no lo hacen; por ello se han buscado formas para generar funciones de estas propiedades que si se puedan trabajar en forma lineal. Estas nuevas funciones se denominan índices de mezclado (I) y deben de cumplir con la siguiente función:

$$I_M = \sum X_i * I_i$$

Donde la I indica el índice de mezclado para la mezcla o el componente i y la X significa fracción mol, masa o volumen. Si bien es cierto que podemos usar base molar, volumétrica o masa para elaborar el programa de mezclado, debemos cuidar que todas las propiedades a evaluar tengan la misma base para evitar problemas. En USA se usa la base volumétrica para realizar estos cálculos pero en muchos otros

¹³ Baird. Petroleum Product Blending. USA 1989. pag. 2.

países es común el uso de base masa. La elaboración de estos índices es una tarea ardua que incluye el recaudar datos de mezclado, la creación del modelo, ajuste y comprobación del mismo. Cabe mencionar que estos modelos parten de mezclas binarias y se desarrollan gradualmente hasta tener un modelo que se pueda ajustar a mezclas con gran cantidad de componentes.

Una de las simplificaciones más importantes al hacer un modelo de mezclado es la de considerar que el volumen de la mezcla es constante. En muchos de los casos cuando se mezclan productos el volumen resultante puede ser mayor o menor a la suma de los volúmenes individuales, lo que llevaría a tener una complicación más. En este trabajo se tomará en cuenta esta simplificación al momento de elaborar los modelos.

2.5 Cálculo de Algunas Propiedades para Mezclas de Gasolinas

2.5.1 Presión de Vapor

La presión de vapor de las mezclas de hidrocarburos siguen la ley de Raoult, en donde la presión de vapor de la mezcla se calcula como la suma de las presiones de vapor de cada componentes multiplicados por su fracción mol:

$$P_M = \sum X_i * P_i$$

Donde:

- P_M = Presión de vapor de la mezcla.
- X_i = Fracción mol de i .
- P_i = Presión de vapor de i .

Esta ecuación no resulta ser apropiada pues se necesita usar la presión de vapor real en lugar de la PVR y se usan fracciones mol en lugar de fracciones volumen muy utilizadas en la industria del petróleo. Por otro lado, a menos que se asuma comportamiento ideal es necesario calcular los coeficientes de actividad de cada uno de los componentes para corregir la ecuación. Bajo estas consideraciones muchos

métodos han sido desarrollados pero ninguno ha sido lo suficientemente efectivo como para aplicar la ley de Raoult directamente.

La ley de Raoult se puede modificar para ser usada con las PVR mediante un método desarrollado por Chevron, el cual resulta ser conveniente para evaluar la PVR del producto a partir de las PVR de los componentes. Para tal efecto se utiliza la fórmula:

$$IPVR = PVR^{1,25}$$

Donde: IPVR = Índice de mezclado PVR.
PVR = Presión de vapor Reid.

Y para la mezcla:

$$PVR_M = IPVR_M^{0.8}$$

$$IPVR_M = \sum Y_i * IPVR_i$$

Donde: IPVR_M = Índice de mezclado PVR para la mezcla
Y_i = Fracción mol del componente i
IPVR_i = Índice de mezclado PVR de i
PVR_M = PVR de la mezcla^{14,15}

Aunque la precisión de este método no es conocida totalmente, ha mostrado tener un uso conveniente en las operaciones de mezclado.

2.5.2 Número de Octano

La evaluación del número de octano para mezclas es una propiedad difícil de evaluar, el número de octano de la mezcla difícilmente equivale al promedio volumétrico de los números de octano de los componentes. Para evaluar esta propiedad se han desarrollado métodos complicados de cálculo como el método DuPont (DuPont Interactive Method) o los métodos etílicos (Ethyl Methods), sin

¹⁴ Baird. Petroleum Product Blending. USA 1989. pags. 13-14.

¹⁵ Gary & Handwerk. Petroleum Refining. USA 1994. pag. 263-264.

embargo, hay un método simplificado para evaluar los números de octano RON y MON consistente en usar números de octano de mezcla desarrollados por Gary y Handwerk que si pueden ser usados para calcular el número de octano del producto como resultado del promedio volumétrico de el de los componentes:

$$\text{RON}_M = \sum Y_i * \text{RON}_i \qquad \text{MON}_M = \sum Y_i * \text{MON}_i$$

Donde:

- RON_M = Número de octano de investigación de la mezcla.
- MON_M = Número de octano motor de la mezcla.
- RON_i = Número de octano de investigación del componente i.
- MON_i = Número de octano motor del componente i.
- Y_i = Fracción volumen del componente i¹⁶.

Este método tiene una desviación pequeña entre el valor del número de octano calculado y el número de octano real. Los números de octano para mezclado son presentados en la tabla 2.6.

2.5.3 Otras Propiedades

Muchas otras propiedades pueden ser evaluadas mediante métodos similares a los expuestos hasta ahora, como el caso de las curvas de destilación o los precios del producto; sin embargo, el cálculo de estas propiedades no es tan sencillo. Bajo este tipo de consideraciones se han buscado formas de simplificar el cálculo de las propiedades mediante softwares comerciales; estos paquetes hacen uso de la programación lineal como herramienta indispensable de calculo.

¹⁶Gary & Handwerk. Petroleum Refining, USA 1994, pag. 264-265.

Tabla 2.6
Valores de los Componentes para Mezclas de Gasolinas.

No.	Componente	PVR	IMON	IRON	°API
1	Isobutano	71.0	92.0	93.0	-
2	n-Butano	52.0	92.0	93.0	-
3	Isopentano	19.4	90.8	93.2	-
4	n-Pentano	14.7	72.4	71.5	-
5	Isohexano	6.4	78.4	79.2	-
6	LSR C ₇ -82°	11.1	61.6	66.4	78.6
7	LSR isomerizada	13.5	81.1	83.0	80.4
8	HSR	1.1	58.7	62.3	48.2
9	Gasol. hidrocraqueada	12.9	82.4	82.8	79.0
10	Hidrocraqueada C ₅ -C ₆	15.5	85.5	89.2	86.4
11	Hidrocrq. C ₆ -88°	3.9	73.7	75.5	85.0
12	Hidrocrq. 88-121°	1.7	75.6	79.0	55.5
13	Hidrocrq. pesado	1.0	67.3	67.6	49.0
14	Gasol. coquizador	3.6	60.2	67.2	57.2
15	Gasol. térmica ligera	9.9	73.2	80.3	74.0
16	Gasol. térmica C ₆ ⁺	1.1	68.1	76.8	55.1
17	FCC gasol. 93-149°	1.4	77.1	92.1	49.5
18	FCC hidrogenada C ₅ ⁺	13.9	80.9	83.2	51.5
19	FCC hidrog. C ₅ -93°	14.1	81.7	91.2	58.1
20	FCC hidrog. C ₆ ⁺	5.0	74.0	86.3	49.3
21	FCC hidrog. 149-204°	0.5	81.3	90.2	48.5
22	Reformado 94 RON	2.8	84.4	94.0	45.8
23	Reformado 98 RON	2.2	86.5	98.0	43.1
24	Reformado 100 RON	3.2	88.2	100.0	41.2
25	Aromático concent.	1.1	94.0	107.0	-
26	Alquilato C ₃ ⁼	5.7	87.3	90.8	-
27	Alquilato C ₄ ⁼	4.6	95.9	97.3	70.3
28	Alquilato C ₃ ⁼ , C ₄ ⁼	5.0	93.0	94.5	-
29	Alquilato C ₅ ⁼	1.0	88.8	89.7	-
30	Polímero	8.7	84.0	96.9	59.5

T = [°C]

Gary & Handwerk. USA 1994.

Uno de estos programas es el conocido como **Blend-LP**, diseñado para optimizar el mezclado de gasolinas con más de treinta componentes en su formulación. El programa de simulación de mezclado puede ser usado por

personas sin conocimientos especiales de matemáticas o programación. El paquete hace uso de la hoja de cálculo Lotus 1-2-3 para capturar los datos de las características de los componentes y presentar los resultados para las mezclas definiendo las cantidades de cada uno de los posibles componentes, los precios y características del producto. Para realizar estos cálculos emplea el modelo LP/APRIL de programación lineal desarrollado por la Applied Industrial Mathematics de los Estados Unidos.

El uso del programa consiste en cumplir una serie de pasos, de los cuales el primero de ellos es definir las propiedades de los componentes de la mezcla como volúmenes disponibles, precios, números de octano para mezclado (RON y MON), curvas de destilación, presiones de vapor (RVP) y peso específico ($^{\circ}$ API o peso específico). El segundo consiste en capturar los mismos datos para cada uno de los productos deseados. Una vez capturados estos datos el usuario solo necesita cambiar volúmenes y precios cuando requiera volver a correr el programa. El siguiente paso es correr el programa y revisar los resultados o imprimirlos.

El uso de estos paquetes de cálculo facilita al fabricante de gasolinas la optimización de la mezcla y al mismo tiempo da la pauta para el desarrollo del sistema de mezclado en línea.

2.6 El Mezclado en Línea como Alternativa en la Producción de Gasolinas

La serie de regulaciones ambientales que han aparecido en la actualidad y la cada vez mayor exigencia en la calidad del producto, cuidando siempre los objetivos de operación: seguridad, calidad, eficiencia y costo; han obligado a los productores de gasolina a buscar nuevas acciones en la realización de operaciones tales como el

transporte, el almacenamiento y el mezclado. Precisamente las operaciones de bombeo, mezclado y almacenamiento de productos ocupan un lugar muy importante en los costos de operación¹⁷, por ello los análisis de todos los factores involucrados en la producción desembocan, en la mayoría de los casos, en instalar un sistema de mezclado en línea con ayuda de herramientas de cómputo¹⁸ y al mismo tiempo de sistemas de análisis capaces de evaluar una gran cantidad de parámetros en un tiempo pequeño. Otra de las acciones comúnmente tomadas es la de aumentar el número de octano de los intermediarios a ser mezclados, hecho descrito con anterioridad en este trabajo.

La implementación de estos sistemas requiere estar a la punta en el uso de tecnología y reunir tanta información como sea posible referente a las características de los intermediarios y de los productos a elaborar. En la actualidad se requiere forzosamente hacer uso de sistemas computarizados si se quiere controlar los procesos y su calidad en tiempos reales, volviendo más competitivo el proceso de elaboración de gasolinas.

Para que el sistema de mezclado en línea sea considerado eficiente debe reunir ciertas propiedades en combinación con el resto del proceso:

- 1.- Las operaciones de producción (incluyendo el mezclado) deben estar bien coordinados con las de almacenamiento y embarque.
- 2.- Los sistemas de mezclado en línea deben de hacer uso de formulaciones óptimas al momento de llevar acabo su función.
- 3.- Tomar en cuenta las regulaciones ambientales.
- 4.- Calibrar los instrumentos analíticos continuamente para asegurar un óptimo desempeño, pues deben ser capaces de realizar una importante cantidad de análisis de manera automática con base a estándares preestablecidos.

¹⁷ Hydrocarbon Processing, 58(1) 139-140 (1979).

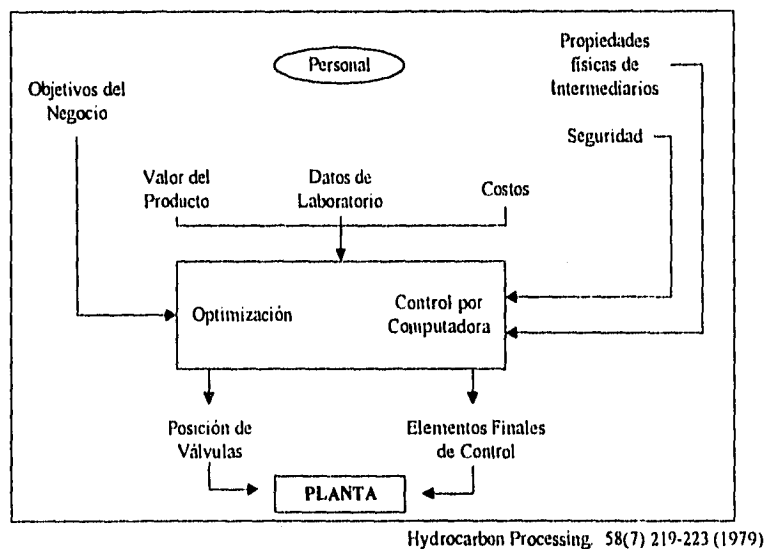
¹⁸ Hydrocarbon Processing, 74(2) 62-66 (1995).

5.- Usar tecnología de punta en los equipos de análisis y control, así como los relacionados con herramientas de cómputo.

6.- Verificar que los beneficios obtenidos por implementar este tipo de sistemas sean mayores que los costos.

7.- Determinar las limitaciones de la línea de producción para saber cual es la capacidad que se tiene para implementar el cambio¹⁹.

Figura 2.1
Implementación del Sistema de Mezclado.



De modo más general podemos resumir la implementación de estos sistemas mediante el siguiente diagrama:

Recopilación de datos + Modelado del proceso y sus aspectos económicos +
Optimización de la tecnología de control + Estudio económico de costos y beneficios
=
Aplicación exitosa del sistema

¹⁹Hydrocarbon Processing, 74(2) 63-66 (1995).

Por mucho tiempo se ha pensado en implementar sistemas de análisis que retroalimenten en tiempos cortos a los controladores de proceso, en especial los de mezclado; lo cual se ha conseguido con el desarrollo de sistemas de control en línea. Por ejemplo el hecho de poder hacer determinaciones continuas y precisas de los números de octano (RON y MON) se ha vuelto indispensable para tener un proceso de fabricación de gasolinas competitivo, pues los fabricantes no se pueden dar el lujo de producir gasolinas fuera de especificación. Este tipo de cambios y desarrollos son el resultado de muchos factores como la globalización de los mercados, requerimientos regulatorios y ambientales, aumentar la seguridad de los trabajadores y la necesidad de reducir costos. Cualquier fabricante de gasolinas se puede dar cuenta de lo mucho que los sistemas de mezclado en línea ayudan a cubrir estos factores minimizando los desperdicios y manejando eficientemente las materias primas y la energía disponible.

Si bien el laboratorio de análisis de la planta era el responsable de llevar a cabo la determinación de la composición y propiedades de las mezclas producto tomando periódicamente muestras de las corrientes de proceso, en la actualidad esto se vuelve cada vez más impráctico y nos encontramos en una etapa de transición en la que se opta por implementar nuevas técnicas que nos permitan llevar a cabo estos análisis en la línea misma del proceso. Algunas de las tácticas que han sido implementadas hasta ahora son: la cromatografía de gases, la espectroscopía de infrarrojo, la espectroscopía de infrarrojo cercano y la espectrometría de masas. Los mecanismos de análisis usados contemplan tres componentes: el sistema de muestreo, el analizador y métodos de recolección registro y análisis de datos. El sistema de muestreo está colocado sobre la misma línea de proceso sirviendo de conexión entre el proceso y el analizador, evitando el transporte de la muestra del lugar de muestreo al de análisis. Las técnicas de infrarrojo son las más usadas como sistemas de muestreo en línea. Los sistemas de espectroscopía de infrarrojo también son

usados como elementos analizadores en el sistema, desplazando al segundo lugar a la cromatografía y en tercero a la espectrometría. El sistema de análisis está diseñado para detectar solo un compuesto en particular, pero recientemente se han desarrollado detectores de infrarrojo capaces de detectar simultáneamente hasta veintidós componentes en una mezcla. Por último el sistema de control del analizador utiliza algún tipo de programa de computo para llevar a cabo su tarea y se debe conectar con el sistema de control de proceso para proveerlo de información.

Los sistemas de mezclado combinan los componentes de las gasolinas a partir del análisis de las muestras tomadas directamente de la línea (cabezal de mezclado) por los analizadores. Una vez hecho el análisis de aquellas propiedades fundamentales, el circuito cerrado del sistema retroalimenta al controlador para que ajuste los flujos de los componentes como la acción correctiva correspondiente. Todas las acciones tomadas por el controlador se realizan mediante sistemas automáticos en combinación con la programación lineal para asegurar que la decisión tomada sea la mejor. La implementación del sistema puede llevar a una refinería que produzca 100,000 bpd (barriles por día) de aceites ligeros a ahorrar de tres a ocho millones de dólares al año²⁰.

El mezclado en línea ha dejado de ser un sueño a alcanzar, se ha convertido en una necesidad de cualquier productor de gasolinas que quiera ser capaz de hacer frente a la serie de retos futuros. El no destinar los suficientes recursos a la investigación e implementación de este tipo de sistemas prácticamente asegura el fracaso de la compañía como fabricante no sólo de gasolinas, sino también de muchos otros productos.

²⁰ Hydrocarbon Processing, 69(5) 93-96 (1990).

3.- MEZCLADO EN LÍNEA

3.1 Producción de Gasolinas en México

3.1.1 Generalidades

La producción de gasolinas en México se encuentra completamente en manos de Petróleos Mexicanos desde 1938 por considerarse una actividad estratégica para el País. PEMEX produce en la actualidad dos tipos de gasolinas: Nova plus y Magna Sin; la primera de ellas es la última versión de gasolinas con plomo que se han fabricado en México y que vienen siendo substituidas por gasolinas sin plomo, como la Magna Sin, debido a regulaciones de tipo ambiental.

La producción combinada de estos dos combustibles ocupa el segundo lugar en volumen de todos los productos obtenidos por PEMEX a partir de la refinación del petróleo y el mayor volumen de ventas en el país^{1,2}.

Tabla 3.1
Producción de Gasolinas en México (BDC)

	1988	1989	1990	1991
Producción	140,747,268.0	143,736,003.0	157,872,527.0	158,217,897.0
Exportación	16,298.2	394.3	737.1	0.0
Importación	2,161.9	28,236.6	30,605.6	68,688.9
Ventas Internas (M\$)			10,180,931.7	14,630,581.5

BDC: Barriles Diarios de Crudo

ANIQ. México 1992

¹ PEMEX. *Memorias de Labores 1991*. México 1992. pág. 196, 200.

² ANIQ. *Anuario Estadístico de la Industria Química*. México 1992. pág. 50.

3.1.2 Descripción del Proceso

Para preparar gasolina Nova se recurre a tanques de intermediarios llenados intermitentemente. La formulación de la gasolina Nova incluye gasolinas primarias (15 %v), catalíticas (65 %v), pentanos (12 %v) y otras de bajo octano (8 %v); de las cuales, las gasolinas primarias son vaciadas a tanques donde se lleva a cabo la primera fase de mezclado donde su octanaje puede ser incrementado (en caso necesario) mediante uso de gasolina reformada, aunque normalmente sólo se agrega un tipo de gasolina. De ahí son transportadas a otro grupo de tanques donde se adiciona la gasolina proveniente de plantas catalíticas como componente principal de alto octanaje; garantizando así que sólo se agregará en estos tanques el plomo mínimo indispensable (en forma de tetraetilo de plomo o TEL) para alcanzar la especificación (aproximadamente 0.314 g/gal). Debemos tomar en cuenta un cambio por venir en México: la eliminación total de las gasolinas con plomo. Se estima que en diez años más sólo se producirá en gasolina sin plomo, eliminando así la gasolina Nova.

La gasolina Magna Sin se prepara a partir, principalmente, de gasolinas provenientes de plantas catalíticas (15 %v) y reformadoras (85 %v). Se lleva a cabo mediante operaciones de vaciado intermitentes a tanques de intermediarios, a los cuales se agrega cada una de las gasolinas antes mencionadas. Primeramente se agrega la gasolina reformada a la que se mide las propiedades de números de octano y curvas de destilación en base a los cuales se calcula la cantidad de gasolina catalítica por agregar como componente de alto octano. Se prepara el producto en estos tanques agregando volúmenes predeterminados de cada uno de los intermediarios siguiendo un procedimiento de aforo. Una vez lista la mezcla, se traslada el producto a los tanques de almacenamiento final.

Tabla 3.2
Especificaciones de Gasolinas Mexicanas

Especificación	Nova	Magna Sin
RON	--	82 min.
MON	81	--
(R+M)/2	--	87
PVR (psi)	7-9.5	7-9.5
Destilación (°C) 10 %	70 max	65 max
50 %	77-121	77-118
90 %	190	190 max
FBP (°C)	225	221
Azufre (% peso)	0.15	0.1 max
Plomo (g/gal)	0.2-0.3	0.01 max

PEMEX. Memorias de Labores 1991 México 1992

Si bien estos procedimientos de producción de gasolinas en México no se pueden generalizar a todas las refinerías que operan actualmente, si nos puede dar una idea global de aquellos aspectos involucrados en la elaboración de estos productos conjuntamente con el diagrama de flujo simplificado presentado en la figura 3.1. Al mismo tiempo, mediante esta pequeña descripción podemos darnos cuenta que no existe un procedimiento efectivo para controlar las variaciones de las propiedades del producto y que se requiere una gran cantidad de tanques para conseguir el mezclado óptimo; de ahí que se hayan buscado alternativas a este problema surgiendo entre ellas el mezclado en línea.

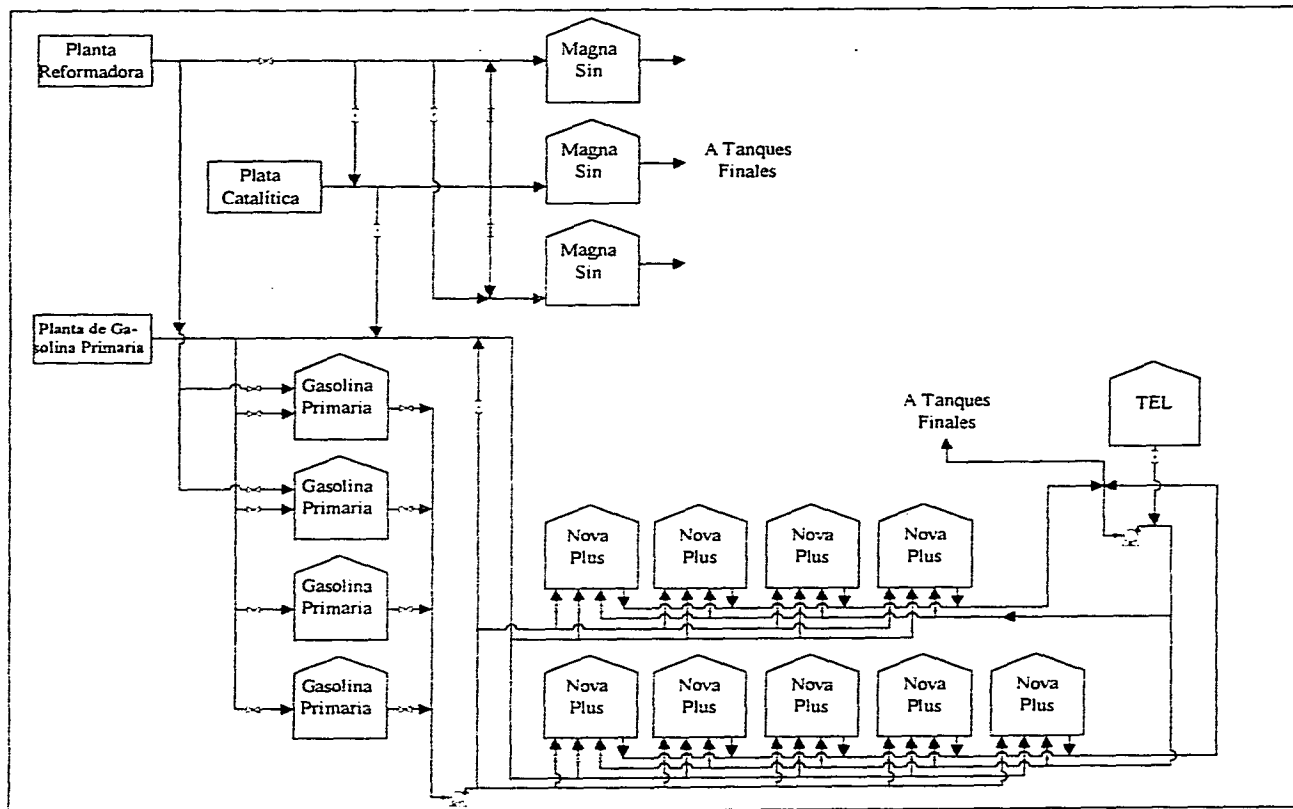


Fig. 3.1 Producción de Gasolinas por Operaciones Intermitentes

SENDEN, México 1993

3.2 Conceptos Básicos de Control Automático

3.2.1 Aspectos Generales del Control

El control automático de proceso tiene como base al ayudar a cubrir tres aspectos especialmente importantes en una planta: Seguridad, ayudando a mantener las variables de proceso dentro de rangos adecuados. Calidad, en cumplimiento de especificaciones de producto terminado y regulaciones ambientales. Económicos, ayudando a regular las posibles variaciones del proceso que impactan directamente a los costos de operación de la planta.

Existen básicamente dos maneras en que los sistemas de control actúan; mediante lazos de control abierto o mediante lazos de control cerrados. En el primero de ellos, el sistema toma datos del proceso emitiendo una señal que indica a un operador si debe o no realizar una acción correctiva para mantener el proceso en control. En este caso la variable indicadora no tiene efecto sobre la variable a controlar, y por ello no se considera a estos sistemas como ejemplos de control automático. El caso de los sistemas de control de lazo cerrado es completamente distinto; el sistema toma datos de una variable de proceso (variable controlada) y la compara con un valor preestablecido como punto de ajuste o set point, en caso de desviaciones el sistema manda una señal a un elemento final de control que aplica la acción correctiva necesaria.

La actividad de este tipo de control requiere de dos elementos en su elaboración: las estrategias y los algoritmos de control. Los algoritmos de control se refieren a la forma de actuar del controlador que puede ser como controlador proporcional (P), proporcional derivativo (PD), proporcional integral (PI) o proporcional integral derivativo (PID). Las estrategias por su parte se refieren a la forma en que el controlador interactúa con el proceso y las variables a controlar, el establecimiento

mismo del lazo de control, encontrándose básicamente dos tipos: lazos de control hacia atrás o retroalimentados como: el lazo sencillo, el lazo en cascada, y el lazo de relación; y lazos de control hacia adelante o prealimentado. Para una mayor especificación de los algoritmos y estrategias de control se encuentra el anexo D al final de este trabajo de tesis.

Cuando se piensa en el sistema de control globalmente no son únicamente las estrategias y los algoritmos los que ejecutarán el control, se requiere primero conocer bien el proceso para poder implementar los diversos elementos que integrarán al sistema. Estos elementos son: los medidores, encargados de obtener la lectura de las variables que nos interesa controlar y emitir señales (neumática, electrónica, etc.) que los transmisores captarán para posteriormente enviarla a los controladores. En estos, la señal es comparada con el punto de ajuste; emitiendo una señal de salida que se dirige hacia el elemento final de control quien será el encargado de modificar las condiciones de proceso para que la variable se mantenga dentro de control.

En una constante búsqueda de mejorar el control de procesos se pasa ahora a la optimización integrada por cuatro niveles cuyo objetivo es alcanzar el control de proceso maximizando los objetivos para los que fue diseñado. El primero de estos niveles es el de adquisición de datos realizado por todos los medidores involucrados en el proceso que integran los valores de las variables al sistema de control. El segundo es el control regulatorio y secuencial básico formado por los lazos de control descritos arriba. Los niveles tres y cuatro van más allá del control convencional; el nivel tres está constituido por el control avanzado utilizado para aquellos procesos complicados, con tiempos muertos grandes o variables acopladas, su objetivo es el de mantener las variables en control manipulando los puntos de ajuste del nivel inferior. El último de los niveles es la optimización cuya misión es la de maximizar los

objetivos del proceso tomando en cuenta sus restricciones mediante la manipulación de los puntos de ajuste de los dos niveles anteriores.

3.2.2 Sistema de Control Distribuido

En la actualidad los sistemas de control hacen uso de herramientas de computo que permiten controlar al proceso en una manera más eficiente. Tal es el caso de los sistemas de control distribuido o SCD's integrados por varios módulos con funciones específicas interconectados mediante redes de comunicación. El sistema de control se denomina distribuido porque distribuye las funciones por realizar y el riesgo implícito en diferentes dispositivos; así al haber problemas en alguno de ellos, el resto puede seguir operando sin interferencia significativa.

Uno de los módulos que integran al SCD es la estación central de control que constituye el vínculo entre el sistema de control y el operador, el técnico de mantenimiento o el ingeniero de proceso; puesto que la estación realiza operaciones relacionadas con estos tres miembros del equipo de operación de la refinería como lo son el monitoreo y manipulación de variables (proceso), configuración de bases de datos (ingeniería) y diagnósticos del sistema (mantenimiento) mediante desplegados en pantalla del proceso, el sistema y sus funciones con diferentes grados de detalle.

El módulo de almacenaje masivo de datos o de "historia" registra información sobre las alarmas y cambios del proceso, errores del sistema y recomendaciones de mantenimiento permitiendo un fácil acceso a estos datos. El otro módulo que integra el SCD es el módulo de aplicación que ejecuta los cálculos matemáticos básicos para el control y reporte de información. Para que estos tres módulos del SCD se comuniquen se requiere de la denominada red de área local o LAN (Local Area Network) facilite los flujos de información de un módulo a otro.

Esta misma red proporciona al SCD la información procedente del proceso mediante la interacción con la denominada red universal de procesamiento de información o UIPN (Universal Processing Information Network) que se conecta directamente a los instrumentos de medición y control facilitando el manejo de los lazos de control. A la interfase de comunicación entre estas redes se le conoce como red de interfase de proceso o PIN (Process Interface Network) que ajusta las señales de alto y bajo nivel par que puedan ser manejadas por el SCD a través del LAN.

El último de los módulos involucrados con el SCD es el módulo de compuerta (Computer Gateway) instalado en una computadora externa con una mayor capacidad de procesamiento de datos y programas encargada de llevar a cabo el control avanzado. Esta computadora se conecta al SCD mediante la red de información de planta o PIN (Plant Information Network) permitiendo así la interacción con datos externos al proceso en sí.

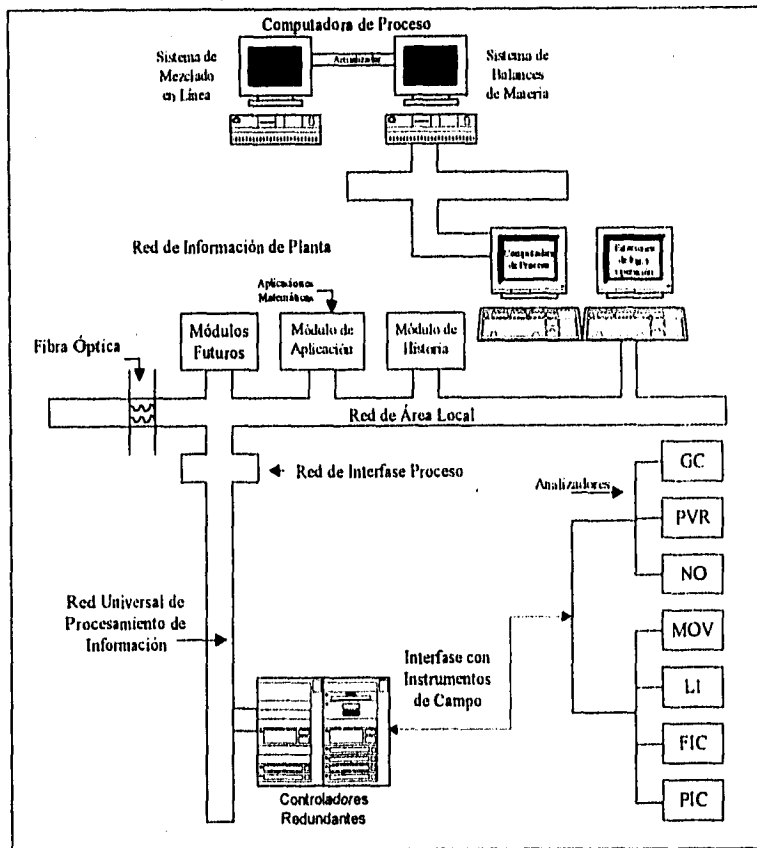
Una vez que toda la información referente al proceso ha sido reunida, se elaboran los diagramas dinámicos de proceso que substituyen a los tableros de control usados con anterioridad, permitiendo al operador la obtención de una mejor perspectiva del proceso interactuando con el SCD mediante el sistema de toque-pantalla (touch screen).

3.2.3 Control Avanzado de Procesos

El control regulatorio básico ha sido ampliamente rebasado por los sistemas de control avanzado una vez que los elementos computacionales se han vuelto accesibles en precio y requerimientos de operación. El control avanzado involucra todos los

niveles de control, desde el básico hasta los de optimización, ofreciendo la gran ventaja de ejecutarlos automáticamente y contrarrestar los efectos del tiempo muerto mediante compensación robusteciendo con ello al sistema.

Fig. 3.2 Sistema de Control Distribuido



SENDEN. México 1993

Muchos de los procesos por controlar presentan restricciones de tipo económico o técnico en más de una de las variables, que además están relacionadas entre si

aumentando el grado de complejidad de los lazos. Para poder controlar este tipo de procesos se hace uso de las técnicas multivariadas capaces de predecir el comportamiento del proceso ante perturbaciones mediante el uso de modelos lineales de operación. Al considerar las restricciones de las variables es posible conducir al proceso muy cerca de las especificaciones deseadas con los subsecuentes beneficios.

Los procesos multivariados dificultan el control del proceso debido a la interacción que presentan las variables involucradas. Esta interacción resulta inadecuada cuando se busca corregir los efectos de las perturbaciones, en especial cuando se redefinen los puntos de ajuste de los lazos de control. La primera opción que surge como alternativa para resolver este problema es el uso de desacopladores, los cuales independizan los lazos de control; sin embargo en más de una ocasión han provocado perturbaciones aun peores a las originales reduciendo con ello el uso de estos dispositivos a aquellos casos donde los cambios de punto de ajuste sean las perturbaciones más importantes.

Una alternativa más para el manejo de este tipo de procesos ha sido el uso de sistemas lineales en los que se relaciona a las entradas y salidas del sistema de control linealmente para colocarlas en una matriz sobre la cual se aplicará un procedimiento de solución obteniendo la optimización del control. El control de este tipo de procesos se lleva a cabo mediante el uso de técnicas de control predictivo que buscan minimizar las desviaciones que el proceso pudiera presentar con respecto a sus objetivos mediante predicciones del valor de las variables en el futuro asumiendo que no habrá perturbaciones y usando un modelo representativo del proceso. La base de estos modelos es asumir procesos lineales del tipo de entrada salida para realizar el cálculo de las predicciones en el movimiento de múltiples variables manipuladas para controlar múltiples variables de proceso minimizando las desviaciones al acercarse lo más posible a los objetivos (optimización) tomando siempre en cuenta las

restricciones propias del sistema. Para encontrar la solución correcta, el controlador hace uso de las predicciones mencionadas, pero además usa también mediciones de proceso mediante lazos de retroalimentación para asegurar el cumplimiento de su labor de la manera más conveniente.

En la elaboración del sistema de control de mezclado en línea, que presenta la característica de ser de tipo multivariable, se requerirá de los sistemas de control avanzado para lograr el cumplimiento óptimo de los objetivos.

3.3 Objetivos y Beneficios del Mezclado en Línea

3.3.1 Beneficios del Mezclado en Línea

Actualmente la industria petrolera del país enfrenta la más dura competencia de su historia. La intervención en el mercado nacional de compañías extranjeras resultado de la apertura y globalización de la economía ha traído consigo la búsqueda de nuevas alternativas que hagan a la industria mexicana más rentable. Petróleos Mexicanos no ha sido la excepción y como uno de sus objetivos se encuentra la transformación de sus operaciones de refinación a un nivel que les permita enfrentar la competencia internacional. Uno de estos proyectos consiste en la automatización de los sistemas de mezclado de gasolinas mediante el uso de sistemas de mezclado en línea.

La implementación de este tipo de sistemas trae consigo una serie de beneficios relacionados con el llamado "regalo de calidad"; y si tomamos en cuenta que los productos de mayor importancia en una refinería mexicana son las gasolinas, el mejorar el sistema de mezclado de estas acarreará los mayores beneficios en forma de

ahorros y productividad. Para aquellos beneficios cuantificables, la mejora en el sistema de gasolinas puede contribuir hasta en un 93%¹.

Los beneficios cuantificables a los que se hace referencia en el párrafo anterior son los ahorros alcanzables a partir de reducir los "regalos" de octano y volatilidad. Cada uno de ellos participa con aproximadamente un 50 % al total de estos ahorros, ya que resultan ser las propiedades más importantes a tomar en cuenta en la producción de gasolinas. Cada una de las gasolinas que se elaboran en México presentan estas dos áreas de mejora y contribuyen al ahorro de manera proporcional al volumen de producción; aunque en la mayoría de los casos los ahorros obtenidos por mejorar el sistema de mezclado para Magna Sin son mayores, cuestión importante si tomamos en cuenta que en un período de diez años se piensa eliminar del mercado la gasolina con plomo.

El "regalo" de octano es la diferencia entre el número de octano real obtenido en la fabricación y el número de octano programado para el producto más una tolerancia, pudiendo referirse al RON, MON o PON dependiendo de cual sea el más importante. De igual manera el regalo de volatilidad es la diferencia entre la PVR esperada más una tolerancia y la obtenida en el proceso para la mezcla controlando la relación vapor/líquido. La generalidad de la industria petrolera tiene regalos de octano que se encuentran en un intervalo de 0.05 a 0.8 números de octano, mientras el regalo de volatilidad va de 0.33 a 6.76 Kg/cm² (0.05 a 1 psi); en México, las refinerías se encuentran rebasando o muy cerca del límite superior de estos intervalos dejando ver la importancia económica que tendría el optimizar las operaciones de mezclado mediante un sistema capaz de regular la cantidad de cada componente involucrado en la elaboración de estos productos.

¹ SENDEN. Proyectos de Automatización. México 1993.

Existen además otros beneficios que no son directamente cuantificables en ahorros, por ejemplo: Las operaciones de reneclado son minimizadas al no haber necesidad de corregir las desviaciones a las especificaciones ocasionadas por verificar las propiedades del producto hasta al final del proceso, pues estas correcciones se hacen a lo largo del proceso. Existe una mejor planeación de la producción y del uso de inventarios al hacer uso de los intermediarios en las proporciones más adecuadas. La disponibilidad de producto aumenta al convertir el proceso en una operación continua y al mismo tiempo maximiza el uso del proceso. Todos estos beneficios no tienen una repercusión económica directa, pero se engloban dentro de los ahorros obtenidos por el ahorro por disminución en el "regalo de calidad."

3.3.2 Objetivos del Mezclado en Línea

Como en cualquier proyecto, la decisión de implementar un sistema automatizado de mezclado en línea va acompañada de una serie de objetivos contra los cuales deberá ser evaluado su comportamiento. Entre estos objetivos podemos mencionar:

- a) Minimizar el "regalo" de calidad, llevando a cabo operaciones confiables de mezclado usando equipo especializado que use las especificaciones como objetivo a alcanzar.
- b) Evitar lo más posible las desviaciones de las formulaciones originales tratando siempre de cumplir con las especificaciones, pues teniendo producto dentro de especificaciones se puede tomar el siguiente paso que consiste en optimizar en línea el sistema para reducir al mínimo el uso de componentes de alto costo y aumentar el de los componentes más baratos.
- c) Ser capaz de comprobar en la misma línea de proceso que las propiedades del producto se encuentran dentro de especificaciones mediante analizadores de las propiedades clave.

- d) Eliminar o reducir el número de mezclas producidas fuera de especificación junto con el trabajo que implican.
- e) Optimizar el uso de tanques y tuberías.
- f) Hacer capaz al sistema de manejar cualquier cambio en las especificaciones de los intermediarios o del producto.
- g) Por último, incrementar la disponibilidad del producto para así asegurar que se cubrirá la demanda del mercado puntualmente. Al culminar la implementación del sistema de mezclado este deberá ser evaluado por haber o no cubierto estos objetivos.

3.4 Descripción del Sistema de Mezclado en Línea

3.4.1 Funciones del Sistema de Mezclado

Ante la necesidad de desarrollar sistemas de mezclado capaces de trabajar bajo los nuevos esquemas de producción de gasolinas, como la productividad y los requerimientos ecológicos que obligan a involucrar componentes antes ni siquiera contemplados, se plantea la instalación de sistemas digitales de control de procesos de mezclado en línea de gasolinas que permitan la optimización de esta operación.

Este tipo de sistemas obligan a realizar cambios en los esquemas de tuberías y tanques de almacenamiento que con anterioridad no contemplaban el mezclado en línea; a que los instrumentos sean capaces de arrojar resultados confiables desde la línea misma del proceso con fin de aplicar correcciones en caso de ser necesario y así garantizar la calidad del producto; a utilizar sistemas de control digital distribuido que realicen funciones de control regulatorio, lógico y secuencial, y sistemas de procesamiento de información para ayudar a la optimización del mezclado de intermediarios. Precisamente esta última aseveración es la que define los dos grandes bloques de funciones involucradas en la implementación de los sistemas de mezclado en línea: Control y Optimización.

Las funciones de control y optimización involucran de manera primordial equipo de computo (hardware y software) en seis diferentes rubros: control distribuido, manejo de analizadores, operación de instrumentos, programas para control y planeación de mezclado y modificación de tuberías. Para facilitar el manejo de productos dentro del proceso es conveniente que todas las operaciones de control se lleven a cabo en un mismo lugar, por ejemplo, un cuarto central de control desde donde se controlen el traslado y mezclado de productos. Otro de los puntos importantes es el de manejo de los analizadores cuya operación puede realizarse en un lugar adicional pero, es conveniente que el cuarto de control pueda comunicarse fácilmente con este centro para facilitar el manejo de información en el sistema. A partir de estos dos centros de información se manejarán las operaciones de mezclado haciendo uso de la consola central.

3.4.2 Niveles de Control en el Sistema de Mezclado

Si englobamos todas las funciones del sistema, este puede visualizarse en cuatro niveles representados en orden ascendente, donde los niveles inferiores son la base operacional de los superiores:

- Nivel 1: Control regulatorio de manejo de materiales y su mezclado.
- Nivel 2: Optimización en línea.
- Nivel 3: Planeación de mezclado.
- Nivel 4: Optimización fuera de línea.

El nivel 1 se refiere a las operaciones de control residentes en el sistema de control distribuido, tales como el manejo de analizadores, desplazamiento de componentes y proporciones de mezclado a lo largo de las cuatro fases de operación: arranque, control, monitoreo y paro en tiempos reales (segundo a segundo). Con

este nivel se pueden cumplir con los objetivos de arranque y control de las formulaciones para obtener producto dentro de especificaciones.

El nivel 1 esta compuesto por tres subsistemas, cada uno con operaciones propias y programas de computo para ejecutarlas. Primeramente se requiere de un programa capaz de integrar la información proveniente del monitoreo de tanques (niveles y temperaturas básicamente) al sistema de control distribuido. El sistema de control por si mismo puede ejecutar las funciones de control de flujos, presión en el cabezal de mezclado, ingreso de datos provenientes de los analizadores en línea (tomando en cuenta los tiempos muertos requeridos por los analizadores y el mezclado mismo), representación de datos digitales y manejo de alarmas como parte de sus funciones estándares con ayuda de instrumentación convencional. El siguiente paso consiste en controlar la calidad del mezclado, flujo principal, calculo de parámetros de calidad, secuencia de bombeo, paros y validación de recetas de mezclado; estas funciones son ejecutadas por programas que usan como base el sistema de control distribuido englobando las funciones en dos grupos: control regulatorio y supervisión del mezclado. El programa que ejecuta estas acciones usa como condición de paro el volumen total de mezcla, alimentado como dato al inicio de la operación y permitir al operador elegir que tipo de gasolina se va a producir, tomando en cuenta que el mismo cabezal de mezclado será usado para producir Magana Sin y Nova; al mismo tiempo debe permitir al operador elegir los tanques que alimentarán los componentes y a los que se vaciarán los productos, cuidando siempre que las operaciones seleccionadas guarden concordancia con las posibilidades del sistema, de no ser así el programa deberá arrojar una señal de error antes de continuar, o de ser viable, alinear las válvulas del modo necesario.

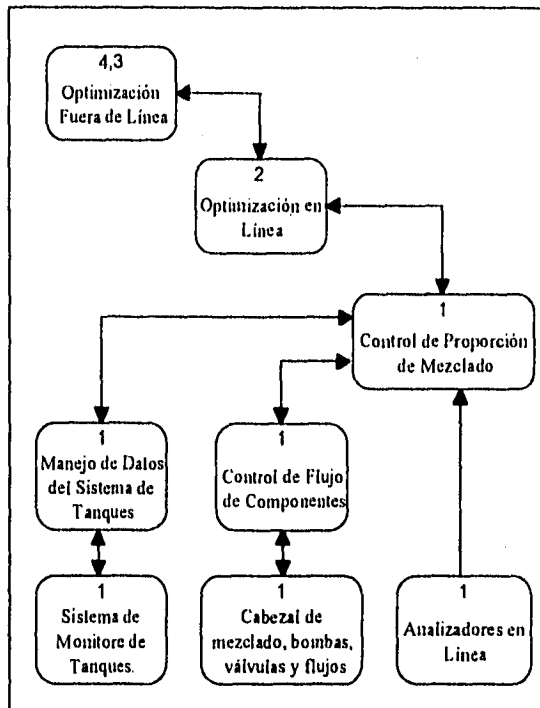
El nivel 2 usa la información proveniente de los analizadores en línea de las propiedades de los componentes y mezcla final y de la formulación inicial para

originar una nueva receta capaz de cumplir con las especificaciones del producto y un mínimo de desviación con respecto a la original optimizando el uso de los componentes de acuerdo a su valor económico. Para realizar este tipo de control se requieren intervalos de 5 a 10 minutos que permitan la ejecución de las operaciones de control multivariable y optimización en línea. La formulación resultante es transferida automáticamente al nivel 1 que la usa como nuevo punto de ajuste (set point). El sistema de control distribuido no proporciona todas las herramientas computacionales requeridas por este nivel, por ello es indispensable que este sistema resida en una computadora de proceso interconectada con el sistema de control. El programa que ejecuta este tipo de acciones debe verificar que la mezcla seleccionada es viable en el proceso dadas las características y disponibilidad de los intermediarios y de no ser así, debe enviar un mensaje de error indicando las áreas problemáticas. Para poder realizar estos cálculos el sistema requiere un grado de libertad, es decir, que el número de componentes sea una unidad mayor al número de especificaciones a controlar. Todas las propiedades a evaluar deben ser linealizadas para facilitar la operación del programa y del sistema de mezclado. Con este nivel se pueden alcanzar los objetivos de minimizar el "regalo de calidad", optimizar el uso de los componentes de acuerdo a su valor económico y permanecer lo más cerca posible de la receta original.

El nivel 3 realiza la planeación de las operaciones de mezclado generando las formulaciones iniciales que utilizarán los niveles 1 y 2, ajustando a la operación actual aquellas generadas por el nivel 4. El objetivo de este nivel es mantener las formulaciones ajustadas tan cerca como sea posible a las originales tomando en cuenta las restricciones del balance volumétrico de los componentes y sus características.

La optimización del proceso fuera de línea es realizada por el nivel 4 utilizando técnicas de programación lineal, tomando como datos los volúmenes promedio mensuales calculados por planeación de la refinería, desarrollando un plan óptimo económicamente a corto plazo. Además incluye dentro de sus parámetros costos, propiedades especificaciones de productos y componentes, leyes de mezclado, calidad esperada de los componentes y restricciones de inventarios. El programa que realiza estas operaciones debe ser capaz de interactuar con el sistema maestro de planeación de la refinería y hacer uso de métodos no lineales para el cálculo de propiedades como el número de octano y manejo de operaciones multivariables.

Fig. 3.3 Sistema de Mezclado en Línea por Niveles



*Número representativo del nivel de control

Las operaciones realizadas por los niveles 3 y 4 se ejecutan en intervalos de 1 a 7 días, con el fin de recaudar toda la información necesaria. En combinación estos dos niveles permiten equilibrar la disponibilidad y calidad de los componentes con los planes de mezclado de gasolinas optimizando la producción dentro del esquema global de operaciones en la refinería.

3.5 Elementos Físicos del Sistema de Mezclado en Línea

Para integrar un sistema completo de control de mezclado en línea se requiere además de los elementos que regulan la operación desde el cuarto de control, otra serie de componentes que trabajan directamente en la línea del proceso como son tanques, tuberías, válvulas y analizadores. Todos estos elementos sufren de modificaciones al cambiar del sistema de mezclado tradicional a uno de mezclado en línea, hecho que podemos observar si comparamos el esquema de la figura 3.1 con el de la figura 3.4 localizado al final de esta sección.

3.5.1 Tanques, Tuberías y Válvulas

Uno de los elementos que debe ser modificado es el arreglo de tanques convirtiéndolos de tanques de mezclado de intermediarios a tanques de almacenamiento de componentes (por ejemplo: gasolina catalítica, gasolina reformada y gasolina primaria), es decir, en lugar de llevar a cabo operaciones de mezclado estos tanques servirán para almacenar las materias primas involucradas en la elaboración de gasolinas. El realizar este cambio tiene como objetivo poder manipular los flujos de los diversos componentes que ingresan al cabezal de mezclado.

La conducción de los componentes provenientes de dichos tanques requiere de un nuevo arreglo de tuberías y bombas que permitan la adición simultánea de cada

uno de ellos. Todas las descargas llegaran a un cabezal central de mezclado formado por un manifold, un filtro magnético para eliminación de partículas y un mezclador estático. Dicho cabezal deberá tener un diámetro capaz de manejar el volumen final de la mezcla resultante. Sobre esta línea se coloca un circuito de analizadores que determina número de octano, PVR y curvas de destilación, junto con una línea que inyecta aditivos a la mezcla. El cabezal de mezclado se divide en dos corrientes: una para producir Magna Sin y otra para Nova Plus. La primera de ellas alimenta directamente a los tanque de producto, mientras la línea de gasolina Nova sufre de una extracción que se mezcla con una corriente de TEL en un eductor, para después ser reintegrada a la línea de producto.

Muchas de las válvulas del sistema que funcionan como bloqueo deberán de ser substituidas por válvulas motorizadas si se operan constantemente o son demasiado grandes. Si las válvulas son de dos vías se puede usar las de tipo compuerta y si son de tres las válvulas selenoides; todas ellas cierran a falla de aire y pueden usar actuadores eléctricos o de diafragma. Si la válvula sufre de un uso esporádico (cada quince días) se deben instalar interruptores de indicación abierto/cerrado pero no se necesita un motor; estos interruptores son diseñados con una lengüeta o paleta sensible al paso de la corriente de líquido en una tubería actuando magnéticamente. La lengüeta se instala en las conexiones de rosca o bridadas y se mueve al sentir el flujo haciendo actuar a los contactos ubicados en el exterior.

3.5.2 Analizadores

De los analizadores arriba mencionados el que determina el número de octano usa como herramienta la espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR = near infrared). Se hace incidir radiación infrarroja sobre una muestra tomada automáticamente de la línea y dependiendo de la cantidad de radiación absorbida se le relaciona con ciertas

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

substancia presentes en la gasolina que son representativas para evaluar propiedades como el número de octano, la PVR, contenido de aromáticos, etc. Si nos referimos en específico al número de octano el analizador es capaz de determinar RON y MON según sea el requerimiento, ofreciendo entre sus ventajas la determinación simultánea de varios constituyentes y propiedades físicas de la mezcla con un sólo espectro de medición, el análisis de corrientes de proceso de forma rápida y confiable mediante sistemas simples, el uso de fibras ópticas de bajo costo y sobre todo realizar las mediciones en tiempo real eliminando problemas de interferencia.

Los analizadores de PVR están formados por tres secciones básicas: el analizador, el sistema de muestreo y la jeringa de inyección de la muestra estándar. El sistema tiene un tiempo de respuesta de 8.5 min y equilibra la muestra tomada del proceso con la muestra patrón introducida para así emitir el resultado del análisis. Este tipo de sistemas son de diseño sencillo y cumple con la especificación de tener una relación vapor-líquido de 4-1, los resultados no requieren de corrección alguna, el mantenimiento es mínimo y se basa en microprocesadores que facilitan la interacción con el resto del sistema de mezclado.

El sistema de análisis de destilación es un poco más complicado porque utiliza instrumentos de cromatografía. Estos instrumentos deben de poder ser instalados en el campo de operación, ser confiables, usar un sistema de ionización de flama necesario en el análisis de gasolinas, tener un compartimiento de temperatura controlada para resguardar las columnas y el microprocesador controlador, introducir las muestras automáticamente, soportar temperaturas de hasta 400°C y arrojar resultados de temperaturas correspondientes a porcentajes de destilado desde cero hasta ciento por ciento. Este tipo de analizadores pese a ser complicados resultan muy útiles y completan un análisis en tiempos de entre 15 y 20 min.

3.5.3 Sistema de Control

Los lazos de control que se requiere instalar son tres: (1) El sistema de control de composición formado por un esquema de control multivariable con retroalimentación de los analizadores en línea y un esquema en cascada con los controladores de la relación de flujo de componentes. (2) El control de flujo de componentes dado por un esquema de relación con el sistema de control de composición. (3) El sistema de control de presión del cabezal mediante un lazo sencillo.

Existen otros dos componentes físicos del sistema de control para mezclado en línea: el módulo controlador de proceso (MCP) y la estación central de operación. El MCP tiene como función el adquirir los datos en base a los cuales ejecuta las operaciones de control, para lo cual debe ser capaz de comunicarse con el resto de los elementos del sistema y reportar sus acciones a los operadores en la estación central de control y otras estaciones del sistema con representaciones similares para facilitar su interpretación. El MCP sirve como plataforma para que los distintos niveles de operación del sistema de mezclado realicen sus funciones, sirve como puerto de entrada y salida de datos al sistema.

La estación central de control alberga al MCP que utiliza un SCD como el equipo controlador del proceso realiza funciones de operación, ingeniería y mantenimiento. En lo que se refiere al proceso el SCD monitorea y manipula las variables dando reportes frecuentes a los operadores de las secuencias y alarmas del proceso, así como reportes finales, tendencias y promedios de como funciona el proceso. Debe permitir el acceso de bases de datos de otros módulos del sistema. Todas estas funciones se realizan mediante desplegados en pantalla del proceso, el sistema y sus funciones. Las funciones de ingeniería son el configurar las bases de

datos del sistema, determinación de set points o puntos de ajuste, configurar los reportes, edición de archivos y utilerías de apoyo; todas manipuladas mediante despliegues en pantalla. Por último las funciones de mantenimiento consisten en ser capaz de dar diagnósticos de cada módulo del sistema, de las redes de comunicación y de los elementos conectados directamente al procesos y de desplegar e imprimir la información referente a estos diagnósticos. Además es importante incluir un módulo de historia de proceso donde se almacenen los datos del funcionamiento del proceso y del sistema, así como de eventos aislados como alarmas, debiendo estar interconectada con el resto de los elementos del sistema y de permitir el acceso a la información con facilidad. Debe existir un sistema de computo capaz de hacer balances, ajuste y validación de datos, control de mezclado, la logística general de inventarios y el control estadístico del proceso; todas estas operaciones son realizadas por una computadora de proceso externa integrada al SCD en el cuarto central de control. Esta computadora debe además ser capaz de permitir la comunicación con los sistemas de planeación y optimización fuera de línea del sistema.

El sistema de comunicación tantas veces mencionado en estos últimos párrafos debe permitir la interrelación de todos los componentes del sistema de mezclado, para lo cual hace uso de puertos y microprocesadores que permiten la interacción de todos los componentes eficientemente.

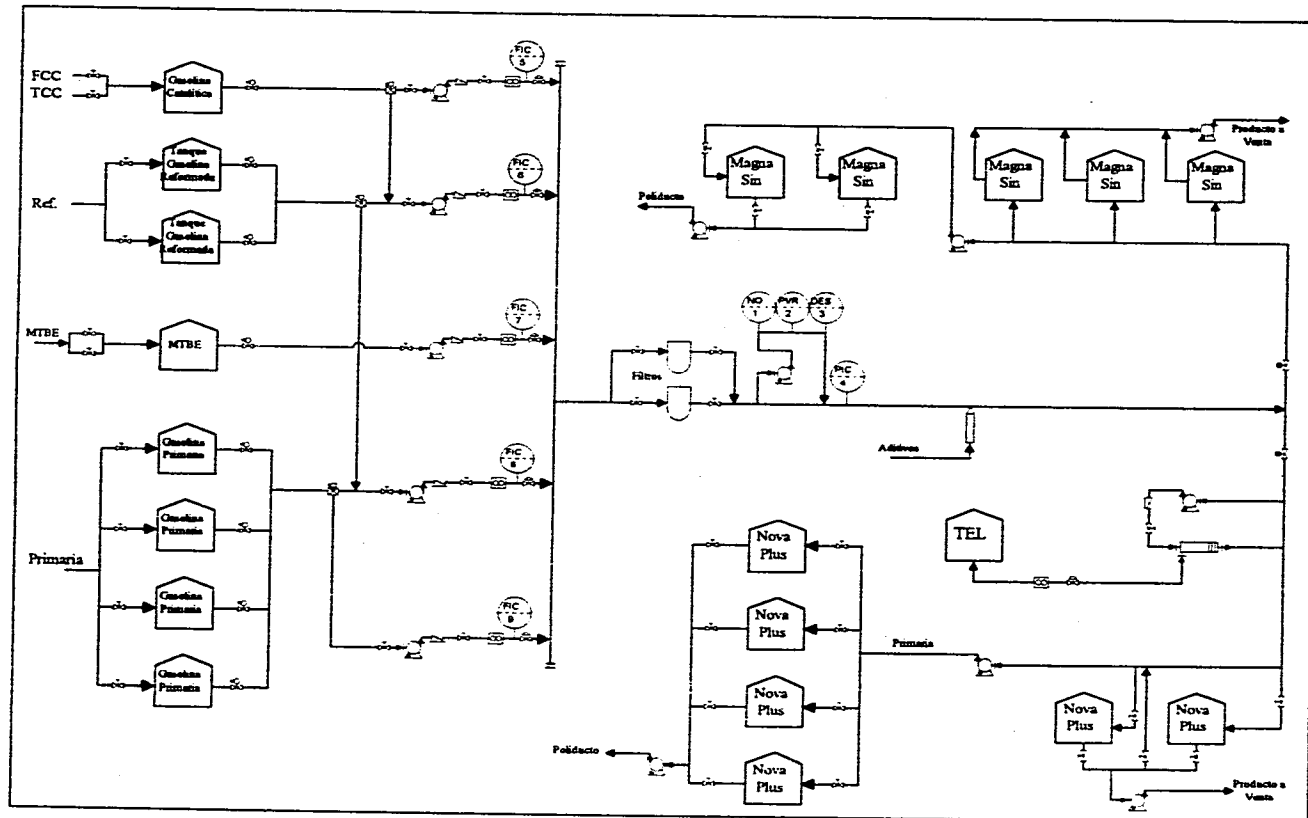


Fig. 3.4 Producción de Gasolinas por Mezclado en Línea

SENDEN. México 1993

3.6 Evaluación Económica para la Implementación de un Sistema de Mezclado en Línea

El convertir los sistemas convencionales de producción de gasolinas a sistemas automáticos de mezclado representa una inversión muy alta que se estima en 6,900,000 USD para una refinería mexicana típica como la de Salamanca en Guanajuato, cuyo proyecto de modernización se inició en 1991. La cantidad estimada abarca todos los cambios en el equipo y líneas de tuberías que se requiere implementar, así como los analizadores y sistemas de control automático cuyo precio es muy elevado y que además requieren de sistemas de soporte eléctrico, mecánico y civil para asegurar el adecuado funcionamiento del sistema.

La inversión que representa la implementación del sistema de mezclado en línea, no estaría justificada de no ser por los ahorros que implica como resultado de la disminución en el "regalo de calidad" de los productos. Se estima que para esta misma refinería los ahorros que se pueden conseguir ascienden a 4,600,000 USD/año⁴. En la implementación del proyecto se considera necesario un período de tres años para que el sistema funcione a su máximo potencial: uno de arranque y niveles de producción del 80 y 90 % para los dos primeros años de funcionamiento respectivamente. Además debemos considerar que este ahorro toma en cuenta el cambio paulatino a gasolinas sin plomo en un período de 10 años.

Para poder evaluar el proyecto desde el punto de vista económico necesitamos calcular básicamente tres aspectos: la tasa interna de retorno (TIR), el período de recuperación de la inversión (PRI) y el valor presente neto al final de la vida útil del proyecto (10 años). El primero de ellos, es tal vez, el más importante pues nos dice si resulta confiable invertir en el proyecto o no. Para considerar que un proyecto es lo suficientemente bueno como para invertir en él la TIR debe de ser mayor que la

⁴SENDEN. Proyectos de Automatización. México 1993.

inflación programada para el año en curso. El PRI es el parámetro que nos dirá que tan rápido podremos recuperar la inversión en base al desempeño del proyecto, y para considerarlo como bueno, debe ser menor al tiempo de vida del mismo. Por último el VPN nos dirá si el proyecto es capaz de proporcionar ganancias hasta el final de su vida útil, cualquier valor diferente de cero dará una aprobación al respecto.

Para realizar estos cálculos se considera la inversión inicial de 6,900,000 USD y un flujo neto de efectivo anual igual a 4,600,000 USD; por ser estos dos aspectos los únicos que impactan directamente sobre los beneficios del proyecto. El ahorro estimado ya ha considerado los gastos y costos de operación antes de ser calculado. A continuación se presentan los resultados de los cálculos realizados para el proyecto.

Tabla 3.3
Evaluación Económica para el Proyecto de Mezclado en Línea de Gasolinas

Año	FNE	FNEA	FNED (k=30%)	FNEDA (k=30%)	VPN (k=60.37%)
0	(\$6,800,000)	(\$6,800,000)	(\$6,800,000)	(\$6,800,000)	(\$6,800,000)
1	\$3,680,000	(\$3,120,000)	\$2,830,769	(\$3,969,231)	(\$4,505,235)
2	\$4,140,000	\$1,020,000	\$2,449,704	(\$1,519,527)	(\$2,895,402)
3	\$4,600,000	\$5,620,000	\$2,093,764	\$574,238	(\$1,780,006)
4	\$4,600,000	\$10,220,000	\$1,610,588	\$2,184,825	(\$1,084,471)
5	\$4,600,000	\$14,820,000	\$1,238,914	\$3,423,739	(\$650,751)
6	\$4,600,000	\$19,420,000	\$953,011	\$4,376,750	(\$380,293)
7	\$4,600,000	\$24,020,000	\$733,085	\$5,109,835	(\$211,641)
8	\$4,600,000	\$28,620,000	\$563,912	\$5,673,746	(\$106,474)
9	\$4,600,000	\$33,220,000	\$433,778	\$6,107,525	(\$40,894)
10	\$4,600,000	\$37,820,000	\$333,675	\$6,441,200	\$0

Período de Recuperación de la Inversión sin Costo de Capital (PRIS), años	1.75
Período de Recuperación de la Inversión con Costo de Capital (PRI), años	2.62
Valor Presente Neto al 30%	\$6,441,200
Tasa Interna de Retorno	60.37%

Si evaluamos los puntos arriba mencionados podemos ver como en todos ellos el proyecto arroja números lo suficientemente buenos como para considerarlo viable. La TIR es de arriba del 60% mucho más alta que la inflación programada para este año de 1994 que se estima de alrededor del 30%. La inversión se recupera rápidamente, incluso con una tasa de interés elevada (30%), aspecto que a los inversionistas interesa sobre manera considerando que el país no se encuentra en condiciones políticas estables. El proyecto arroja ganancias desde el segundo año de operaciones y continúa con números sanos hasta el final de su vida dejando ver la factibilidad que tiene. Considerando estos tres puntos, el proyecto de modernización de mezclado de gasolinas es considerablemente rentable como para llevarlo a cabo.

4.- DISEÑO DEL PROGRAMA DE OPTIMIZACIÓN DE MEZCLADO

4.1 Descripción del Programa de Optimización

4.1.1 Descripción General

En este modelo se pretende representar el nivel cuatro de los sistemas de mezclado en línea consistente en la optimización fuera de línea de la producción partiendo de los datos de inventario de cada componente y productos finales, así como las propiedades, especificaciones y costos de intermediarios y productos.

En este programa es posible determinar la composición óptima de dos mezclas de gasolinas de hasta diez componentes cada una; diseñado de tal manera que pueda ser operado por una persona sin habilidades técnicas o matemáticas profundas. El programa está elaborado en la hoja de cálculo EXCEL versión 4.0 y necesita la opción de SOLVER incluida en el menú FORMULA de este paquete. El programa está realizado en base a la descripción del programa BLEND-LP con las correspondientes adaptaciones para correrlo en esta hoja de cálculo, usando el método de Newton-Raphson como método de convergencia con derivadas hacia adelante.

El programa de optimización muestra tres hojas usadas como desplegados; la primera de ellas es una lista de posibles componentes para las mezclas en donde se incluyen todas las propiedades necesarias para poder determinar las características del producto que son requeridas como especificaciones. Las siguientes dos son los desplegados correspondientes a cada una de las mezclas producto y en cada una se presentan cinco secciones: La sección 1 es en la que se seleccionan los componentes a utilizar en cada una de las mezclas; la sección 2 es en la que se definen las especificaciones de los productos; la sección 3 representa el balance de materia

correspondiente; en la cuarta los aspectos económicos de la producción; y finalmente en la quinta se muestran las características finales de la mezcla que deben ser muy parecidas a las especificaciones.

4.1.2 Ingreso de Datos

El programa en si mismo muestra una tabla con cerca de 30 componentes con sus correspondientes características, las cuales se muestran en la tabla 4.1 Cabe mencionar que los números de octano que se muestran son los correspondientes al componente solo y los índices de número de octano para que este pueda ser mezclado en cada una de las gasolinas propuestas. Por su parte el peso específico está calculado a una temperatura de 15°C con respecto al del agua también a 15°C ($1 \text{ g/cm}^3 = 1,000 \text{ Kg/L}$).

Tabla 4.1
Características de los Componentes en la Hoja 1 del Programa

Característica	Unidades	Observaciones
Número de Componente	---	Consecutivo en la lista
Nombre del Componente	---	Identificación del componente
Peso Especifico	Adimensional	15/15
Presión de vapor Reid	psi	PVR
Número de Octano Motor	---	Individual y de mezclado
Número de Octano Investigación	---	Individual y de mezclado
Curva de Destilación	°C	0,10,30,50,70,90 y 100% de destilado
Precio por Barril	\$/BBL	\$ = Dólares
Contenido de Azufre	%vol	---
Volúmenes de Inventario	BBL	Máximos y mínimos

Programa de Optimización de Mezclado de esta Tesis

El costo por barril se expresa en dólares (\$) al igual que los parámetros económicos de la sección 4, pero cuando se especifica el precio de venta de la gasolina en la sección 2 de las hojas dos y tres se requiere de un precio en pesos por

litro (pesos/L), este punto en particular se debe a que el programa se desarrollo pensando en hacerlo capaz de evaluar características de gasolinas en México.

4.1.3 Consideraciones antes de Correr el Programa

Para correr el programa se deben linealizar las propiedades de cada uno de los componentes para obtener los resultados correspondientes; para ello es necesario tomar en cuenta ciertas consideraciones. Durante la elaboración del programa se da más peso a tres de las características de las gasolinas a elaborar: RON, MON y PVR; haciendo girar sobre ellas al resto de los cálculos de propiedades como la curva de destilación y el peso específico. Mientras que el cálculo de la PVR y curva de destilación son linealizadas dentro del programa por instrucciones propias, los números de octano deben de ser incluidos en la tabla inicial con su correspondiente índice de mezclado para poder realizar los cálculos adecuados. Una vez linealizadas las propiedades se calcula la propiedad correspondiente de la mezcla en base volumétrica. Esta misma base se toma para el resto de las propiedades que se considera tienen un comportamiento de mezclado lineal.

Cuando se definen las especificaciones del producto en la sección 2 de las hojas 2 y 3 cada una de las características de importancia se muestran en la tabla. Mientras que para la presión de vapor Reid esta definida por un intervalo, el caso de los números de octano se muestra con dos posibilidades. En la hoja dos se da el valor al que se quiere ajustar el RON y el programa usará este valor como su objetivo con una tolerancia de +/- 0.5 números de octano; mientras en el segundo caso se utiliza un mínimo en MON y una especificación de PON con la misma tolerancia que en el caso anterior.

El último parámetro que utiliza como especificación el programa es la curva de destilación en donde se deben registrar las temperaturas máximas para cada uno de los porcentajes representados (10, 90 y 100%); únicamente en el caso de el 50% del destilado se utiliza un intervalo para la definición de esta especificación.

Para incluir los datos de inventarios es necesario definir los volúmenes máximo y mínimo de producto que se requiere producir, para no tener carencia de producto o sobreinventariarse. Estos datos deben ser llenados en la sección 3 de las hojas 2 y 3. Aquí cabe mencionar que cuando en la hoja 1 se definen estos parámetros para cada uno de los posibles componentes es indispensable tomar en cuenta que es posible que el mismo componente sea usado en las dos mezclas por lo que el máximo debe permitir usar al menos la mitad del componente en cada una de las mezclas.

Los precios y costos que aparecen a lo largo de las hojas 2 y 3 del programa están dados en dólares debido a la disponibilidad de la información, a excepción del precio de la gasolina en la sección 2 de estas hojas en las que se presenta un precio de gasolina en pesos por litro tratando de adecuar un poco a las condiciones nacionales.

4.2 Para Correr el Programa

El uso del programa comprende tres fases: Definición del problema, ejecución y desplegado o impresión de resultados, para cada uno de ellos se requiere seguir una serie de instrucciones que se presentan al iniciar las secciones de cada hoja y revisando las notas incluidas en las casillas donde se da el nombre de la sección. Para poder revisar estas notas es necesario abrir la ventana de notas de EXCEL, esto se logra ingresando al menú FORMULA y buscando la opción NOTE; al hacerlo

aparecerá una ventana con aquellas celdas que incluyen notas y podrán revisarse al seleccionarlas con el mouse. Debemos mencionar que estas notas aparecen a partir de la segunda hoja y por lo tanto no es necesario abrir la ventana hasta llegar esta. A continuación hablaremos de cada una de las fases involucradas en la ejecución de este programa denominado GASMEZC.

4.2.1 Definición del Problema

Para iniciar el programa es necesario entrar a EXCEL y abrir la hoja GASMEZC.XLT. Como esta hoja esta guardado como plantilla EXCEL creará automáticamente un duplicado de la hoja original de tal manera que ésta no pueda ser modificada; por lo tanto cualquier corrección hecha será almacenada como una nueva hoja sin alterar al programa.

Para definir el problema es necesario considerar seis aspectos:

- 1.- Unidades de medición
- 2.- Propiedades de los componentes
- 3.- Índice de números de octano
- 4.- Disponibilidad de componentes y cuestiones de inventario
- 5.- Especificaciones de los productos
- 6.- Volúmenes y precios para componentes y productos.

Las unidades correspondientes a cada uno de las propiedades de la mezcla están previamente definidas en el programa y se encuentran ya descritas en la tabla 4.1, por lo cual es necesario ingresar a las tablas del programa los datos en las unidades ya especificadas. En realidad el usuario no necesita definir las unidades sino, más bien, disponer de los datos en las unidades ya definidas.

Las propiedades de los componentes también se han enlistado con anterioridad y solo es necesario verificar que las propiedades de las que se dispone en la lista predefinida de componentes tenga similitud con la de los componentes que se desea mezclar. En esta misma tabla ya se encuentran incluidos los índices de números de octano necesarios para calcular linealmente esta propiedad en la mezcla final.

La disponibilidad, volúmenes y precios de cada componente ya se encuentran también en la lista y sólo es necesario verificar que correspondan a los que el problema especifica, en caso de no ser así se pueden modificar directamente sobre la tabla de la hoja 1. Las especificaciones del producto se encuentran en la sección dos de cada una de las hojas siguientes y en cada uno de los casos se encuentra especificado si el programa necesita un mínimo, un máximo o un intervalo para realizar los cálculos de estas propiedades.

4.2.2 Ejecución del Programa

Una vez que el programa ha sido cargado, el primer desplegado será el de la hoja 1 donde se encuentra la lista de componentes con todas sus características. El usuario debe verificar que los componentes que desea utilizar se encuentren en la lista; de no ser así el programa da la facilidad de agregar nuevos componentes al final de la lista ya disponible con el único requisito de llenar las columnas adyacentes con los datos requeridos en las unidades especificadas. En esta hoja es importante verificar que los precios y volúmenes correspondan a los que nuestro problema requiere de no ser así es recomendable cambiarlos antes de seguir. Si todos los componentes por usar se encuentran ya en la lista y no hay necesidad de modificar volúmenes o precios se puede seguir hacia la hoja 2 del programa.

En la hoja 2 la sección 1 llamada "Selección de Componentes" nos pide, al revisar la nota anexa a la casilla, que escojamos en la primera columna los números de los componentes a utilizar y automáticamente registra los datos necesarios para hacer los cálculos correspondientes a la primer mezcla. Si el número de componentes es menor a diez es recomendable llenar los renglones restantes con el último número de la lista de la hoja 1 para que todas las casillas queden asignadas con un valor de cero y no participen en el cálculos.

La sección 2, "Características Deseadas para la Gasolina" nos pide ingresar los datos correspondientes a cada una de las características enumeradas, ya sea como un mínimo, un máximo o un intervalo. Las características que necesitan ser definidas tienen un número asignado por anticipado y son esas exclusivamente las que el programa utiliza, si no corresponden a las características de la gasolina por calcular sobrescriba en las celdas con número los nuevos valores, pero deje vacías las que no tengan un número ya incluido. En el caso de la columna de precio se puede dejar vacía la columna de Pesos/L y llenar sólo la de \$/BBL, pero si se dispone del dato en pesos es conveniente incluirlo y el programa automáticamente calculará el valor de la columna \$/BBL.

El "Balance de Materiales" es la sección 3, y en este caso la nota nos pide que verifiquemos los volúmenes máximos y mínimos para el producto total y que en caso de tener un valor de inicio para las iteraciones lo incluyamos en la columna de "Volumen (BBL)". De no ser así el siguiente paso es ir a la hoja número 3.

En la hoja 3 las notas de las secciones 1, 2 y 3 son exactamente iguales a los de la hoja 2 y por ello lo que se necesita es repetir las acciones realizadas en la hoja anterior, la única diferencia al respecto es que al terminar con la sección 3, hay una nota más en la sección 4 que nos indica abrir el menú FORMULA y ejecutar la

opción SOLVER. Al abrir la ventana de SOLVER no es necesario modificar nada y solo hay que apretar ENTER, o SOLVER en la ventana, y automáticamente el programa comenzará a correr.

4.2.3 Desplegado de los Resultados

El programa termina con una ventana en la que se nos dice que el SOLVER ha encontrado una solución y apretando el botón de ENTER los resultados obtenidos serán almacenados en la hoja de cálculo. Las secciones 1 y 2 de las hojas 2 y 3 no cambiarán con respecto a los datos que se habían definido con anterioridad. Los resultados del cálculo serán presentados en las secciones 3, 4 y 5 de estas mismas hojas.

En la sección 3 se mostrarán los volúmenes para cada uno de los componentes que se obtuvieron como resultado óptimo para la mezcla, así como el volumen total de producto a obtener. Además se incluyen una columna con las fracciones volumen de cada componente, el peso y la fracción peso de cada componente de acuerdo a la solución propuesta.

La sección 4 corresponde a "Aspectos Económicos" y en ella se muestran el precio por barril y el costo total con el que contribuye cada componente al costo del producto. También se muestra el costo por barril de la mezcla, el precio de venta por barril, el ingreso total, el costo total y la ganancia neta para la mezcla correspondiente. En la hoja tres se muestra además la ganancia total conseguida por la venta de las dos gasolinas calculadas en el programa.

Por último la sección 5, "Características Finales del Producto", nos muestra cuales fueron los valores que el programa encontró como solución al problema.

Estos no son necesariamente iguales a los de la sección tres pero si cumplen con las especificaciones hechas de acuerdo a la tolerancia definida con anterioridad.

Todos estos desplegados pueden verse directamente sobre la hoja de cálculo o bien pueden ser impresos. Si se quiere imprimir los resultados obtenidos sólo se necesita buscar la opción PRINT del menú FILE y oprimir ENTER, el programa esta diseñado para automáticamente mandar a impresión las dos hojas con los resultados del cálculo, sin necesidad de hacer modificaciones.

Para terminar se puede guardar la corrida realizada asignando un nuevo nombre al momento de guardarla con el comando SAVE, manteniendo así los resultados obtenidos en un archivo particular.

4.3 Corriendo el GASMEZC

En el presente trabajo se llevaron a cabo cuatro corridas con el GASMEZC, la primera de ellas fue correr el programa usando los datos ya incluidos, es decir la lista predefinida en la hoja 1 con dos tipos de gasolinas denominadas "regular y premium", cuyas especificaciones fueron definidas en la sección correspondiente. Esta corrida fue sólo para verificar la posibilidad de correr el programa con la lista ya incluida. Los resultados son desplegados en la tabla 4.2.

La segunda corrida tuvo varias modificaciones, para empezar, las columnas de IRON e IMON fueron cambiadas para realizar el cálculo para otros dos tipos de gasolinas que, aunque con el mismo nombre, tenían especificaciones distintas a las del caso anterior. Al usar índices de mezclado distintos se adiciona una nueva modificación al problema, pero el programa corrió sin grandes dificultades y los resultados son presentados en la tabla 4.3.

Una tercera corrida tenía por objeto usar la lista ya definida en gasolinas con especificaciones mexicanas, es decir las corrientes a partir de las cuales se harían los cálculos no tienen necesariamente que ser correspondientes a los de alguna refinería en México. Precisamente debido a esto las especificaciones de las gasolinas no correspondieron exactamente y hasta cierto punto lo que se obtuvo fue las gasolinas denominadas "Nova-plus y Magna Sin" con mejores características que las presentadas en el capítulo anterior. Estas modificaciones y los resultados obtenidos se encuentran en la tabla 4.4.

Por último se reunieron datos de componentes no incluidos en la lista predefinida correspondientes a intermediarios típicos usados en la elaboración de gasolinas mexicanas, y en esta ocasión si se definieron las verdaderas especificaciones de las gasolinas Magna-Sin y Nova-Plus, obteniéndose resultados muy cercanos a estas especificaciones, los cuales se muestran en la tabla 4.5 al final de este capítulo.

Hoja 1

1.- Definición de Características de los Posibles Componentes de la Mezcla.
Instrucciones: Verifique si los componentes a utilizar se encuentran en la lista, si no añádale al final de la lista con todas sus características.
Siga en orden ascendente el número de hoja y luego el número de sección

Num	Nombre	Pe (15/15)PVR (psi)	RON	IRON 1	IRON 2	MON	IMON 1	IMON 2	IBP	10% (°C)	30% (°C)	50% (°C)	70% (°C)	90% (°C)	FBP (°C)	S/BBL	Clas. 5-14	Max (BBL)	Min (BBL)	
1	n-Butano	0.5868	58.4	94.2	95.0	95.4	89.6	90.5	90.6	3.9	1.7	0.0	1.1	2.2	3.9	5.6	11.97	0.0027	1.550	3.100
2	Isomero C5/C6	0.6476	16.3	88.4	89.3	89.0	81.6	81.7	81.9	28.9	35.0	39.4	42.2	48.9	58.9	72.2	26.18	0.0075	2.940	5.880
3	Gasolina LSR	0.6665	13.3	74.1	75.7	74.1	72.1	74.3	72.3	29.4	40.0	46.7	51.7	61.1	73.3	86.7	22.61	0.0155	1.530	3.060
4	Nafta SR	0.6981	9.1	66.4	66.9	66.5	66.4	66.9	66.6	28.9	48.9	61.7	73.3	85.6	106.1	148.9	20.60	0.0170	280	560
5	Gasolina Natural	0.6713	12.4	72.8	72.9	72.8	70.5	70.5	70.8	32.2	40.6	46.7	55.0	68.9	96.7	135.0	16.90	0.0149	260	520
6	Gasolina FCC	0.7531	7.1	92.1	92.8	92.9	80.7	81.5	81.3	27.8	53.3	73.9	104.4	140.0	185.6	237.8	26.60	0.0759	10.125	20.250
7	Gas Lig. FCC	0.7071	9.9	92.6	94.1	93.4	80.8	82.2	81.3	27.8	47.2	57.2	72.2	93.9	125.6	168.3	26.69	0.0289	5.185	10.370
8	Gas. Pes. FCC	0.8076	2.6	91.9	93.0	92.2	81.3	82.4	81.5	71.1	106.7	128.9	152.8	165.6	196.1	232.2	26.66	0.0748	3.710	7.420
9	Alquilato	0.6928	9.0	92.7	93.6	92.7	90.5	90.3	90.8	28.9	52.2	86.7	104.4	114.4	156.1	202.8	28.16	0.0030	5.815	11.630
10	Alquilato Ligero	0.6953	7.9	93.9	94.8	93.9	91.2	91.0	91.3	35.0	60.6	89.4	101.7	106.7	116.7	161.7	28.45	0.0035	310	620
11	Reformado	0.8012	5.3	97.7	97.8	97.7	87.4	87.7	87.4	37.8	76.1	104.4	124.4	142.8	167.8	210.0	28.45	0.0055	10.305	20.610
12	Reformado Ligero	0.7347	7.9	82.8	82.8	82.8	77.5	77.6	77.5	37.8	58.3	71.7	83.3	95.6	113.9	138.9	24.73	0.0010	605	1.210
13	Reformado Pesado	0.8565	1.3	104.9	104.9	104.9	92.6	92.7	92.6	115.6	130.0	142.8	148.3	160.0	175.0	196.1	30.31	0.0006	2.695	5.390
14	Dimero	0.6959	6.5	97.0	97.0	97.0	82.0	82.0	82.0	56.1	57.8	58.9	60.0	65.6	71.1	187.8	27.53	0.0001	70	140
15	Poliguelina	0.7256	13.0	94.2	94.2	94.2	82.5	82.5	82.5	38.9	110.0	127.8	134.4	139.4	146.7	170.0	27.19	0.0070	140	280
16	Gasolina Hidrocrackeada	0.6601	13.0	82.4	83.6	82.4	79.5	82.3	79.7	32.2	40.6	47.2	51.7	59.4	71.1	82.2	24.97	0.0010	1.215	2.430
17	Gasolina Ligera del Coquirza	0.7054	10.5	74.5	74.5	74.5	71.0	71.0	71.0	31.1	46.7	66.7	85.6	104.4	122.8	148.9	22.51	0.0900	340	680
18	Gasolina TC	0.8756	9.4	96.1	96.1	96.1	83.4	83.4	83.4	93.3	120.0	137.8	151.1	165.6	190.0	221.1	27.61	0.0000	145	290
19	Refinado	0.7079	2.3	55.1	57.3	55.1	55.8	58.0	55.8	88.9	91.1	91.1	91.7	92.2	94.4	125.0	17.32	0.0050	570	1.140
20	Benzeno	0.8844	3.2	108.8	108.8	108.8	93.3	93.3	78.9	79.4	80.0	80.0	80.0	80.6	81.1	31.00	0.0055	0	0	
21	Tolueno	0.8702	1.3	120.1	118.5	119.3	103.5	100.7	102.8	106.7	108.3	108.9	108.9	108.9	109.4	110.0	34.22	0.0001	325	650
22	Aromáticos C8	0.8789	0.3	106.5	107.8	107.7	100.7	97.8	99.6	127.8	133.3	135.6	135.6	136.7	137.8	165.6	31.76	0.0001	135	270
23	Aromáticos C9	0.8681	0.1	109.7	112.2	112.1	99.3	99.3	100.3	157.8	160.6	161.7	162.8	163.9	166.1	189.4	32.03	0.0001	0	0
24	Aromáticos C10	0.8816	0.1	108.0	109.4	109.3	94.6	94.3	94.9	175.6	177.8	180.0	181.7	183.9	188.3	213.9	31.07	0.0001	0	0
25	Aromáticos Pesados	0.8662	1.3	105.4	106.4	106.5	94.1	92.7	93.9	98.9	123.9	140.6	153.9	165.0	179.4	207.2	31.07	0.0130	225	450
26	Metanol	0.7962	4.6	133.0	133.0	133.0	99.0	99.0	99.0	64.4	64.4	64.4	64.4	64.4	64.4	64.4	35.48	0.0000	0	0
27	Etanol	0.7939	2.3	133.0	133.0	133.0	102.0	102.0	102.0	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	35.93	0.0000	0	0
28	MTBE	0.7400	7.8	118.3	119.5	119.4	101.3	102.0	103.1	50.6	53.9	54.4	55.0	56.1	57.8	74.4	33.62	0.0001	0	600
29	IBA	0.8107	1.8	115.3	113.2	113.3	109.7	104.7	106.4	82.2	82.2	82.2	82.2	82.2	82.2	82.2	34.43	0.0000	0	0
30																				

Tabla 4.2 Producción de Gasolinas (Ejemplo 1)

Hoja 2																
Instrucciones: Para el llenado de esta hoja recorra las secciones de esta hoja (1-5) y revise las celdas con la marca de "nnta" (un recuadro en la parte superior derecha)																
1.- Selección de los Componentes a Utilizar																
Num	Nombre	Pe (15/15)	PVR (psi)	RON	IRON 1	MON	IMON 1	IBP (°C)	10% (°C)	30% (°C)	50% (°C)	70% (°C)	90% (°C)	FBP (°C)	S/BBL	S (%vol)
3	Gasolina LSR	0.6665	25.4	74.1	75.7	72.1	74.3	29.4	40.0	46.7	51.7	61.1	73.3	86.7	22.6	0.0155
4	Nafta SR	0.6981	15.8	66.4	66.9	66.4	66.9	28.9	48.9	61.7	73.3	85.6	106.1	148.9	20.6	0.0170
5	Gasolina Natural	0.6713	23.3	72.8	72.9	70.5	70.8	32.2	40.6	46.7	55.0	68.9	96.7	135.0	16.9	0.0149
9	Alquilato	0.6928	15.6	92.7	93.6	90.5	90.3	28.9	52.2	86.7	104.4	114.4	156.1	202.8	28.2	0.0030
16	Gasolina Hidrocracada	0.6601	24.7	82.4	83.6	79.5	82.3	32.2	40.6	47.2	51.7	59.4	71.1	82.2	25.0	0.0010
19	Refinado	0.7079	2.8	55.1	57.3	55.8	58.0	88.9	91.1	91.1	91.7	92.2	94.4	125.0	17.3	0.0030
28	MTBE	0.7400	13.0	118.3	119.5	101.3	102.0	50.6	53.9	54.4	55.0	56.1	57.8	74.4	33.6	0.0000
30	0	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000
30	0	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000
30	0	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000
2.- Características Deseadas para la Gasolina																
Gasolina	MON	RON	PON	PVR	Curva de Destilación (°C)				Precio							
				(psi)	10% max	50%	90% max	FBP	(Pesos/L)	(\$/BBL)						
Gasolina Regular		90		7	11.5	60	77	116	185	225	1.95	27.80				
3.- Balance de Materiales																
Componente	Vol. Min (BBL)	Vol. Máx (BBL)	Volumen (BBL)	%Vol	Peso (Kg)	%W	Precio (\$/BBL)	Costo (\$)	5.- Características Finales del Producto							
1 Gasolina LSR	1.530	3.060	1.530	9.0%	1,621.598	8.7%	22.61	34,593.30	MON	86.3						
2 Nafta SR	280	560	280	1.6%	310,833	1.7%	20.60	5,768.00	IRON	89.5						
3 Gasolina Natural	260	520	260	3.1%	555,101	3.0%	16.90	8,788.00	PON	87.9						
4 Alquilato	5,815	11,630	11,630	68.3%	12,812,661	68.7%	28.16	327,500.80	PVR (psi)	9.7						
5 Gasolina Hidrocracada	1,215	2,430	1,908	11.2%	2,002,418	10.7%	24.97	47,633.43	Destilación							
6 Refinado	570	1,140	570	3.3%	641,650	3.4%	17.32	9,872.40	10% (°C)	50.8						
7 MTBE	0	600	600	3.5%	706,049	3.8%	33.62	20,172.00	50% (°C)	89.6						
8 0	0	0	0	0.0%	0	0.0%	0.00	0.00	90% (°C)	131.0						
9 0	0	0	0	0.0%	0	0.0%	0.00	0.00	FBP (°C)	168.8						
10 0	0	0	0	0.0%	0	0.0%	0.00	0.00	S (%vol)	0.0045						
Total	10,000	20,000	17,038	100.0%	18,650,311	100%	26.67	454,327.93	\$/BBL	26.67						
										Precio de Venta (\$/BBL)	27.80					
										Ingreso Total (\$)	473,571.51					
										Ganancia Neta (\$)	10,243.58					

Tabla 4.2 Producción de Gasolinas (Ejemplo 1)

Hoja 3																
Instrucciones: Para el llenado de esta hoja recorra las secciones de esta hoja (1-5) y revise las celdas con la marca de "nota" (un recuadro en la parte superior derecha)																
1.- Selección de los Componentes a Utilizar																
Num	Nombre	Pe (15/15)	PVR (psi)	RON	IRON 2	MON	IMON 2	IBP (°C)	10% (°C)	30% (°C)	50% (°C)	70% (°C)	90% (°C)	FBP (°C)	S/BBL	S (%vol)
1	n-Butano	0.5868	161.4	94.2	95.4	89.6	90.6	-3.9	-1.7	39.4	1.1	2.2	3.9	5.6	12.0	0.0027
2	Isomero C5/C6	0.6476	32.8	88.4	89.0	81.6	81.9	28.9	35.0	39.4	42.2	48.9	58.9	72.2	26.2	0.0075
6	Gasolina FCC	0.7531	11.6	92.1	92.9	80.7	81.3	27.8	53.3	73.9	104.4	140.0	185.6	237.8	26.6	0.0759
9	Alquilato	0.6928	15.6	92.7	92.7	90.5	90.8	28.9	52.2	86.7	104.4	114.4	156.1	202.8	28.2	0.0030
28	MTBE	0.7400	13.0	118.3	119.4	101.3	103.1	50.6	53.9	54.4	55.0	56.1	57.8	74.4	33.6	0.0000
30	0	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000
30	0	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000
30	0	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000
30	0	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000
30	0	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000
30	0	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000
2.- Características Deseadas para la Gasolina																
Gasolina MON RON PON PVR Curva de Destilación (°C) Precio																
Gasolina Premium 64 89 7 11.5 60 77 116 185 221 1.95 27.87																
3.- Balance de Materiales																
4.- Aspectos Económicos																
5.- Características Finales del Producto																
Componente	Vol Min (BBL)	Vol Máx (BBL)	Volumen (BBL)	%Vol	Peso (Kg)	%W	Precio (\$/BBL)	Costo (\$)	Propiedad	Valor						
1 n-Butano	1,550	3,100	1,550	4.2%	1,446,351	3.4%	11.97	18,553.50	MON	84.7						
2 Isomero C5/C6	2,940	5,880	3,606	9.7%	3,713,717	8.8%	26.18	94,410.40	IRON	92.6						
3 Gasolina FCC	10,125	20,250	20,250	54.7%	24,250,987	57.4%	26.60	538,650.00	PON	88.6						
4 Alquilato	5,815	11,630	11,630	31.4%	12,812,661	30.3%	28.16	327,500.80	PVR (psi)	11.5						
5 MTBE	0	600	0	0.0%	0	0.0%	33.62	0.00	Destilación							
6 0	0	0	0	0.0%	0	0.0%	0.00	0.00	10% (°C)	48.9						
7 0	0	0	0	0.0%	0	0.0%	0.00	0.00	50% (°C)	94.1						
8 0	0	0	0	0.0%	0	0.0%	0.00	0.00	90% (°C)	156.4						
9 0	0	0	0	0.0%	0	0.0%	0.00	0.00	FBP (°C)	200.9						
10 0	0	0	0	0.0%	0	0.0%	0.00	0.00	S (%vol)	0.0433						
Total	20,000	45,000	37,036.2	100.0%	42,223,716	100%	26.44	979,114.70	S/BBL	26.44						
							Precio de Venta (\$/B)	27.87								
							Ingreso Total (\$)	1,032,090.87								
							Ganancia Neta (\$)	52,976.18								
							Ganancia Tot. 1+2 (\$)	72,219.76								

Tabla 4.2 Producción de Gasolinas (Ejemplo 1)

Hoja 1

1.- Definición de Características de los Posibles Componentes de la Mezcla.
 Instrucciones: Verifique si los componentes a utilizar se encuentran en la lista; si no añádale al final de la lista con todas sus características
 Siga en orden ascendente el número de hoja y luego el número de sección

Num	Nombre	Pe (15/15°PVR (psi))	RON	IRON 1	IRON 2	MON	IMON 1	IMON 2	IBP	10% (°C)	30% (°C)	50% (°C)	70% (°C)	90% (°C)	FBP (°C)	S/BBL	Cont. % (PVR)	Max. (PVR)	Vol. Min. (BBL)	
1	n-Butano	0.5868	58.4	94.2	94.5	94.7	89.6	90.6	90.3	-3.9	-1.7	0.0	1.1	2.2	3.9	5.6	11.97	0.0027	1.550	3.100
2	Isomero C5/C6	0.6476	16.3	88.4	88.5	88.5	81.6	81.4	81.6	28.9	35.0	39.4	42.2	48.9	58.9	72.2	26.18	0.0075	2.940	5.880
3	Gasolina LSR	0.6665	13.3	74.1	74.8	74.8	72.1	73.5	73.2	29.4	40.0	46.7	51.7	61.1	73.3	86.7	22.61	0.0155	1.530	3.060
4	Nafta SR	0.6981	9.1	66.4	66.9	67.2	66.4	67.1	67.4	28.9	48.9	61.7	73.3	85.6	106.1	148.9	20.60	0.0170	280	560
5	Gasolina Natural	0.6713	12.4	72.8	73.5	73.8	70.5	71.9	72.1	32.2	40.6	46.7	55.0	68.9	96.7	135.0	16.90	0.0149	260	520
6	Gasolina FCC	0.7531	7.1	92.1	92.4	92.6	80.7	80.8	81.2	27.8	53.3	73.9	104.4	140.0	185.6	237.8	26.60	0.0759	10.125	20.250
7	Gas. Lig. FCC	0.7071	9.9	92.6	92.7	93.6	80.8	80.7	81.6	27.8	47.2	57.2	72.2	93.9	125.6	168.3	26.69	0.0289	5.185	10.370
8	Gas. Pes. FCC	0.8076	2.6	91.9	91.9	92.3	81.3	81.1	81.3	71.1	106.7	128.9	152.8	165.6	196.1	232.2	26.66	0.0748	3.710	7.420
9	Alquilato	0.6928	9.0	92.7	92.9	92.7	90.5	90.3	89.9	28.9	52.2	86.7	104.4	114.4	156.1	202.8	28.16	0.0030	5.815	11.630
10	Alquilato Ligero	0.6953	7.9	93.9	94.3	94.0	91.2	91.0	91.0	35.0	60.6	89.4	101.7	106.7	116.7	161.7	28.45	0.0035	310	620
11	Reformado	0.8012	5.3	97.7	97.7	97.5	87.4	87.6	87.2	37.8	76.1	104.4	124.4	142.8	167.8	210.0	28.45	0.0055	10.305	20.610
12	Reformado Ligero	0.7547	7.9	82.8	82.8	82.7	77.5	77.6	77.4	37.8	58.3	71.7	83.3	95.6	113.9	138.9	24.73	0.0010	605	1.210
13	Reformado Pesado	0.8565	1.3	104.9	104.9	104.8	92.6	92.8	92.5	115.6	130.0	142.8	148.3	160.0	175.0	196.1	30.31	0.0006	2.695	5.390
14	Dimero	0.6959	6.5	97.0	97.0	97.0	82.0	82.0	82.0	56.1	57.8	58.9	60.0	65.6	71.1	187.8	27.53	0.0001	70	140
15	Poligasolina	0.7256	13.0	94.2	94.2	94.2	82.5	82.5	82.5	38.9	110.0	127.8	134.4	139.4	146.7	170.0	27.19	0.0070	140	280
16	Gasolina Hidrocraqueada	0.6601	13.0	82.4	83.1	82.2	79.5	80.9	80.5	32.2	40.6	47.2	51.7	59.4	71.1	82.2	24.97	0.0010	1.215	2.430
17	Gasolina Ligera del Coquiza	0.7054	10.5	74.5	74.5	74.5	71.0	71.0	71.0	31.1	46.7	66.7	85.6	104.4	122.8	148.9	22.51	0.0900	340	680
18	Gasolina TC	0.8756	9.4	96.1	96.1	96.1	83.4	83.4	83.4	93.3	120.0	137.8	151.1	165.6	190.0	221.1	27.61	0.0000	145	290
19	Refinado	0.7079	2.3	55.1	56.8	56.5	55.8	57.7	57.1	88.9	91.1	91.1	91.7	92.2	94.4	125.0	17.32	0.0050	570	1.140
20	Benzeno	0.8844	3.2	108.8	108.8	108.8	93.3	93.3	93.3	78.9	79.4	80.0	80.0	80.0	80.6	81.1	31.00	0.0055	0	0
21	Tolueno	0.8702	1.3	120.1	118.9	119.5	103.5	101.2	102.9	106.7	108.3	108.9	108.9	108.9	109.4	110.0	34.22	0.0001	325	650
22	Aromáticos C8	0.8789	0.3	106.5	107.3	106.7	100.7	98.0	100.4	127.8	133.3	135.6	135.6	136.7	137.8	165.6	31.76	0.0001	135	270
23	Aromáticos C9	0.8681	0.1	109.7	111.5	113.8	99.3	98.6	100.6	157.8	160.6	161.7	162.8	163.9	166.1	189.4	32.03	0.0001	0	0
24	Aromáticos C10	0.8816	0.1	108.0	108.8	109.7	94.6	93.6	94.8	175.6	177.8	180.0	181.7	183.9	188.3	213.9	31.07	0.0001	0	0
25	Aromáticos Pesados	0.8662	1.3	105.4	106.0	105.6	94.1	92.5	94.0	98.9	123.9	140.6	153.9	165.0	179.4	207.2	31.07	0.0130	225	450
26	Metanol	0.7962	4.6	133.0	133.0	133.0	99.0	99.0	99.0	64.4	64.4	64.4	64.4	64.4	64.4	64.4	35.48	0.0000	0	0
27	Etanol	0.7939	2.3	133.0	133.0	133.0	102.0	102.0	102.0	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	35.93	0.0000	0	0
28	MTBE	0.7400	7.8	118.3	119.4	118.3	101.3	100.9	101.3	50.6	53.9	54.4	55.0	56.1	57.8	74.4	33.62	0.0000	0	600
29	TBA	0.8107	1.8	115.3	113.9	111.6	109.7	105.7	102.5	82.2	82.2	82.2	82.2	82.2	82.2	82.2	34.43	0.0000	0	0
30																				

Tabla 4.3 Producción de Gasolinas (Ejemplo 2)

Hoja 2																
Instrucciones. Para el llenado de esta hoja recorra las secciones de esta hoja (1-5) y revise las celdas con la marca de "nota" (un recuadro en la parte superior derecha)																
1.- Selección de los Componentes a Utilizar																
Num	Nombre	Pe (15/15)	PVR (psi)	RON	IRON 1	MON	IMON 1	IBP (°C)	10% (°C)	30% (°C)	50% (°C)	70% (°C)	90% (°C)	FBP (°C)	S/BBL	S (%vol)
2	Isomero C5/C6	0.6476	32.8	88.4	88.5	81.6	81.4	28.9	35.0	39.4	42.2	48.9	58.9	72.2	26.2	0.0075
6	Gasolina FCC	0.7531	11.6	92.1	92.4	80.7	80.8	27.8	53.3	73.9	104.4	140.0	185.6	237.8	26.6	0.0759
8	Gas. Pes. FCC	0.8076	3.3	91.9	91.9	81.3	81.1	71.1	106.7	128.9	152.8	165.6	196.1	232.2	26.7	0.0748
9	Alquilato	0.6928	15.6	92.7	92.9	90.5	90.3	28.9	52.2	86.7	104.4	114.4	156.1	202.8	28.2	0.0030
12	Reformado Ligero	0.7347	13.2	82.8	82.8	77.5	77.6	37.8	58.3	71.7	83.3	95.6	113.9	138.9	24.7	0.0010
15	Polygasolina	0.7256	24.7	94.2	94.2	82.5	82.5	38.9	110.0	127.8	134.4	139.4	146.7	170.0	27.2	0.0070
16	Gasolina Hidrocraqueada	0.6601	24.7	82.4	83.1	79.5	80.9	32.2	40.6	47.2	51.7	59.4	71.1	82.2	25.0	0.0010
17	Gasolina Ligera del Coquizar	0.7054	18.9	74.5	74.5	71.0	71.0	31.1	46.7	66.7	85.6	104.4	122.8	148.9	22.5	0.0900
28	MTBE	0.7400	13.0	118.3	119.4	101.3	100.9	50.6	53.9	54.4	55.0	56.1	57.8	74.4	33.6	0.0000
30	0	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000
2.- Características Deseadas para la Gasolina																
Gasolina	MON	RON	RON	PON	PVR	Curva de Destilación (°C)					Precio					
					(psi)	10% max	50%	90% max	FBP	(Pesos/L)	(\$/BBL)					
Gasolina Regular		91				115	60	77	116	185	221	195	2780			
3.- Balance de Materiales																
Componente	Vol Min (BBL)	Vol Max (BBL)	Volumen (BBL)	%Vol	Peso (Kg)	%W	4.- Aspectos Económicos					5.- Características Finales del Producto				
							Precio (\$/BBL)	Costo (\$)				Propiedad	Valor			
												Pe (15/15)	0.7337			
1 Isomero C5/C6	2.940	5.880	5.880	13.4%	6,055.303	11.8%	26.18	153,938.40				MON	82.0			
2 Gasolina FCC	10.125	20.250	20.250	46.1%	24,250.987	47.3%	26.60	538,650.00				RON	90.8			
3 Gas. Pes. FCC	3.710	7.420	7.420	16.9%	9,529.102	18.6%	26.66	197,817.20				PON	86.4			
4 Alquilato	5.815	11.630	5.815	13.2%	6,406.331	12.5%	28.16	163,750.40				PVR (psi)	8.5			
5 Reformado Ligero	6.05	1,210	1,210	2.8%	1,413.667	2.5%	24.73	29,923.30				Destilación				
6 Polygasolina	140	280	280	0.6%	323.078	0.6%	27.19	7,613.20				10% (°C)	59.4			
7 Gasolina Hidrocraqueada	1.215	2,430	2,430	5.5%	2,550.749	5.0%	24.97	60,677.10				50% (°C)	100.7			
8 Gasolina Ligera del Coquizar	340	680	680	1.5%	762.774	1.5%	22.51	15,306.80				90% (°C)	157.0			
9 MTBE	0	600	0	0.0%	0	0.0%	33.62	0.00				FBP (°C)	196.9			
10 0	0	0	0	0.0%	0	0.0%	0.00	0.00				S (%vol)	0.0505			
Total	25.000	50.000	43.965	100.0%	51,291.992	100%	26.56	1,167,676.40				S/BBL	26.56			
							Precio de Venta (\$/BBL)	27.80								
							Ingreso Total (\$)	1,222,034.74								
							Ganancia Neta (\$)	54,358.34								

Tabla 4.3 Producción de Gasolinas (Ejemplo 2)

Hoja 3																
Instrucciones: Para el llenado de esta hoja recorra las secciones de esta hoja (1-5) y revise las celdas con la marca de "nota" (un recuadro en la parte superior derecha)																
1.- Selección de los Componentes a Utilizar																
Num	Nombre	Pe (15/15)	PVR (psi)	RON	IRON 2	MON	IMON 2	1BP (°C)	10% (°C)	30% (°C)	50% (°C)	70% (°C)	90% (°C)	FBP (°C)	S/BBL	S (%vol)
1	n-Butano	0.5868	161.4	94.2	94.7	89.6	90.3	-3.9	-1.7	0.0	1.1	2.2	3.9	5.6	12.0	0.0027
6	Gasolina FCC	0.7531	11.6	92.1	92.6	80.7	81.2	27.8	53.3	73.9	104.4	140.0	185.6	237.8	26.6	0.0759
7	Gas Lig. FCC	0.7071	17.6	92.6	93.6	80.8	81.6	27.8	47.2	57.2	72.2	93.9	125.6	168.3	26.7	0.0289
10	Alquilato Ligero	0.6953	13.2	93.9	94.0	91.2	91.0	35.0	60.6	89.4	101.7	106.7	116.7	161.7	28.5	0.0035
11	Reformado	0.8012	8.0	97.7	97.5	87.4	87.2	37.8	76.1	104.4	124.4	142.8	167.8	210.0	28.5	0.0055
13	Reformado Pesado	0.8565	1.4	104.9	104.8	92.6	92.5	115.6	130.0	142.8	148.3	160.0	175.0	196.1	30.3	0.0006
14	Dimero	0.6959	10.4	97.0	97.0	82.0	82.0	56.1	57.8	58.9	60.0	65.6	71.1	187.8	27.5	0.0001
18	Gasolina TC	0.8756	16.5	96.1	96.1	83.4	83.4	93.3	120.0	137.8	151.1	165.6	190.0	221.1	27.6	0.0000
25	Aromáticos Pesados	0.8662	1.4	105.4	105.6	94.1	94.0	98.9	123.9	140.6	153.9	165.0	179.4	207.2	31.1	0.0130
28	MTBE	0.7400	13.0	118.3	118.3	101.3	101.3	50.6	53.9	54.4	55.0	56.1	57.8	74.4	33.6	0.0000
2.- Características Deseadas para la Gasolina																
Gasolina	MON	RON	PON	PVR	Curva de Destilación (°C)				Precio							
	(mm)			(psi)	10% max	50%	90% max	FBP	(Pesos/L)	(\$/BBL)						
Gasolina Premium	84		90	7	11.5	60	77	116	185	221	2.01	28.70				
3.- Balance de Materiales																
Componente	Vol Mín	Vol Mx	Volumen	%Vol	Peso	%W	4.- Aspectos Económicos		5.- Características Finales del Producto							
	(BBL)	(BBL)	(BBL)		(Kg)		Precio (\$/BBL)	Costo (\$)	Propiedad	Valor						
1 n-Butano	1.550	3.100	3.100	5.9%	2,892.701	4.6%	11.97	37,107.00	MON	84.3						
2 Gasolina FCC	10.125	20.250	20.250	38.6%	24,250.987	38.6%	26.60	538,650.00	RON	95.0						
3 Gas Lig. FCC	5.185	10.370	10.370	19.8%	11,660.343	18.5%	26.69	276,775.30	PON	89.7						
4 Alquilato Ligero	3.10	6.20	6.20	1.2%	685.513	1.1%	28.45	17,639.00	PVR (psi)	11.0						
5 Reformado	10.305	20.610	14.786	28.2%	18,837.979	30.0%	28.45	420,652.90	Destilación							
6 Reformado Pesado	2.695	5.390	2.695	5.1%	3,670.607	5.8%	30.31	81,685.45	10% (°C)	60.0						
7 Dimero	70	140	140	0.3%	154.927	0.2%	27.53	3,854.48	50% (°C)	100.2						
8 Gasolina TC	145	290	290	0.6%	405.790	0.6%	27.61	8,006.90	90% (°C)	156.3						
9 Aromáticos Pesados	225	450	225	0.4%	309.922	0.5%	31.07	6,990.75	FBP (°C)	199.1						
10 MTBE	0	600	0	0.0%	0	0.0%	33.62	0.00	S (%vol)	0.0368						
Total	30.000	60.000	52.475.7	100.0%	62,866.769	100%	26.51	1,391,361.78	S/BBL	26.51						
								Precio de Venta (\$/B	28.70							
								Ingreso Total (\$)	1,506,064.67							
								Ganancia Neta (\$)	114,702.89							
								Ganancia Tot. MS=NP	169,061.34							

Tabla 4.3 Producción de Gasolinas (Ejemplo 2)

Hoja 1

1.- Definición de Características de los Posibles Componentes de la Mezcla.
Instrucciones: Verifique si los componentes a utilizar se encuentran en la lista; si no añádalo al final de la lista con todas sus características.
Siga en orden ascendente el número de hoja y luego el número de sección.

Num	Nombre	Pe	115/15 PVR (psi)	RON	IRON 1	IRON 2	MON	IMON 1	IMON 2	IBP	10% (°C)	30% (°C)	50% (°C)	70% (°C)	90% (°C)	FBP (°C)	S/BBL	Crea	5.0% vol Max (BBL/M	10.0% vol Max (BBL/M	
1	n-Butano	0.5868	58.4	94.2	95.0	95.4	89.6	90.5	90.6	-3.9	-1.7	0.0	1.1	2.2	3.9	5.6	11.97	0.0027	1.550	3.100	
2	Isomero CSAC6	0.6476	16.3	88.4	89.3	89.0	81.6	81.7	81.9	28.9	35.0	39.4	42.2	48.9	58.9	72.2	26.18	0.0075	2.940	5.880	
3	Gasolina LSR	0.6665	13.3	74.1	75.7	74.1	72.1	74.3	72.3	29.4	40.0	46.7	51.7	61.1	73.3	86.7	22.61	0.0155	1.530	3.060	
4	Nafta SR	0.6981	9.1	66.4	66.9	66.5	66.4	66.9	66.6	28.9	48.9	61.7	73.3	85.6	106.1	148.9	20.60	0.0170	280	560	
5	Gasolina Natural	0.6713	12.4	72.8	72.9	72.8	70.5	70.8	70.8	32.2	40.6	46.7	55.0	68.9	96.7	135.0	16.90	0.0149	260	520	
6	Gasolina FCC	0.7531	7.1	92.1	92.8	92.9	80.7	81.5	81.3	27.8	53.3	73.9	104.4	140.0	185.6	237.8	26.60	0.0759	10.125	20.250	
7	Gas Lij. FCC	0.7071	9.9	92.6	94.1	93.4	80.8	82.2	81.3	27.8	47.2	57.2	72.2	93.9	125.6	168.3	26.69	0.0289	5.185	10.370	
8	Gas Pes. FCC	0.8076	2.6	91.9	93.0	92.2	81.3	82.4	81.5	71.1	106.7	128.9	152.8	165.6	196.1	232.2	26.66	0.0748	3.710	7.420	
9	Alquilato	0.6928	9.0	92.7	93.6	92.7	90.5	90.3	90.8	28.9	52.2	66.7	104.4	114.4	156.1	202.8	28.16	0.0030	5.815	11.630	
10	Alquilato Ligero	0.6953	7.9	93.9	94.8	93.9	91.2	91.0	91.3	35.0	60.6	89.4	101.7	106.7	116.7	161.7	28.45	0.0035	310	620	
11	Reformado	0.8012	5.3	97.7	97.8	97.7	87.4	87.7	87.4	37.8	76.1	104.4	124.4	142.8	167.8	210.0	28.45	0.0055	10.305	20.610	
12	Reformado Ligero	0.7347	7.9	82.8	82.8	82.8	77.5	77.6	77.5	37.8	58.3	71.7	83.3	95.6	113.9	138.9	24.73	0.0010	605	1.210	
13	Reformado Pesado	0.8565	1.3	104.9	104.9	104.9	92.6	92.7	92.6	115.6	130.0	142.8	148.3	160.0	175.0	196.1	30.31	0.0006	2.695	5.390	
14	Dimerio	0.6959	6.5	97.0	97.0	97.0	82.0	82.0	82.0	56.1	57.8	58.9	60.0	65.6	71.1	187.8	27.53	0.0001	70	140	
15	Poligasolina	0.7256	13.0	94.2	94.2	94.2	82.5	82.5	82.5	38.9	110.0	127.8	134.4	139.4	146.7	170.0	27.19	0.0070	140	280	
16	Gasolina Hidrocraqueada	0.6601	13.0	82.4	83.6	82.4	79.5	82.3	79.7	32.2	40.6	47.2	51.7	59.4	71.1	82.2	24.97	0.0010	1.215	2.430	
17	Gasolina Ligera del Coquiriz	0.7054	10.5	74.5	74.5	74.5	71.0	71.0	71.0	31.1	46.7	66.7	85.6	104.4	122.8	148.9	22.51	0.0900	340	680	
18	Gasolina TC	0.8756	9.4	96.1	96.1	96.1	83.4	83.4	83.4	93.3	120.0	137.8	151.1	165.6	190.0	221.1	27.61	0.0000	145	290	
19	Refinado	0.7079	2.3	55.1	57.3	55.1	55.8	58.0	55.8	88.9	91.1	91.1	91.7	92.2	94.4	125.0	17.32	0.0050	570	1.140	
20	Benzeno	0.8844	3.2	108.8	108.8	108.8	93.3	93.3	93.3	78.9	79.4	80.0	80.0	80.0	80.6	81.1	31.00	0.0055	0	0	
21	Tolueno	0.8702	1.3	120.1	118.5	119.3	103.5	100.7	102.8	106.7	108.3	108.9	108.9	108.9	109.4	110.0	34.72	0.0001	325	650	
22	Aromáticos C8	0.8789	0.3	106.5	107.8	107.7	100.7	97.8	99.6	127.8	133.3	135.6	135.6	136.7	137.8	165.6	31.76	0.0001	135	270	
23	Aromáticos C9	0.8681	0.1	109.7	112.2	112.1	99.3	99.3	100.3	157.8	160.6	161.7	162.8	163.9	166.1	189.4	32.03	0.0001	0	0	
24	Aromáticos C10	0.8816	0.1	108.0	109.4	109.3	94.6	94.3	94.9	175.6	177.8	180.0	181.7	183.9	188.3	213.9	31.07	0.0001	0	0	
25	Aromáticos Pesados	0.8662	1.3	105.4	106.4	106.5	94.1	92.7	93.9	98.9	123.9	140.6	153.9	165.0	179.4	207.2	31.07	0.0130	225	450	
26	Metanol	0.7562	4.6	133.0	133.0	133.0	99.0	99.0	99.0	64.4	64.4	64.4	64.4	64.4	64.4	64.4	35.48	0.0000	0	0	
27	Etanol	0.7919	2.3	133.0	133.0	133.0	102.0	102.0	102.0	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	35.93	0.0000	0	0	
28	MTBE	0.7400	7.8	118.3	119.5	119.4	101.3	102.0	103.1	50.6	53.9	54.4	55.0	56.1	57.8	74.4	33.62	0.0000	0	600	
29	TBA	0.8107	1.8	115.3	113.2	113.3	109.7	104.7	106.4	82.2	82.2	82.2	82.2	82.2	82.2	82.2	34.43	0.0000	0	0	
30																					

Tabla 4.4 Producción de Gasolinas Mexicanas (Datos Generales)

Hoja 2																
Instrucciones: Para el llenado de esta hoja recorra las secciones de esta hoja (1-5) y revise las celdas con la marca de "nota" (un recuadro en la parte superior derecha)																
1.- Selección de los Componentes a Utilizar																
Num	Nombre	Fe (15/15)	PVR (psi)	RON	IRON 1	MON	IMON 1	IBP (°C)	10% (°C)	30% (°C)	50% (°C)	70% (°C)	90% (°C)	FBP (°C)	S/BBL	S (%vol)
3	Gasolina LSR	0.6665	25.4	74.1	75.7	72.1	74.3	29.4	40.0	46.7	51.7	61.1	73.3	86.7	22.6	0.0155
4	Nafta SR	0.6981	15.8	66.4	66.9	66.4	66.9	28.9	48.9	61.7	73.3	85.6	106.1	148.9	20.6	0.0170
5	Gasolina Natural	0.6713	23.3	72.8	72.9	70.5	70.8	32.2	40.6	46.7	55.0	68.9	96.7	135.0	16.9	0.0149
9	Alquilato	0.6928	15.6	92.7	93.6	90.5	90.3	28.9	52.2	86.7	104.4	114.4	156.1	202.8	28.2	0.0030
16	Gasolina Hidrocraqueada	0.6601	24.7	82.4	83.6	79.5	82.3	32.2	40.6	47.2	51.7	59.4	71.1	82.2	25.0	0.0010
19	Refinado	0.7079	2.8	55.1	57.3	55.8	58.0	88.9	91.1	91.1	91.7	92.2	94.4	125.0	17.3	0.0050
28	MTBE	0.7400	13.0	118.3	119.5	101.3	102.0	50.6	53.9	54.4	55.0	56.1	57.8	74.4	33.6	0.0000
30 0		0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000
30 0		0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000
30 0		0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000
2.- Características Descendidas para la Gasolina																
Gasolina		MON	RON	PON	PVR		Curva de Destilación (°C)				Precio					
					(psi)	10% max	50%	90% max	FBP	(Pesos/L)	(\$/BBL)					
Nova-Plus			90		7	9.5	70	77	121	190	225	2.54	36.30			
3.- Balance de Materiales																
Componente	Vol Min	Vol Mx	Volumen	%Vol	Peso	%W	4.- Aspectos Económicos				5.- Características Finales del Producto					
	(BBL)	(BBL)	(BBL)		(Kg)		Precio	Costo			Propiedad	Valor				
							(\$/BBL)	(\$)			(15/15)					
1	1.530	3.060	1.530	9.4%	1,621.598	9.0%	22.61	34,593.30			MON	86.3				
2	280	560	297	1.8%	329.484	1.8%	20.60	6,114.10			RON	89.5				
3	260	520	260	1.6%	277.550	1.5%	16.90	4,394.00			PON	87.9				
4	5.815	11.630	11.630	71.2%	12,812.661	71.4%	28.16	327,500.80			PVR (psi)	9.5				
5	1.215	2.430	1.215	7.4%	1,275.375	7.1%	24.97	30,338.55			Destilación					
6	570	1.140	808	4.9%	909.877	5.1%	17.32	13,999.33			10% (°C)	51.9				
7	0	600	600	3.7%	706,049	3.9%	33.62	20,172.00			50% (°C)	91.8				
8	0	0	0	0.0%	0	0.0%	0.00	0.00			90% (°C)	133.5				
9	0	0	0	0.0%	0	0.0%	0.00	0.00			FBP (°C)	172.3				
10	0	0	0	0.0%	0	0.0%	0.00	0.00			S (%vol)	0.0045				
Total							10.000	20.000	16.340	100.0%	17.932.595	100%	26.751	437,112.08	\$/BBL	26.75
							Precio de Venta (\$/BBL)						36.30			
							Ingreso Total (\$)						593,122.86			
							Ganancia Neta (\$)						156,010.78			

Tabla 4.4 Producción de Gasolinas Mexicanas (Datos Generales)

Hoja 3

Instrucciones: Para el llenado de esta hoja recorra las secciones de esta hoja (1-5) y revise las celdas con la marca de "nota" (un recuadro en la parte superior derecha)

1.- Selección de los Componentes a Utilizar																
Num	Nombre	Pc (15/15)	PVR (psi)	RON	IRON 2	MON	IMON 2	IBP (°C)	10% (°C)	30% (°C)	50% (°C)	70% (°C)	90% (°C)	FBP (°C)	S/BBL	IS (%vol)
1	n-Butano	0.5868	161.4	94.2	95.4	89.6	90.6	-3.9	-1.7	0.0	1.1	2.2	3.9	5.6	12.0	0.0027
2	Isomero CS/C6	0.6476	32.8	88.4	89.0	81.6	81.9	28.9	35.0	39.4	42.2	48.9	58.9	72.2	26.2	0.0075
6	Gasolina FCC	0.7531	11.6	92.1	92.9	80.7	81.3	27.8	53.1	73.9	104.4	140.0	185.6	237.8	26.6	0.0759
9	Alquilato	0.6928	15.6	92.7	92.7	90.5	90.8	28.9	52.2	86.7	104.4	114.4	156.1	202.8	28.2	0.0030
11	Reformado	0.8012	8.0	97.7	97.7	87.4	87.4	37.8	76.1	104.4	124.4	142.8	167.8	210.0	28.5	0.0055
28	MTBE	0.7400	13.0	118.3	119.4	101.3	103.1	50.6	53.9	54.4	55.0	56.1	57.8	74.4	33.6	0.0000
30	0	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000
30	0	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000
30	0	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000
30	0	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000

2.- Características Deseadas para la Gasolina												
Gasolina	MON	RON	PON	PVR	Curva de Destilación (°C)				Precio			
	(min)			(psi)	10% max	50%	90% max	FBP	(Pesos/L)		(\$/BBL)	
Magna Sin	84		89	7	9.5	70	77	121	190	225	285	40.73

3.- Balance de Materiales							4.- Aspectos Económicos		5.- Características Finales del Producto	
Componente	Vol Min	Vol Max	Volumen	%Vol	Peso	%W	Precio	Costo	Propiedad	Valor
	(BBL)	(BBL)	(BBL)		(Kg)		(\$/BBL)	(\$)	Pc (15/15)	
1 n-Butano	1.550	3.100	1.550	3.1%	1,446.351	2.4%	11.97	18,553.50	MON	85.1
2 Isomero CS/C6	2.940	5.880	2.940	6.0%	3,027.652	5.1%	26.18	76,969.20	RON	94.6
3 Gasolina FCC	10.125	20.250	20.250	41.0%	24,250.987	41.1%	26.60	538,650.00	PON	89.8
4 Alquilato	5.815	11.630	5.815	11.8%	6,406.331	10.8%	28.16	163,750.40	PVR (psi)	9.5
5 Reformado	10.305	20.610	18.787	38.1%	23,935.343	40.5%	28.45	534,477.27	Destilación	
6 MTBE	0	600	0	0.0%	0	0.0%	33.62	0.00	10% (°C)	59.1
7 0	0	0	0	0.0%	0	0.0%	0.00	0.00	50% (°C)	105.1
8 0	0	0	0	0.0%	0	0.0%	0.00	0.00	90% (°C)	162.1
9 0	0	0	0	0.0%	0	0.0%	0.00	0.00	FBP (°C)	205.9
10 0	0	0	0	0.0%	0	0.0%	0.00	0.00	IS (%vol)	0.0341
Total	30.000	65.000	49.341.5	100.0%	59,066.664	100%	27.00	1,332,400.37	S/BBL	27.00

Precio de Venta (\$/B)	40.73
Ingreso Total (\$)	2,009,622.55
Ganancia Neta (\$)	677,222.18
Ganancia Tot. MS-NP	833,232.96

Tabla 4.4 Producción de Gasolinas Mexicanas (Datos Generales)

Hoja 1

1.- Definición de Características de los Posibles Componentes de la Mezcla.
 Instrucciones: Verifique si los componentes a utilizar se encuentran en la lista; si no añádale al final de la lista con todas sus características.
 Siga en orden ascendente el número de hoja y luego el número de sección

Num	Nombre	Pc (15/15°PVR (psi)	RON	IRON 1	IRON 2	MON	IMON 1	IMON 2	IBP	10% (°C)	30% (°C)	50% (°C)	70% (°C)	90% (°C)	FBP (°C)	S/BBL	Cms. 5°C (Volatil Max (BBL) / Volatil Min (BBL)				
1	n-Butano	0.5868	58.4	94.2	95.0	95.4	89.6	90.5	90.6	-3.9	-1.7	0.0	1.1	2.2	3.9	5.6	11.97	0.0027	1.550	3.100	
2	Isomero C5/C6	0.6476	16.3	88.4	89.3	89.0	81.6	81.7	81.9	28.9	35.0	39.4	42.2	48.9	58.9	72.2	26.18	0.0075	2.940	5.880	
3	Gasolina LSR	0.6665	13.3	74.1	75.7	74.1	72.1	74.3	72.3	29.4	40.0	46.7	51.7	61.1	73.3	86.7	22.61	0.0155	1.530	3.060	
4	Nafta SR	0.6981	9.1	66.4	66.9	66.5	66.4	66.9	66.6	28.9	48.9	61.7	73.3	85.6	106.1	148.9	20.60	0.0170	280	560	
5	Gasolina Natural	0.6713	12.4	72.8	72.9	72.8	70.5	70.8	70.8	32.2	40.6	46.7	55.0	68.9	96.7	135.0	16.90	0.0149	260	520	
6	Gasolina FCC	0.7531	7.1	92.1	92.8	92.9	80.7	81.5	81.3	27.8	53.3	73.9	104.4	140.0	185.6	237.8	26.60	0.0759	10.125	20.250	
7	Gas Lij. FCC	0.7071	9.9	92.6	94.1	93.4	80.8	82.2	81.3	27.8	47.2	57.2	72.2	93.9	125.6	168.3	26.69	0.0289	5.185	10.370	
8	Gas. Pes. FCC	0.8076	2.6	91.9	93.0	92.2	81.3	82.4	81.5	71.1	106.7	128.9	152.8	185.6	196.1	232.2	26.66	0.0748	3.710	7.420	
9	Alquilato	0.6928	9.0	92.7	93.6	92.7	90.5	90.3	90.8	28.9	52.2	86.7	104.4	114.4	156.1	202.8	28.16	0.0030	5.815	11.630	
10	Alquilato Ligero	0.6953	7.9	93.9	94.8	93.9	91.2	91.0	91.3	35.0	60.6	89.4	101.7	106.7	116.7	161.7	28.45	0.0035	310	620	
11	Reformado	0.8012	5.3	97.7	97.8	97.7	87.4	87.7	87.4	37.8	76.1	104.4	124.4	142.8	167.8	210.0	28.45	0.0055	10.305	20.610	
12	Reformado Ligero	0.7347	7.9	82.8	82.8	82.8	77.5	77.6	77.5	37.8	58.3	71.7	83.3	95.6	113.9	138.9	24.73	0.0010	605	1.210	
13	Reformado Pesado	0.8565	1.3	104.9	104.9	104.9	92.6	92.7	92.6	115.6	130.0	142.8	148.3	160.0	175.0	196.1	30.31	0.0006	2.695	5.390	
14	Dimer	0.6959	6.5	97.0	97.0	97.0	82.0	82.0	82.0	56.1	57.8	58.9	60.0	65.6	71.1	187.8	27.53	0.0001	70	140	
15	Poligasolina	0.7256	13.0	94.2	94.2	94.2	82.5	82.5	82.5	38.9	110.0	127.8	134.4	139.4	146.7	170.0	27.19	0.0070	140	280	
16	Gasolina Hidrocraqueada	0.6601	13.0	82.4	83.6	82.4	79.5	82.3	79.7	32.2	40.6	47.2	51.7	59.4	71.1	82.2	24.97	0.0010	1.215	2.430	
17	Gasolina Ligera del Coquiz	0.7054	10.5	74.5	74.5	74.5	71.0	71.0	71.0	31.1	46.7	66.7	85.6	104.4	122.8	148.9	22.51	0.0900	340	680	
18	Gasolina TC	0.8756	9.4	96.1	96.1	96.1	83.4	83.4	83.4	93.3	120.0	137.8	151.1	165.6	190.0	221.1	27.61	0.0000	145	290	
19	Rcfinado	0.7079	2.3	55.1	57.3	55.1	55.8	58.0	55.8	88.9	91.1	91.1	91.7	92.2	94.4	125.0	17.32	0.0050	570	1.140	
20	Benzeno	0.8844	3.2	108.8	108.8	108.8	93.3	93.3	93.3	78.9	79.4	80.0	80.0	80.0	80.6	81.1	31.00	0.0055	0	0	
21	Tolueno	0.8702	1.3	120.1	118.5	119.3	103.5	100.7	102.8	106.7	108.3	108.9	108.9	109.4	110.0	34.22	0.0001	325	650		
22	Aromáticos C8	0.8789	0.3	106.5	107.8	107.7	100.7	97.8	99.6	127.8	133.3	135.6	136.7	137.8	165.6	31.76	0.0001	135	270		
23	Aromáticos C9	0.8681	0.1	109.7	112.2	112.1	99.3	99.3	100.3	157.8	160.6	161.7	162.8	163.9	166.1	189.4	32.03	0.0001	0	0	
24	Aromáticos C10	0.8816	0.1	108.0	109.4	109.3	94.6	94.3	94.9	175.6	177.8	180.0	181.7	183.9	188.3	213.9	31.07	0.0001	0	0	
25	Aromáticos Pesados	0.8662	1.3	105.4	106.4	106.5	94.1	92.7	93.9	98.9	123.9	140.6	153.9	165.0	179.4	207.2	31.07	0.0130	225	450	
26	Metanol	0.7962	4.6	133.0	133.0	133.0	99.0	99.0	99.0	64.4	64.4	64.4	64.4	64.4	64.4	64.4	35.48	0.0000	0	0	
27	Etanol	0.7939	2.3	133.0	133.0	133.0	102.0	102.0	102.0	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	35.93	0.0000	0	0	
28	MTBE	0.7400	7.8	118.3	119.5	119.4	101.3	102.0	103.1	50.6	53.9	54.4	55.0	56.1	57.8	74.4	33.62	0.0000	0	600	
29	TBA	0.8107	1.8	115.3	113.2	113.3	109.7	104.7	106.4	82.3	82.2	82.2	82.2	82.2	82.2	82.2	34.43	0.0000	0	0	
30	Gasolina Primaria (LSR)	0.6665	6.0	53.5	53.8	54.0	51.4	51.7	52.0	29.4	40.0	46.7	51.7	61.1	73.3	86.7	22.6	0.0155	4150	8300	
31	Gasolina FCC	0.7559	6.0	90.0	90.6	91.0	89.1	89.5	89.0	42.2	69.1	86.7	109.8	133.1	169.1	212.8	26.7	0.0599	11000	22000	
32	Gasolina Reformada	0.7975	6.0	92.5	93	94.0	90.0	91.0	92.0	63.7	88.1	106.3	118.7	132.8	152.2	181.7	27.8	0.0024	11475	22950	
33	N-Oil	0.7108	6.0	54.5	55	56.0	53.0	53.4	54.0	47.5	83.9	93.3	97.2	102.5	108.9	178.9	27.4	0.0036	900	1800	
34	Gasolina TCC	0.7905	6.0	89.5	89.7	90.0	87.6	87.8	88.0	62.2	83.3	102.2	118.3	135.0	156.4	185.0	25.1	0.0450	4680	9360	
35	Isomero	0.6941	15.0	61.0	61.5	62.0	60.5	60.9	61.0	31.9	56.4	88.1	103.1	110.6	136.4	182.2	28.3	0.0033	4325	8650	
36																					

Tabla 4.5 Producción de Gasolinas Mexicanas (Datos Locales)

Hoja 2

Instrucciones: Para el llenado de esta hoja recorra las secciones de esta hoja (1-5) y revise las celdas con la marca de "nota" (un recuadro en la parte superior derecha)

1.- Selección de los Componentes a Utilizar																
Num.Nombre	Pe (1\$/15)	PVR (psi)	RON	IRON 1	MON	IMON 1	IBP (°C)	10% (°C)	30% (°C)	50% (°C)	70% (°C)	90% (°C)	FBP (°C)	\$/BBL	\$ (%vol)	
30 Gasolina Primaria (LSR)	0.6665	9.4	53.5	53.8	51.4	51.7	29.4	40.0	46.7	51.7	61.1	73.3	86.7	22.6	0.0155	
31 Gasolina FCC	0.7559	9.4	90.0	90.6	89.1	89.5	42.2	69.1	86.7	109.8	133.1	169.1	212.8	26.7	0.0599	
32 Gasolina Reformada	0.7975	9.4	92.5	93.0	90.0	91.0	63.7	88.1	106.3	118.7	132.8	152.2	181.7	27.8	0.0024	
33 N-Oil	0.7108	9.4	54.5	55.0	53.0	53.4	47.5	83.9	93.3	97.2	102.5	108.9	178.9	27.4	0.0036	
35 Isomero	0.6941	29.5	61.0	61.5	60.5	60.9	31.9	56.4	88.1	103.1	110.6	136.4	182.2	28.3	0.0033	
36 0	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000	
36 0	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000	
36 0	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000	
36 0	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000	
36 0	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000	
36 0	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000	

2.- Características Deseadas para la Gasolina:												
Gasolina	MON	RON	PON	PVR (psi)			Curva de Destilación (°C)				Precio	
				10% max	50%	90% max	FBP	(Pesos/L)	(\$/BBL)			
Nova-Plus		81		7	9.5	70	77	121	190	225	2.54	36.30

3.- Balance de Materiales							4.- Aspectos Económicos			5.- Características Finales del Producto	
Componente	Vol. Mía (BBL)	Vol. Máx (BBL)	Volumen (BBL)	%Vol	Peso (Kg)	%W	Precio (\$/BBL)	Costo (\$)	Propiedad	Valor	
									Pe (1\$/15)	0.7425	
1 Gasolina Primaria (LSR)	4.150	8.300	8.300	17.5%	8.796.907	15.7%	22.61	187.663.00	MON	79.0	
2 Gasolina FCC	11.000	22.000	21.124	44.6%	25.392.431	45.4%	26.65	562.945.37	RON	80.5	
3 Gasolina Reformada	11.475	22.950	11.475	24.2%	14.551.809	26.0%	27.83	319.349.25	PON	79.8	
4 N-Oil	900	1.800	1.800	3.8%	2.034.422	3.6%	27.36	49.249.80	PVR (psi)	7.0	
5 Isomero	4.325	8.650	4.699	9.9%	5.185.917	9.3%	28.31	132.998.34	Desulfuración		
6 0	0	0	0	0.0%	0	0.0%	0.00	0.00	10% (°C)	67.9	
7 0	0	0	0	0.0%	0	0.0%	0.00	0.00	50% (°C)	100.6	
8 0	0	0	0	0.0%	0	0.0%	0.00	0.00	90% (°C)	142.7	
9 0	0	0	0	0.0%	0	0.0%	0.00	0.00	FBP (°C)	178.8	
10 0	0	0	0	0.0%	0	0.0%	0.00	0.00	\$ (%vol)	0.0304	
Total	20.000	65.000	47.397	100.0%	55.961.486	100%	26.42	1.252.205.761	\$/BBL	26.42	
							Precio de Venta (\$/BBL)	36.30			
							Ingreso Total (\$)	1.720.462.50			
							Ganancia Neta (\$)	468.256.74			

Tabla 4.5 Producción de Gasolinas Mexicanas (Datos Locales)

Hoja 3

(Instrucciones: Para el llenado de esta hoja recorra las secciones de esta hoja (1-5) y revise las celdas con la marca de "nota" (un recuadro en la parte superior derecha)

1.- Selección de los Componentes a Utilizar															
Num/Nombre	Pe (15/15)	PVR (psi)	RON	IRON 2	MON	IMON 2	IBP (°C)	10% (°C)	30% (°C)	50% (°C)	70% (°C)	90% (°C)	FBP (°C)	\$/BBL	\$/Gal
1 n-Butano	0.5868	161.4	94.2	95.4	89.6	90.6	-3.9	-1.7	0.0	1.1	2.2	3.9	5.6	12.0	0.0027
28 MTBE	0.7400	13.0	118.3	119.4	101.3	103.1	50.6	53.9	54.4	55.0	56.1	57.8	74.4	33.6	0.0000
30 Gasolina Primaria (LSR)	0.6665	9.4	53.5	54.0	51.4	52.0	29.4	40.0	46.7	51.7	61.1	73.3	86.7	22.6	0.0155
31 Gasolina FCC	0.7559	9.4	90.0	91.0	89.1	89.0	42.2	69.1	86.7	109.8	133.1	169.1	212.8	26.7	0.0599
32 Gasolina Reformada	0.7975	9.4	92.5	94.0	90.0	92.0	63.7	88.1	106.3	118.7	132.8	152.2	181.7	27.8	0.0024
34 Gasolina TCC	0.7905	9.4	89.5	90.0	87.6	88.0	62.2	83.3	102.2	118.3	135.0	156.4	185.0	25.1	0.0450
36 0	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000
36 0	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000
36 0	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000
36 0	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000

2.- Características Deseadas para la Gasolina												
Gasolina	MON	RON	PON	PVR				Curva de Destilación (°C)			Precio	
	(min)			(psi)	10% max	50%	90% max	FBP	(Pesos/L)	(\$/BBL)		
Magna Sin	82		87	7	9.5	70	77	121	190	225	2.85	40.73

3.- Balance de Materiales						4.- Aspectos Económicos			5.- Características Finales del Producto	
Componente	Vol. Min (BBL)	Vol. Máx (BBL)	Volumen (BBL)	%Vol	Peso (Kg)	%W	Precio (\$/BBL)	Costo (\$)	Propiedad	Valor
1 n-Butano	1.550	3.100	2.953	4.8%	2,755.383	3.7%	11.97	35,345.51	MON	85.4
2 MTBE	0	600	600	1.0%	706,049	1.0%	33.62	20,172.00	RON	87.6
3 Gasolina Primaria (LSR)	4.150	8.300	7.748	12.5%	8,211,438	11.1%	22.61	175,173.28	PON	86.5
4 Gasolina FCC	11.000	22.000	22.000	35.5%	26,445,876	35.6%	26.65	586,300.00	PVR (psi)	9.5
5 Gasolina Reformada	11.475	22.950	19.246	31.1%	24,406,888	32.9%	27.83	535,625.61	Destilación	
6 Gasolina TCC	4.680	9.360	9.360	15.1%	11,766,017	15.8%	25.06	234,561.60	10% (°C)	70.0
7 0	0	0	0	0.0%	0	0.0%	0.00	0.00	50% (°C)	100.9
8 0	0	0	0	0.0%	0	0.0%	0.00	0.00	90% (°C)	141.0
9 0	0	0	0	0.0%	0	0.0%	0.00	0.00	FBP (°C)	171.9
10 0	0	0	0	0.0%	0	0.0%	0.00	0.00	S (%vol)	0.009
Total	25.000	80.000	61.9068	100.0%	74,291,649	100%	25.64	1,587,178.01	\$/BBL	25.64

Precio de Venta (\$/B)	40.73
Ingreso Total (\$)	2,521,389.63
Ganancia Neta (\$)	934,211.62
Ganancia Tot. MS-NP	1,402,468.36

Tabla 4.5 Producción de Gasolinas Mexicanas (Datos Locales)

5.- ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

5.1 Análisis de Resultados

5.1.1 Comparación con Resultados del BLEND-LP

Primeramente debemos comparar los resultados obtenidos por el programa GASMEZC con los obtenidos en otro simulador como el BLEND-LP. Para realizar dicha comparación se usan los resultados obtenidos por el BLEND-LP usando los mismos componentes y especificaciones utilizadas en las primeras corridas del GASMEZC presentadas en las tablas 4.2 y 4.3 del capítulo anterior. En la tabla 5.1 se muestra un resumen de las corridas con ambos programas para las características más importantes de las gasolinas: los números de octano y la presión de vapor.

Tabla 5.1
Resumen de los Resultados Obtenidos en Ambos Simuladores

Simulador	Gasolina	RON	MON	PON	PVR
BLEND-LP	Regular 1	90.1	88.1	89.0	9.7
GASMEZC	Regular 1	89.5	86.3	87.9	9.7
Especc.	Regular 1	90.0	---	---	7-11.5
BLEND-LP	Regular 2	91.3	82.7	87.0	8.0
GASMEZC	Regular 2	90.8	82.0	86.4	8.5
Especc.	Regular 2	91.0	---	---	7-11.5
BLEND-LP	Premium 1	94.0	84.0	89.0	9.6
GASMEZC	Premium 1	92.6	84.7	88.6	11.5
Especc.	Premium 1	---	84 min	89	7-11.5
BLEND-LP	Premium 2	97.4	86.6	92.0	10.2
GASMEZC	Premium 2	95.0	84.3	89.7	11.0
Especc.	Premium 2	---	84 min	89	7-11.5

Partiendo de la base de que ambos programas utilizaron los mismos componentes para realizar los cálculos; podemos ver que con respecto a los números

de octano ambos programas arrojan números muy parecidos a la especificación, sólo que cuando se usa el BLEND-LP los resultados se ajustan mucho más en aquellos casos en los que el número no está especificado como un mínimo, es decir, el valor de la especificación es un número base al que se quiere ajustar el valor para la mezcla y a partir de éste hacer el resto de los cálculos; tal es el caso de las mezclas 1 y 3. Para la mezcla 1 el número especificado es el RON y el BLEND-LP realizó el cálculo con sólo 0.1 números de octano por arriba de la especificación, mientras el GASMEZC se quedó a 0.5 del valor base. En la mezcla 3 el BLEND-LP obtuvo un resultado de 89 para el PON, igual a la especificación, mientras el otro programa obtuvo un valor de 88.6.

Si bien el GASMEZC no daba resultados exactamente iguales al valor de la especificación, hay que tomar en cuenta que el programa permite una tolerancia de ± 0.5 números de octano en cualquier especificación que se le de; por lo que sus resultados se pueden considerar buenos.

El caso de aquellos valores incluidos en el programa como un mínimo, el GASMEZC obtiene valores más aproximados a la especificación en la mezcla 4, mientras el BLEND-LP hace lo propio con la mezcla 3, ambos valores calculados para el MON. Si bien estas diferencias pueden presentar discrepancias entre un programa y otro, y que las pequeñas diferencias de 0.1 números de octano pueden representar aumentos de millones de dólares en el costo de producción de las gasolinas; no hay que olvidar que para este tipo de problemas existe más de una solución; y en el caso del GASMEZC el objetivo primordial del programa es maximizar las ganancias obtenidas por vender el producto. Todo lo anterior nos lleva a considerar que los resultados obtenidos por el programa GASMEZC son útiles y confiables.

El caso de la presión de vapor es un poco más especial, ya que al dar como especificación un intervalo tan amplio de valores resulta más fácil para el programa realizar los cálculos para esta propiedad. El intervalo es de 4.5 psi y en los cuatro casos ambos programas fueron capaces de obtener valores dentro de especificaciones; sin embargo un comportamiento generalizado es el de tener presiones de vapor más grandes para aquellas mezclas calculadas con el GASMEZC que con el BLEND-LP. Tal vez este es el punto más débil del programa realizado en esta tesis, pero sin embargo dado el amplio intervalo de presión de vapor asignado para estas mezclas no podemos decir que el GASMEZC no cumpla con su objetivo y de hecho la variación entre el valor calculado por el BLEND-LP y el GASMEZC no sobrepasan 1 psi en las mezclas 1, 2, y 4; solamente en el caso de la mezcla 3 la variación es realmente importante al haber una diferencia de casi 2 psi entre los valores calculados por cada programa. Nuevamente se pueden considerar a estos resultados como satisfactorios pues cumplen perfectamente con las especificaciones.

Existe una diferencia fundamental entre el GASMEZC y el BLEND-LP que le da al primero una ventaja en lo que respecta a no "regalar calidad." El GASMEZC usa las especificaciones de número de octano como un valor al cual tender con una tolerancia de +/- 0.5; mientras el BLEND-LP realiza todos los cálculos de números de octano tomando la especificación como un mínimo, por lo que cualquier valor por arriba de la especificación será reportado por el programa como satisfactorio. El GASMEZC en cambio, no lo aceptará a menos que se encuentre dentro de la tolerancia establecida. Sólo el caso del MON es especificado como un mínimo para el GASMEZC y puede presentar una desviación mayor que el BLEND-LP como cuando se evaluó la gasolina premium 1. De igual manera la especificación de la PVR es usada por el BLEND-LP como un máximo y el GASMEZC nuevamente utiliza un intervalo para realizar sus iteraciones. Estas dos

peculiaridades le dan al GASMEZC la capacidad de arrojar resultados más acordes a las necesidades del productor por evitar el "regalo de calidad;" sin embargo no debemos olvidar que el GASMEZC no utiliza la programación lineal como herramienta en sus cálculos sino métodos de convergencia comunes como el Newton- Raphson para multivariantes.

Por último debemos hacer referencia a la otra especificación definida en el programa: la curva de destilación. No podemos hacer una comparación directa entre ambos programas ya que el GASMEZC reporta resultados como temperatura para destilar cierto porcentaje de mezcla; mientras el BLEND-LP los reporta como porcentajes destilados a cierta temperatura. Si bien no podemos comparar los resultados, si podemos ver como el GASMEZC cumple con las especificaciones definidas en la sección correspondiente del programa (que son iguales a las definidas en el BLEND-LP).

El GASMEZC fue capaz de evaluar las características de las mezclas de gasolinas arrojando resultados muy cercanos a los que el BLEND-LP calculaba, cumpliendo siempre con las especificaciones; por tanto se consideró confiable y se tomó la decisión de evaluar el problema para mezclas representativas de gasolinas mexicanas.

5.1.2 Uso del GASMEZC para cálculo de Gasolinas Mexicanas

Una vez que se evalúan como confiables los resultados obtenidos por el programa es posible llevar a cabo cálculos sobre nuevas mezclas; en este caso las mezclas son gasolinas mexicanas cuyas especificaciones son diferentes a las de las mezclas evaluadas con anterioridad. El primer caso usó intermediarios distintos a los que se pueden considerar como típicos de las gasolinas mexicanas al incluir en

su formulación componentes iguales y especificaciones similares a las usadas en los ejemplos anteriores. El segundo caso ya incluyó intermediarios típicos en la formulación de las gasolinas y ahora si las especificaciones propias de las gasolinas mexicanas obteniéndose las características reportadas en la tabla 5.2.

Tabla 5.2
Resumen de los Resultados Obtenidos en el Cálculo para Gasolinas Mexicanas

Intermediarios	Gasolina	RON	MON	PON	PVR
Generales	Nova Plus	89.5	86.3	87.9	9.5
Especs.	Nova Plus	90.0	---	---	7-9.5
Locales	Nova Plus	80.5	79.0	79.8	7.0
Especs.	Nova Plus	81.0	---	---	7-9.5
Generales	Magna Sin	94.6	85.1	89.8	9.5
Especs.	Magna Sin	---	84 min	89	7-9.5
Locales	Magna Sin	87.6	85.4	86.5	9.5
Especs.	Magna Sin	---	82 min	87	7-9.5

En ambos casos (el evaluado para intermediarios generales y el de datos locales), las gasolinas Magna Sin y Nova Plus cumplen perfectamente con las especificaciones del producto. Los RON nunca presentaron una variación de más de 0.5 números de octano en ninguno de los casos en donde la especificación era un valor fijo. En el caso del MON para la Magna Sin la especificación era un mínimo y en ambos casos el valor obtenido se encuentra por arriba, cumpliendo con los requerimientos especificados. Cuando se evaluó el PON sólo en el caso de la Magna Sin para datos generales presenta una desviación mayor a los 0.5 números de octano usados como tolerancia.

Nuevamente el punto débil del programa se manifiesta en las presiones de vapor en donde tiende a ocupar el valor máximo del intervalo especificado; sin embargo los resultados son apropiados según este intervalo, dejando ver que el

programa es capaz de obtener los resultados deseados, bajo la premisa de maximizar las ganancias obtenidas por la venta del producto disminuyendo el costo de producción.

Tomando en cuenta las consideraciones hechas podemos decir que el programa GASMEZC es capaz de realizar cálculos para gasolinas mexicanas arrojando resultados confiables y útiles para un productor de este tipo de combustibles.

5.2 Conclusiones

El petróleo considerado como la fuente energética más importante en nuestros días no es usado tal y como se extrae del subsuelo sino que primeramente es sometido a procesos de separación para aislar sus componentes o incluso a transformaciones químicas que lo vuelven apto para su uso como combustible o como punto de partida para la producción de compuestos químicos de mayor importancia en una amplia gama de campos tecnológicos. Precisamente su uso como combustible no sería posible si antes no se mezclaran en proporciones adecuadas los componentes obtenidos del fraccionamiento del petróleo o los químicamente modificados para obtener mezclas con las características necesarias para ser comercializadas, sobre todo ahora cuando además de tener consideraciones económicas debemos tomar en cuenta aquellas características que puedan tener algún efecto sobre el ambiente. Es de aquí donde se desprende la importancia de las operaciones de mezclado en el proceso de refinación del petróleo.

Los productos derivados del petróleo con mayor importancia económica son las gasolinas para automóviles, y por tanto son ellas las que exigen mayor cuidado en su elaboración consistente en el mezclado de varios intermediarios que proporcionan a la mezcla final características propias de cada uno de ellos o bien, al

combinarse, le dan a la gasolina mejores propiedades de las que cada componente tendría por separado.

Entre aquellas características que tienen mayor importancia se encuentran la presión de vapor y los números de octano que influyen directamente al desempeño de la gasolina en el motor del automóvil. Para que el producto final cumpla con estas especificaciones y su elaboración no alcance costos estratosféricos es necesario planear y asegurar que cada componente es mezclado en las proporciones correctas tomando en cuenta aspectos de inventario y las propiedades fisicoquímicas de estos y del producto.

Lo que en el párrafo anterior ha sido descrito con tanta facilidad se complica enormemente al tratar de predecir las propiedades de la mezcla final o de asegurarnos de que el producto cumplirá con todos los requerimientos al final del proceso. Ante esta dificultad y el problema del reproceso de aquellas mezclas fuera de especificación que implica gastos enormes para el productor surge la alternativa del mezclado en línea.

Los sistemas de mezclado en línea aseguran la producción de gasolinas que cumplan con las especificaciones optimizando el uso de los intermediarios disponibles en la refinería mediante la medición en tiempo real de las propiedades del producto; conjuntamente con la aplicación inmediata y automatizada de medidas de corrección normalmente representadas por modificaciones en los flujos de los componentes involucrados antes de ser mezclados.

Los sistemas de mezclado en línea implican modificaciones físicas a las instalaciones típicas de una refinería que produce gasolinas mediante operaciones intermitentes; desde la instalación del sistema de control, hasta cambios en el arreglo

de tanques y tuberías. Todos estos cambios implican inversiones muy fuertes en un inicio pero se convierten en proyectos altamente rentables debido a los ahorros derivados de la disminución en el "regalo de calidad" y la eliminación casi total de las operaciones de reproceso por producto fuera de especificación.

La implementación de este tipo de sistemas ayudaría fuertemente a la industria mexicana de la refinación a afrontar la competencia internacional a la que se enfrenta haciendo sus procesos de producción más eficientes y competitivos. Además, debido a que el período de recuperación de la inversión es muy corto (cerca de tres años) y la tasa interna de retorno alta (aproximadamente 60%), este tipo de proyectos de modernización se pueden volver altamente atractivos para inversionistas.

Este tipo de sistemas de mezclado en línea implican cuatro niveles de control, de los cuales el cuarto consiste en llevar a cabo la planeación y optimización de las operaciones de mezclado fuera de línea incluyendo los aspectos económicos involucrados y las cuestiones propias de inventarios de materia prima y producto terminado.

La elaboración de un programa que permita simular las operaciones propias de este nivel de control proporciona una herramienta accesible para aquellos interesados en este tipo de sistemas. El programa, denominado GASMEZC, es una herramienta fácil de manejar al haber sido elaborado en la hoja de cálculo EXCEL comúnmente utilizada en la actualidad.

El GASMEZC es capaz de ejecutar las operaciones propias de este nivel de control con suficiente precisión como para considerarlo utilizable como primera aproximación al cálculo de la mezcla final siempre y cuando se tomen en cuenta las

consideraciones mencionadas en este trabajo de tesis. En resumen podemos concluir cinco cosas:

1.- Las operaciones de mezclado tienen una gran importancia en el proceso de refinación del petróleo al proporcionarnos los productos con las características adecuadas para su uso como combustibles.

2.- Las mejoras en este tipo de operaciones vuelven a las refinerías más eficientes y competitivas al proporcionarles ahorros considerables en su operación y disminuir el denominado "regalo de calidad".

3.- El mezclado en línea es una de las mejores formas de optimizar las operaciones de mezclado, al menos en lo que respecta a la producción de gasolinas como se ha demostrado a lo largo de este trabajo.

4.- Los proyectos para la implementación de este tipo de sistemas implican una inversión inicial muy grande, pero son altamente rentables y atractivos para los posibles inversionistas.

5.- El programa GASMEZC, aquí elaborado, es una muy buena aproximación al nivel cuatro de control de los sistemas de mezclado en línea.

Podemos decir que bajo el esquema aquí presentado y los diferentes giros abordados a lo largo del trabajo realizado se han cumplido los objetivos planteados al inicio del mismo de manera satisfactoria, al cubrir en menor o mayor grado todos aquellos aspectos que hacen del mezclado en línea una excelente opción para mejorar las operaciones de mezclado en la producción de gasolinas.

APÉNDICE A

El Petróleo en México

El crudo producido en México tiene un peso específico entre 0.70 y 0.99 ($^{\circ}\text{API} = 11.4-70.6$). Los nombres que reciben los diferentes tipos de petróleo se dan de acuerdo al lugar donde se encuentra el pozo de extracción (Cactus, Arenque, Tamaulipas, etc.) o por la edad geológica del estrato en que se encuentra (Terciario, Cretácico, Mesozoico). En México se producen tres tipos de crudo:

a) El muy ligero que constituye alrededor de un 4% de la producción nacional, tiene un bajo contenido de azufre y carbón residual, se produce en los campos de Reynosa y Agave.

b) El ligero que constituye cerca del 31% de la producción total con una densidad superior a lo 22°API .

c) El pesado que constituye 65% de la producción, producido principalmente en la Sonda de Campeche. La densidad de este crudo es inferior a los 22°API .

Del total de crudo producido aproximadamente el 50% se consume en el mercado interno para satisfacer las necesidades de energéticos y petroquímicos nacionales; mientras el resto es exportado. Para el mercado de exportación se producen tres tipos de crudo resultado de la mezcla de los distintos tipos de crudo extraídos: Maya, Istmo y Olmeca; cuyas características ya han sido mencionadas en la tabla 1.2 del presente trabajo y cuyos rendimientos se presentan en la tabla A.1.

En la década pasada la producción promedio de petróleo en México fue de alrededor de 2.7 MMBarriles/año y se considera que las reservas en el País podrían

mantener este nivel de explotación por 67 años más; lo que nos indica que las reservas nacionales alcanzan los 66,000 MMBarriles. Durante 1991 se procesaron en las refinerías mexicanas 1.29 MMBD¹ de crudo fresco y 0.29 MMBD de gas natural. Mientras tanto se exportaron 1.37 MMBD de crudo que a un precio promedio de 14.55 USD/Barril representan ingresos netos por 7,270 MMUSD/año.²

Tabla A.1
Rendimiento de los Crudos Mexicanos
(% Volumen)

Corte	Maya	Istmo	Olmeca
Nafta (C ₆ -C ₁₁)	6.5	11.0	12.4
Queroseno (C ₁₁ -C ₁₆)	11.5	16.0	18.5
Diesel (C ₁₆ -C ₂₁)	14.6	15.0	16.8
Gasóleo (C ₂₁ -C ₄₂)	19.7	23.5	25.7
Residuo (C ₄₂ -)	38.5	19.5	10.0
Total	90.8	85.0	83.4

PEMEX. Memorias de Labores 1991. México 1992

¹ MMBD = Millones de Barriles Diarios.

² PEMEX. Memorias de Labores 1991. México 1992, varias pags.

APÉNDICE B**Capacidad Nominal de Fraccionamiento de Gasolinas Naturales en México (BDC)**

Centro de Proceso	Cap. Instalada	Cap. de Operación
Cactus	113,000	103,960
La Cangrejera	113,000	103,960
Madero	1,000	920
Minatitlán	70,000	64,400
Nuevo PEMEX	113,000	103,960
Poza Rica	22,000	20,240
Reynosa	11,500	10,580
Morelos	113,000	103,960
Total:	556,500	511,980

PEMEX. Memorias de Labores 1991. México 1992

APÉNDICE C

Ventas Interiores (Miles de Pesos¹)

Producto	1990	1991
Gas Licuado	1,103,258	1,402,752
Gasolina Nova	8,544,050	12,648,405
Gasolina Magna Sin	1,462,788	1,881,274
Otras Gasolinas	74,092	100,901
Turbosina	792,987	818,960
Otros Querosenos	174,727	163,095
Diesel	4,185,752	5,186,585
Combustóleo	2,993,867	3,358,658
Asfaltos	156,218	294,481
Lubricantes	454,365	749,415
Grasas	10,512	20,593
Parafinas	51,030	60,546
Subtotal:	20,003,651	26,885,670
Gas Natural	2,889,804	2,691,355
Total:	22,893,455	29,377,026

PEMEX. Memorias de Labores 1991. México 1992

¹ Los números reportados ya consideran la modificación de nuevos pesos.

APÉNDICE D

Conceptos Relacionados con los Sistemas de Control

D.1 Variables

Variable Controlada: Es la variable que se debe mantener dentro del valor deseado para que el proceso funcione adecuadamente.

Punto de Ajuste: Es el valor que se desea tenga la variable controlada.

Variable Manipulada: Es la variable cuyo valor es modificado con objeto de mantener el valor de la variable controlada lo más cerca posible del valor del punto de ajuste.

Error: Diferencia entre el valor del punto de ajuste y el de la variable controlada.

Perturbación: Cualquier variable que ocasiona que la variable de control se desvíe del punto de ajuste.

D.2 Elementos Básicos del Sistema de Control

Sensor o Elemento Primario: Es el instrumento encargado de registrar los cambios en el valor de la variable controlada.

Transmisor o Elemento Secundario: Es el encargado de recibir la señal del sensor y enviarla al controlador.

Controlador o Cerebro: Con base a la medición realizada este elemento es el encargado de tomar una decisión sobre la acción a tomar para mantener el valor de la variable controlada cercano al del punto de ajuste. Es un dispositivo que busca disminuir el error mediante una función matemática.

Elemento Final de Control: Es el encargado de ejecutar la acción que el controlador ha decidido realizar. Usualmente este tipo de elementos son válvulas de control, aunque no siempre.

D.3 Algoritmos de Control

Controlador Proporcional: El controlador proporcional es un multiplicador, es decir, la salida del controlador es proporcional al error medido. Los dos conceptos relacionados con este tipo de controladores son la ganancia (K_c) y la banda proporcional (BP). La ganancia es la cantidad por la cual se multiplica el error para obtener la salida del controlador; es el valor que se puede ajustar. Algunos controladores utilizan la BP como ajuste y normalmente es equivalente a $BP = 100\%/K_c$.

Controlador Proporcional Integral: Este controlador agrega a la función proporcional la función de reajuste o integral. La acción de reajuste hace que la salida del controlador cambie en tanto exista un error, incluso los errores pequeños proporcionan finalmente la suficiente salida del controlador para que el error disminuya a cero. La acción integral agrega un parámetro más a ajustar: el tiempo de reajuste (t_i).

Controlador Proporcional Derivativo: En este controlador se agrega a la acción proporcional el efecto de la rapidez de cambio o derivada cuyo objeto es la de acelerar la acción del controlador. Esto lo logra anticipando hacia donde se dirige el proceso y aplicando la corrección necesaria para determinar el cambio del error; se anticipa midiendo la rapidez de cambio del error y aplicando una acción de control proporcional a dicha velocidad de cambio (t_d).

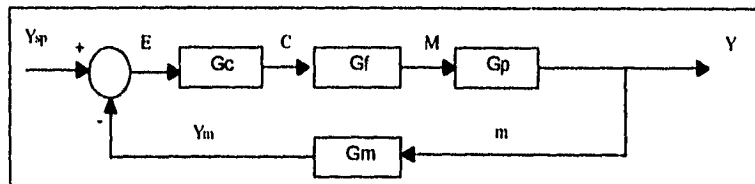
Controlador Proporcional Integral Derivativo: El controlador de tres modalidades combina las acciones de elementos proporcional, integral y derivativo en un sola unidad. El proporcional da la forma a la curva de respuesta, el integral elimina la desviación del estado estacionario y el derivativo permite obtener ganancias superiores para el sistema de control.

D.4 Estrategias de Control

Control por Retroalimentación o Hacia Atrás: En esta estrategia de control se toma el valor de la variable controlada y se retroalimenta al controlador para que éste pueda tomar una decisión. Cualquier perturbación puede afectar a la variable controlada, cuando ésta se desvía del punto de ajuste, el controlador cambia su salida para que la variable regrese al punto de control. El circuito de control no detecta qué tipo de perturbación entra al proceso, únicamente trata de mantener la variable controlada en el punto de control y de esta manera compensar la perturbación. La desventaja de esta estrategia estriba en que únicamente puede compensar la perturbación hasta que la variable controlada se ha desviado del punto de ajuste, esto es, la perturbación se debe propagar por todo el proceso antes de que el controlador pueda compensarla. Algunos de los lazos de control relacionados se muestran a continuación:

1.- **Lazo Sencillo:** Es el ejemplo más sencillo de lazo de control y solo relaciona a una variable de entrada con una de salida.

Fig. D.1 Lazo Sencillo

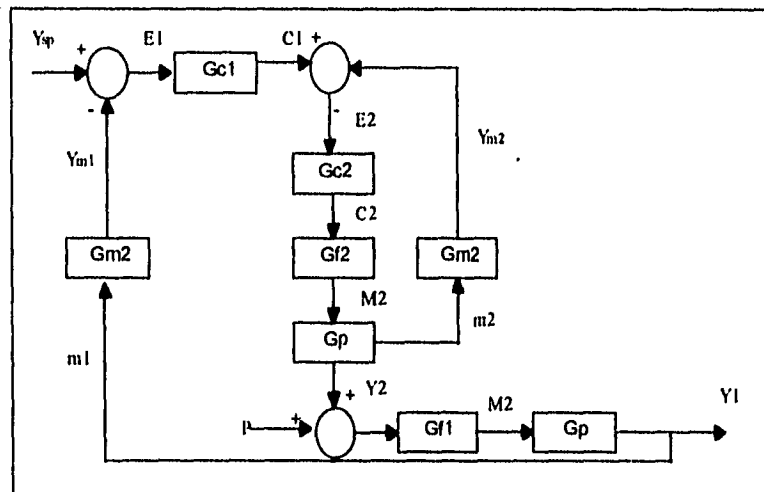


Perry, México 1992

2.- **Lazo de Control en Cascada:** Uno de los métodos más utilizados para reducir al mínimo las perturbaciones que entran en un proceso lento es el control en cascada o de circuitos múltiples. En lugar de ajustar el elemento de control final la salida del controlador primario se usa como punto de ajuste para el controlador secundario. El circuito de control secundario sólo abarca una porción del proceso total y por lo tanto es un sistema de control menor; de modo que el controlador se puede ajustar para dar una respuesta más rápida. Por lo general hay tres características principales que lo hacen eficaz: La constante de tiempo del

circuito secundario debe de ser menor que un tercio de la del circuito primario; el circuito secundario debe tener una perturbación importante; y la variable de proceso que se regula debe ser capaz de desplazar a la variable controlada primaria a su valor deseado. Un control en cascada un poco diferente es la técnica que consiste en utilizar sistemas de control por computadora, para reducir los ajustes manuales de funcionamiento del proceso los que representan parámetros de funcionamiento o calidad de ajuste del proceso.

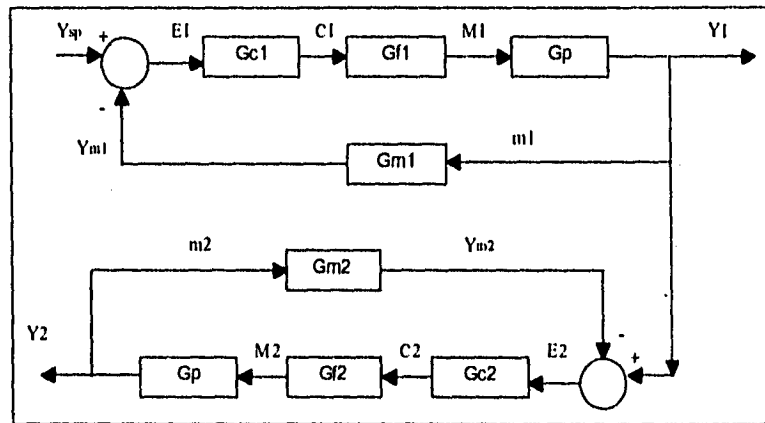
Fig. D.2 Lazo de Control en cascada



Perry, México 1992

Lazo de Control de Relación: Este lazo de control esta formado por dos lazos sencillos que interactuan por medio de una relación normalmente proporcional. La variable que presenta mayor variación es controlado en función de otra cuya variación es menor.

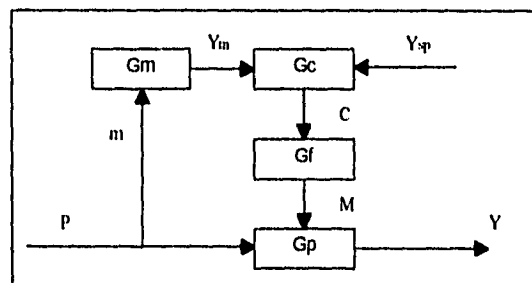
Fig. D.3 Control de Relación



Perry, México 1992

Control Prelimitado o Hacia Adelante: El objetivo de esta estrategia de control es medir las perturbaciones y compensarlas antes de que la variable controlada se desvíe del punto de ajuste; si se aplica de manera correcta, la variable controlada nunca se desvía. Antes de que el controlador pueda ejecutar cualquier acción de control primero debe de medir la(s) perturbación(es) que afecta(n) al sistema. Tiene como desventaja que cualquier perturbación adicional que no sea medida puede originar una desviación permanente de la variable controlada con respecto al punto de ajuste.

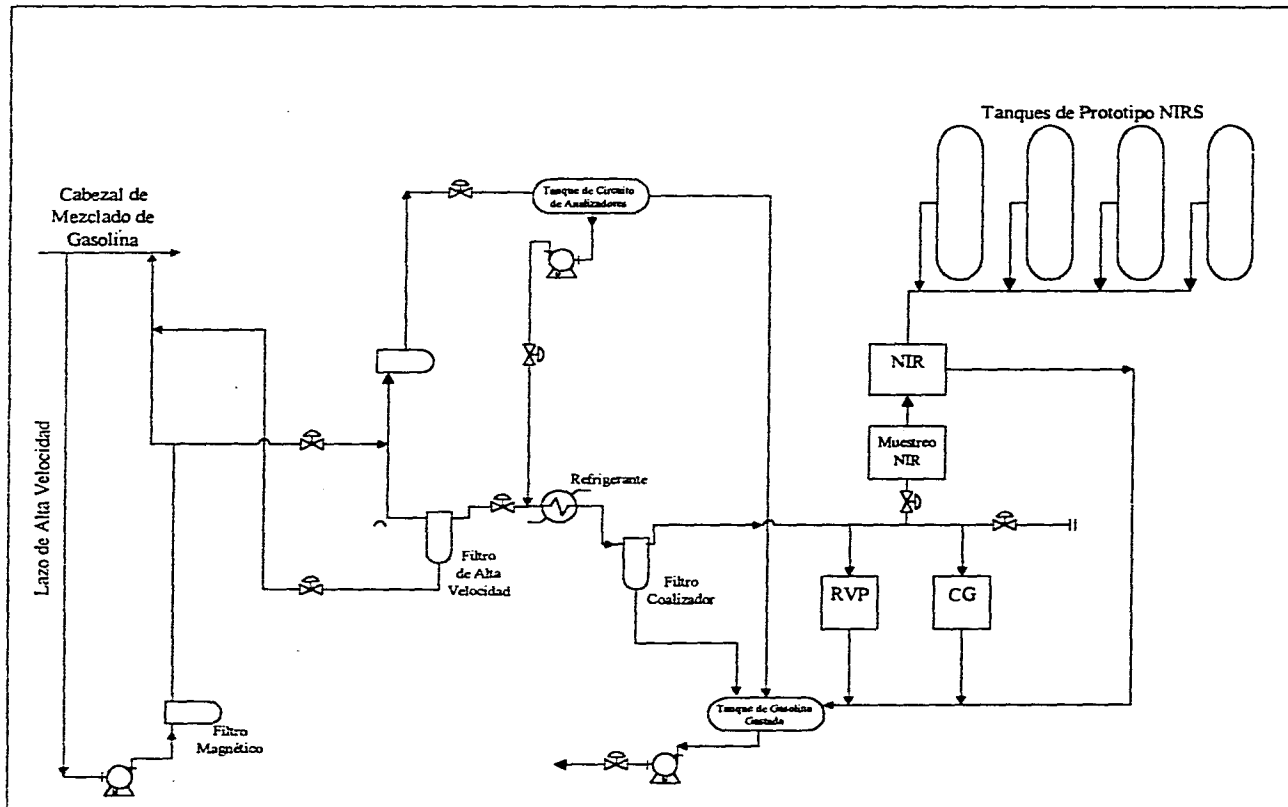
Fig. D.4 Lazo de Control Hacia Adelante



Perry, México 1992

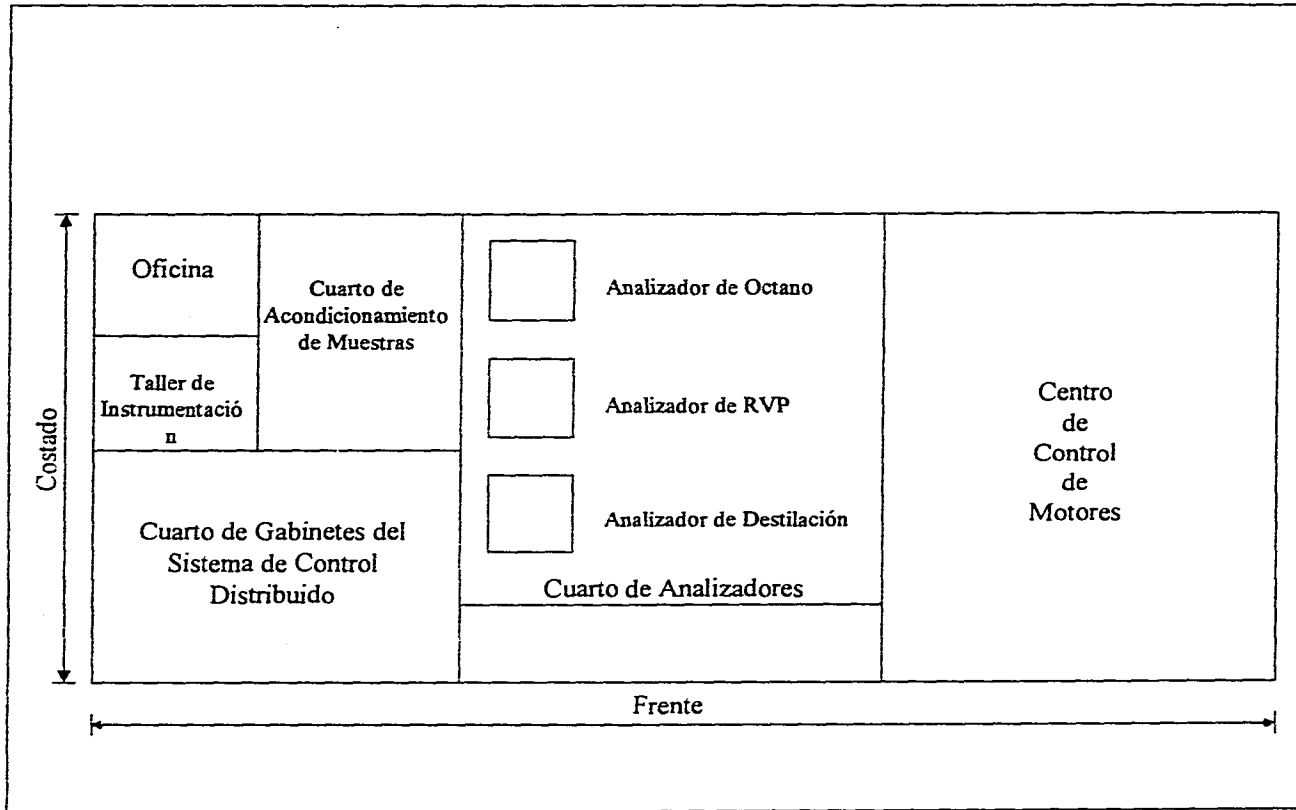
Claves para los Dibujos

Y_{sp} = Punto de ajuste	G_c = Función de proceso
Y = Variable en proceso	G_f = Función del elemento final
Y_m = Valor medido de Y	G_c = Función del controlador
E = Error	G_m = Función del medidor
C = Salida del controlador	X1 = Circuito primario
P = Perturbación	X2 = Circuito secundario
M = Variable manipulada	
m = Medición	



Apéndice E
Diagrama de Flujo para el Sistema de Analizadores

SENDEN. México 1993



Apéndice F
Arreglo Esquemático del Cuarto de Analizadores

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
2	Hoja 1																				
3	1.- Definición de Características de los Posibles Componentes de la Mezcla.																				
4	Instrucciones: Verifique si los componentes a utilizar se encuentran en la lista; si no añadidos al final de la lista con todas sus características.																				
5	Siga en orden ascendente el número de hoja y luego el número de sección																				
6	Num	Nombre	Pc (15/15)	PVR (psi)	RON	IRON 1	IRON 2	MON	IMON 1	IMON 2	IBP	10% (°C)	30% (°C)	50% (°C)	70% (°C)	90% (°C)	FBP (°C)	S/BBL	Cont. S (%)	Dist Max (ft)	Dist Min (ft)
7	1	n-Butano	0.5868	58.4	94.2	95.0	95.4	89.6	90.5	90.6	-3.9	-1.7	0.0	1.1	2.2	3.9	5.6	11.97	0.0027	1.550	3.100
8	2	Isomero C5/C6	0.6476	16.3	88.4	89.3	89.0	81.6	81.7	81.9	28.9	35.0	39.4	42.2	48.9	58.9	72.2	26.18	0.0075	2.940	5.880
9	3	Gasolina LSR	0.6665	13.3	74.1	75.7	74.1	72.1	74.3	72.3	29.4	40.0	46.7	51.7	61.1	73.3	86.7	22.61	0.0155	1.530	3.060
10	4	Nafta SR	0.6981	9.1	66.4	66.9	66.5	66.4	66.9	66.6	28.9	38.9	61.7	73.3	85.6	106.1	148.9	20.60	0.0170	280	560
11	5	Gasolina Natural	0.6713	12.4	72.8	72.9	72.8	70.5	70.8	70.8	32.2	40.6	46.7	55.0	68.9	96.7	135.0	16.90	0.0149	260	520
12	6	Gasolina FCC	0.7531	7.1	92.1	92.8	92.9	80.7	81.5	81.3	27.8	53.3	73.9	104.4	140.0	185.6	237.8	26.60	0.0759	10.125	20.250
13	7	Gas Lig. FCC	0.7071	9.9	92.6	94.1	93.4	80.8	82.2	81.3	27.8	47.2	57.2	72.2	93.9	125.6	168.3	26.69	0.0289	5.185	10.370
14	8	Gas. Pes. FCC	0.8076	2.6	91.9	93.0	92.2	81.3	82.4	81.5	71.1	106.7	128.9	152.8	165.6	196.1	232.2	26.66	0.0748	3.710	7.420
15	9	Alquilato	0.6928	9.0	92.7	93.6	92.7	90.5	90.3	90.8	28.9	52.2	86.7	104.4	114.4	156.1	202.8	28.16	0.0030	5.815	11.630
16	10	Alquilato Ligero	0.6953	7.9	93.9	94.8	93.9	91.2	91.0	91.3	35.0	60.6	89.4	101.7	106.7	116.7	161.7	28.45	0.0035	3.10	620
17	11	Reformado	0.8012	5.3	97.7	97.8	97.7	87.4	87.7	87.4	37.8	76.1	104.4	124.4	142.8	167.8	210.0	28.45	0.0055	10.305	20.610
18	12	Reformado Ligero	0.7347	7.9	82.8	82.8	82.8	77.5	77.6	77.5	37.8	58.3	71.7	83.3	95.6	113.9	138.9	24.73	0.0010	605	1.210
19	13	Reformado Pesado	0.8565	1.3	104.9	104.9	104.9	92.6	92.7	92.6	115.6	130.0	142.8	148.3	160.0	175.0	196.1	30.31	0.0006	2.695	5.390
20	14	Dimero	0.6959	6.5	97.0	97.0	97.0	82.0	82.0	82.0	56.1	57.8	58.9	60.0	65.6	71.1	187.8	27.53	0.0001	70	140
21	15	Poligasolina	0.7256	13.0	94.2	94.2	94.2	82.0	82.5	82.5	38.9	110.0	127.8	134.4	139.4	146.7	170.0	27.19	0.0070	140	280
22	16	Gasolina Hidrocr	0.6601	13.0	82.4	83.6	82.4	79.5	82.3	79.7	32.2	40.6	47.2	51.7	59.4	71.1	82.2	24.97	0.0010	1.215	2.430
23	17	Gas Lig. Coquizal	0.7054	10.5	74.5	74.5	74.5	71.0	71.0	71.0	31.1	46.7	66.7	85.6	104.4	122.8	148.9	22.51	0.0900	340	680
24	18	Gasolina TC	0.8756	9.4	96.1	96.1	96.1	83.4	83.4	83.4	93.3	120.0	137.8	151.1	165.6	190.0	221.1	27.61	0.0000	145	290
25	19	Refinado	0.7079	2.3	55.1	57.3	55.1	55.8	58.0	55.8	88.9	91.1	91.1	91.7	92.2	94.4	125.0	17.32	0.0050	570	1.140
26	20	Benzeno	0.8844	3.2	108.8	108.8	108.8	93.3	93.3	93.3	78.9	79.4	80.0	80.0	80.0	80.6	81.1	31.00	0.0055	0	0
27	21	Tolueno	0.8702	1.3	120.1	118.5	119.3	103.5	100.7	102.8	106.7	108.3	108.9	108.9	109.4	110.0	34.22	0.0001	325	650	
28	22	Aromáticos C6	0.8789	0.3	106.5	107.8	107.7	100.7	97.8	99.6	127.8	133.3	135.6	135.6	136.7	137.8	165.6	31.76	0.0001	135	270
29	23	Aromáticos C9	0.8681	0.1	109.7	112.2	112.1	99.3	99.3	100.3	157.8	160.6	161.7	162.8	163.9	166.1	189.4	32.03	0.0001	0	0
30	24	Aromáticos C10	0.8816	0.1	108.0	109.4	109.3	94.6	94.3	94.9	175.6	177.8	180.0	181.7	183.9	188.3	213.9	31.07	0.0001	0	0
31	25	Aromáticos Pesado	0.8662	1.3	105.4	106.4	106.5	94.1	92.7	93.9	98.9	123.9	140.6	153.9	165.0	179.4	207.2	31.07	0.0130	225	450
32	26	Metanol	0.7962	4.6	133.0	133.0	133.0	99.0	99.0	99.0	64.4	64.4	64.4	64.4	64.4	64.4	64.4	35.48	0.0000	0	0
33	27	Etanol	0.7939	2.3	133.0	133.0	133.0	102.0	102.0	102.0	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	35.93	0.0000	0	0
34	28	MTBE	0.7400	7.8	118.3	119.5	119.4	101.3	102.0	103.1	50.6	53.9	54.4	55.0	56.1	57.8	74.4	33.62	0.0000	0	600
35	29	TBA	0.8107	1.8	115.3	113.2	113.3	109.7	104.7	106.4	82.2	82.2	82.2	82.2	82.2	82.2	82.2	34.43	0.0000	0	0
36	30	Gasolina Primaria	0.6665	6.0	53.5	53.8	54.0	51.4	51.7	52.0	29.4	40.0	46.7	51.7	61.1	73.3	86.7	22.61	0.0155	4.150	8300
37	31	Gasolina FCC	0.7559	6.0	90.0	90.6	91.0	89.1	89.5	89.0	42.2	69.1	86.7	109.8	133.1	169.1	212.8	26.7	0.0599	11000	22000
38	32	Gasolina Reforma	0.7975	6.0	92.5	93	94.0	90.0	91.0	92.0	63.7	88.1	106.3	118.7	132.8	152.2	181.7	27.8	0.0034	11475	22950
39	33	N-Oil	0.7108	6.0	54.5	55	56.0	53.0	53.4	54.0	47.5	83.9	93.3	97.2	102.5	108.9	178.9	27.4	0.0036	900	1800
40	34	Gasolina TCC	0.7905	6.0	89.5	89.7	90.0	87.6	87.8	88.0	62.2	83.3	102.2	118.3	135.0	156.4	185.0	25.1	0.0450	4680	9360
41	35	Isomero	0.6941	15.0	61.0	61.5	62.0	60.5	60.9	61.0	31.9	56.4	88.1	103.1	110.6	136.4	182.2	28.3	0.0033	4325	8650
42	36																				

Apéndice G Despliegue de las Fórmulas Utilizadas en el GASMEZC

X	Y	Z	AA	AB	AC
1	Hoja 2				
2	Instrucciones: Para el llenado de esta hoja rec				
3					
4	1.- Selección de los Componentes a Utilizar				
5	Nutz:Nombre	Pe (15/15)	PVR (psi)	RON	IRON 1
6	30 =VLOOKUP(X6.A6:P127.2)	=VLOOKUP(X6.A6:P127.3)	=VLOOKUP(X6.A6:P127.4)*1.25	=VLOOKUP(X6.A6:P127.5)	=VLOOKUP(X6.A6:P127.6)
7	31 =VLOOKUP(X7.A6:P127.2)	=VLOOKUP(X7.A6:P127.3)	=VLOOKUP(X7.A6:P127.4)*1.25	=VLOOKUP(X7.A6:P127.5)	=VLOOKUP(X7.A6:P127.6)
8	32 =VLOOKUP(X8.A6:P127.2)	=VLOOKUP(X8.A6:P127.3)	=VLOOKUP(X8.A6:P127.4)*1.25	=VLOOKUP(X8.A6:P127.5)	=VLOOKUP(X8.A6:P127.6)
9	33 =VLOOKUP(X9.A6:P127.2)	=VLOOKUP(X9.A6:P127.3)	=VLOOKUP(X9.A6:P127.4)*1.25	=VLOOKUP(X9.A6:P127.5)	=VLOOKUP(X9.A6:P127.6)
10	35 =VLOOKUP(X10.A6:P127.2)	=VLOOKUP(X10.A6:P127.3)	=VLOOKUP(X10.A6:P127.4)*1.25	=VLOOKUP(X10.A6:P127.5)	=VLOOKUP(X10.A6:P127.6)
11	36 =VLOOKUP(X11.A6:P127.2)	=VLOOKUP(X11.A6:P127.3)	=VLOOKUP(X11.A6:P127.4)*1.25	=VLOOKUP(X11.A6:P127.5)	=VLOOKUP(X11.A6:P127.6)
12	36 =VLOOKUP(X12.A6:P127.2)	=VLOOKUP(X12.A6:P127.3)	=VLOOKUP(X12.A6:P127.4)*1.25	=VLOOKUP(X12.A6:P127.5)	=VLOOKUP(X12.A6:P127.6)
13	36 =VLOOKUP(X13.A6:P127.2)	=VLOOKUP(X13.A6:P127.3)	=VLOOKUP(X13.A6:P127.4)*1.25	=VLOOKUP(X13.A6:P127.5)	=VLOOKUP(X13.A6:P127.6)
14	36 =VLOOKUP(X14.A6:P127.2)	=VLOOKUP(X14.A6:P127.3)	=VLOOKUP(X14.A6:P127.4)*1.25	=VLOOKUP(X14.A6:P127.5)	=VLOOKUP(X14.A6:P127.6)
15	36 =VLOOKUP(X15.A6:P127.2)	=VLOOKUP(X15.A6:P127.3)	=VLOOKUP(X15.A6:P127.4)*1.25	=VLOOKUP(X15.A6:P127.5)	=VLOOKUP(X15.A6:P127.6)
16					
17					
18					
19	2.- Características Deseadas para la Gasolina				
20	Gasolina	MON	RON	PON	PVR
21					(psi)
22	Nova-Plus		81		17
23					
24	3.- Balance de Materiales				
25	Componente	Vol. Min	Vol. Máx	Volumen	% Vol
26		(BBL)	(BBL)	(BBL)	
27	1 =Y6	=VLOOKUP(X6.A6:U127.20)	=VLOOKUP(X6.A6:U127.21)	8300	=AB27/AB37
28	2 =Y7	=VLOOKUP(X7.A6:U127.20)	=VLOOKUP(X7.A6:U127.21)	21123.6534786299	=AB28/AB37
29	3 =Y8	=VLOOKUP(X8.A6:U127.20)	=VLOOKUP(X8.A6:U127.21)	11475	=AB29/AB37
30	4 =Y9	=VLOOKUP(X9.A6:U127.20)	=VLOOKUP(X9.A6:U127.21)	1800	=AB30/AB37
31	5 =Y10	=VLOOKUP(X10.A6:U127.20)	=VLOOKUP(X10.A6:U127.21)	2698.7579898188	=AB31/AB37
32	6 =Y11	=VLOOKUP(X11.A6:U127.20)	=VLOOKUP(X11.A6:U127.21)	0	=AB32/AB37
33	7 =Y12	=VLOOKUP(X12.A6:U127.20)	=VLOOKUP(X12.A6:U127.21)	0	=AB33/AB37
34	8 =Y13	=VLOOKUP(X13.A6:U127.20)	=VLOOKUP(X13.A6:U127.21)	0	=AB34/AB37
35	9 =Y14	=VLOOKUP(X14.A6:U127.20)	=VLOOKUP(X14.A6:U127.21)	0	=AB35/AB37
36	10 =Y15	=VLOOKUP(X15.A6:U127.20)	=VLOOKUP(X15.A6:U127.21)	0	=AB36/AB37
37	Total	20000	65000	=SUM(AB27:AB36)	=SUM(AC27:AC36)
38					
39					
40					
41					

	AD	AE	AF	AG	AH	AI
1						
2						
3						
4						
5	MON	[MON 1	[BP (°C)	10% (°C)	30% (°C)	50% (°C)
6	=VLOOKUP(X6.A6:P127.8)	=VLOOKUP(X6.A6:P127.9)	=VLOOKUP(X6.A6:P127.11)	=VLOOKUP(X6.A6:P127.12)	=VLOOKUP(X6.A6:P127.13)	=VLOOKUP(X6.A6:P127.14)
7	=VLOOKUP(X7.A6:P127.8)	=VLOOKUP(X7.A6:P127.9)	=VLOOKUP(X7.A6:P127.11)	=VLOOKUP(X7.A6:P127.12)	=VLOOKUP(X7.A6:P127.13)	=VLOOKUP(X7.A6:P127.14)
8	=VLOOKUP(X8.A6:P127.8)	=VLOOKUP(X8.A6:P127.9)	=VLOOKUP(X8.A6:P127.11)	=VLOOKUP(X8.A6:P127.12)	=VLOOKUP(X8.A6:P127.13)	=VLOOKUP(X8.A6:P127.14)
9	=VLOOKUP(X9.A6:P127.8)	=VLOOKUP(X9.A6:P127.9)	=VLOOKUP(X9.A6:P127.11)	=VLOOKUP(X9.A6:P127.12)	=VLOOKUP(X9.A6:P127.13)	=VLOOKUP(X9.A6:P127.14)
10	=VLOOKUP(X10.A6:P127.8)	=VLOOKUP(X10.A6:P127.9)	=VLOOKUP(X10.A6:P127.11)	=VLOOKUP(X10.A6:P127.12)	=VLOOKUP(X10.A6:P127.13)	=VLOOKUP(X10.A6:P127.14)
11	=VLOOKUP(X11.A6:P127.8)	=VLOOKUP(X11.A6:P127.9)	=VLOOKUP(X11.A6:P127.11)	=VLOOKUP(X11.A6:P127.12)	=VLOOKUP(X11.A6:P127.13)	=VLOOKUP(X11.A6:P127.14)
12	=VLOOKUP(X12.A6:P127.8)	=VLOOKUP(X12.A6:P127.9)	=VLOOKUP(X12.A6:P127.11)	=VLOOKUP(X12.A6:P127.12)	=VLOOKUP(X12.A6:P127.13)	=VLOOKUP(X12.A6:P127.14)
13	=VLOOKUP(X13.A6:P127.8)	=VLOOKUP(X13.A6:P127.9)	=VLOOKUP(X13.A6:P127.11)	=VLOOKUP(X13.A6:P127.12)	=VLOOKUP(X13.A6:P127.13)	=VLOOKUP(X13.A6:P127.14)
14	=VLOOKUP(X14.A6:P127.8)	=VLOOKUP(X14.A6:P127.9)	=VLOOKUP(X14.A6:P127.11)	=VLOOKUP(X14.A6:P127.12)	=VLOOKUP(X14.A6:P127.13)	=VLOOKUP(X14.A6:P127.14)
15	=VLOOKUP(X15.A6:P127.8)	=VLOOKUP(X15.A6:P127.9)	=VLOOKUP(X15.A6:P127.11)	=VLOOKUP(X15.A6:P127.12)	=VLOOKUP(X15.A6:P127.13)	=VLOOKUP(X15.A6:P127.14)
16						
17						
18		Curva de Destilación (°C)				
19		10% max	50%		90% max	FBP
20	9.5	70	77	121	190	225
21						
22						
23	Peso	%W		4.- Aspectos Económicos		
24	(Kg)			Precio	Costo	
25	=AB27*1590.2*Z6	=AD25/AD35		(\$/BBL)	(\$)	
26	=AB28*1590.2*Z7	=AD26/AD35		=AM6	=AH25*AB27	
27	=AB29*1590.2*Z8	=AD27/AD35		=AM7	=AH26*AB28	
28	=AB30*1590.2*Z9	=AD28/AD35		=AM8	=AH27*AB29	
29	=AB31*1590.2*Z10	=AD29/AD35		=AM9	=AH28*AB30	
30	=AB32*1590.2*Z11	=AD30/AD35		=AM10	=AH29*AB31	
31	=AB33*1590.2*Z12	=AD31/AD35		=AM11	=AH30*AB32	
32	=AB34*1590.2*Z13	=AD32/AD35		=AM12	=AH31*AB33	
33	=AB35*1590.2*Z14	=AD33/AD35		=AM13	=AH32*AB34	
34	=AB36*1590.2*Z15	=AD34/AD35		=AM14	=AH33*AB35	
35	=SUM(AD25:AD34)	=SUM(AE25:AE34)		=AM15	=AH34*AB36	
36				=A13*VAB37	=SUM(AI25:A134)	
37				Precio de Venta (\$/BBL)	=AK20	
38				Ingreso Total (\$)	=A136*AB37	
39				Ganancia Neta (\$)	=A137-A135	
40						
41						

	AJ	AK	AL	AM	AN
1					
2					
3					
4					
5	70% (°C)	90% (°C)	FBP (°C)	S/BBL	S (%vol)
6	=VLOOKUP(X6,A6:Q127,15)	=VLOOKUP(X6,A6:R127,16)	=VLOOKUP(X6,A6:S127,17)	=VLOOKUP(X6,A6:T127,18)	=VLOOKUP(X6,A6:U127,19)
7	=VLOOKUP(X7,A6:Q127,15)	=VLOOKUP(X7,A6:R127,16)	=VLOOKUP(X7,A6:S127,17)	=VLOOKUP(X7,A6:T127,18)	=VLOOKUP(X7,A6:U127,19)
8	=VLOOKUP(X8,A6:Q127,15)	=VLOOKUP(X8,A6:R127,16)	=VLOOKUP(X8,A6:S127,17)	=VLOOKUP(X8,A6:T127,18)	=VLOOKUP(X8,A6:U127,19)
9	=VLOOKUP(X9,A6:Q127,15)	=VLOOKUP(X9,A6:R127,16)	=VLOOKUP(X9,A6:S127,17)	=VLOOKUP(X9,A6:T127,18)	=VLOOKUP(X9,A6:U127,19)
10	=VLOOKUP(X10,A6:Q127,15)	=VLOOKUP(X10,A6:R127,16)	=VLOOKUP(X10,A6:S127,17)	=VLOOKUP(X10,A6:T127,18)	=VLOOKUP(X10,A6:U127,19)
11	=VLOOKUP(X11,A6:Q127,15)	=VLOOKUP(X11,A6:R127,16)	=VLOOKUP(X11,A6:S127,17)	=VLOOKUP(X11,A6:T127,18)	=VLOOKUP(X11,A6:U127,19)
12	=VLOOKUP(X12,A6:Q127,15)	=VLOOKUP(X12,A6:R127,16)	=VLOOKUP(X12,A6:S127,17)	=VLOOKUP(X12,A6:T127,18)	=VLOOKUP(X12,A6:U127,19)
13	=VLOOKUP(X13,A6:Q127,15)	=VLOOKUP(X13,A6:R127,16)	=VLOOKUP(X13,A6:S127,17)	=VLOOKUP(X13,A6:T127,18)	=VLOOKUP(X13,A6:U127,19)
14	=VLOOKUP(X14,A6:Q127,15)	=VLOOKUP(X14,A6:R127,16)	=VLOOKUP(X14,A6:S127,17)	=VLOOKUP(X14,A6:T127,18)	=VLOOKUP(X14,A6:U127,19)
15	=VLOOKUP(X15,A6:Q127,15)	=VLOOKUP(X15,A6:R127,16)	=VLOOKUP(X15,A6:S127,17)	=VLOOKUP(X15,A6:T127,18)	=VLOOKUP(X15,A6:U127,19)
16					
17					
18	Precio				
19	(Pesos/L)	(S/BBL)			
20	2.54	=105.752/7.4*AJ20			
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					
33					
34					
35					
36					
37					
38					
39					
40					
41					

Apéndice G Despliegue de las Fórmulas Utilizadas en el GASMEZC











	AK	AL
22	5.- Características Finales del Producto	
23	Propiedad	Valor
24	Pe (15/15)	$=AC25*Z6+AC26*Z7+AC27*Z8+AC28*Z9+AC29*Z10+AC30*Z11+AC31*Z12+AC32*Z13+AC33*Z14+AC34*Z15$
25	MON	$=AC25*AE6+AC26*AE7+AC27*AE8+AC28*AE9+AC29*AE10+AC30*AE11+AC31*AE12+AC32*AE13+AC33*AE14+AC34*AE15$
26	RON	$=AC25*AC6+AC26*AC7+AC27*AC8+AC28*AC9+AC29*AC10+AC30*AC11+AC31*AC12+AC32*AC13+AC33*AC14+AC34*AC15$
27	PON	$=AVERAGE(AL25:AL26)$
28	PVR (psi)	$=AC25*AA6+AC26*AA7+AC27*AA8+AC28*AA9+AC29*AA10+AC30*AA11+AC31*AA12+AC32*AA13+AC33*AA14+AC34*AA15)*0.8$
29	Destilación	
30	10% (°C)	$=AC25*AG6+AC26*AG7+AC27*AG8+AC28*AG9+AC29*AG10+AC30*AG11+AC31*AG12+AC32*AG13+AC33*AG14+AC34*AG15$
31	50% (°C)	$=AC25*A16+AC26*A17+AC27*A18+AC28*A19+AC29*A110+AC30*A111+AC31*A112+AC32*A113+AC33*A114+AC34*A115$
32	90% (°C)	$=AC25*AK6+AC26*AK7+AC27*AK8+AC28*AK9+AC29*AK10+AC30*AK11+AC31*AK12+AC32*AK13+AC33*AK14+AC34*AK15$
33	FBP (°C)	$=AC25*AL6+AC26*AL7+AC27*AL8+AC28*AL9+AC29*AL10+AC30*AL11+AC31*AL12+AC32*AL13+AC33*AL14+AC34*AL15$
34	S (%vol)	$=AC25*AN6+AC26*AN7+AC27*AN8+AC28*AN9+AC29*AN10+AC30*AN11+AC31*AN12+AC32*AN13+AC33*AN14+AC34*AN15$
35	S/BBL	$=AC25*AM6+AC26*AM7+AC27*AM8+AC28*AM9+AC29*AM10+AC30*AM11+AC31*AM12+AC32*AM13+AC33*AM14+AC34*AM15$
36		
37	Restricciones al Modelo	
38	AB25:AB35<=AA25:AA35	
39	AB25:AB35>=Z25:Z35	
40	AL26<=AA20-0.5	
41	AL26>=AA20-0.5	
42	AL28<=AD20	
43	AL28>=AC20	
44	AL30<=AE20	
45	AL31<=AG20	
46	AL31>=AF20	
47		

Apéndice G Despliegue de las Fórmulas Utilizadas en el GAS/MEXC

APÉNDICE H

Simbología Empleada para los Diagramas de Flujo

Indicador	Significado
FIC	Indicador Controlador de Flujo
PIC	Indicador Controlador de Presión
NO	Analizador de Número de Octano
PVR	Analizador de Presión de Vapor
DES	Analizador de Curva de Destilación

Equipos	Equipos
 Válvula choc	 Válvula Motorizada
 Válvula Selenoid	 Válvula de Diafragma
 Inyector	 Eductor
 Indicador	 Medidor de Flujo
 Bomba	 Filtro

Bibliografía General.

- 1) ANIQ. Anuario Estadístico de la industria Química.
ANIQ. México 1991.
- 2) Baird, C. T. Petroleum Products Blending.
HPI Consultants, USA 1989.
- 3) Gary, J. H. & Handwerk, G. E. Petroleum Refining.
Marcel Dekker Inc. 3rd edition. USA 1994.
- 4) Gary, J. H. & Handwerk, G. E. Refino de Petróleo.
Reverte S. A. 2^o edición. España 1982.
- 5) Kirk-Othmer. Encyclopedia of Chemical Technology.
Vol. 12. John Wiley & Sons. 4th edition. USA 1994.
- 6) Luyben, W. L. Process Modeling, Simulation and Control for Chemical Engineers.
McGraw-Hill Publishing Company, USA 1989.
- 7) Nelson, W. L. Petroleum Refinery Engineering.
McGraw Hill. USA 1968.
- 8) PEMEX. Memorias de Labores 1991.
Petróleos Mexicanos, México 1992.
- 9) Perry, Manual del Ingeniero Químico.
McGraw-Hill, México 1992.
- 10) SENDEN. Proyectos de Automatización.
México 1993.
- 11) Smith C. Control Automático de Procesos.
Limusa, México 1995.

Publicaciones.

- 1) Alpert, N. Net Energy from Future Motor Fuels.
Hydrocarbon Processing 56(7) 99-101 (1977)
- 2) Andrews, J. W. & Otros. Gasoline Pool: What it Needs.
Hydrocarbon Processing 54(5) 69-73 (1975)
- 3) Babier, J. C. Save Energy When Making Gasoline.
Hydrocarbon Processing 56(9) 85-96 (1977)
- 4) Csikos, R. & Otros. Low-Lead Fuel with MTBE and C₄ Alcohols.
Hydrocarbon Processing 55(7) 121-125 (1976)
- 5) Crandall, J. A. How to Choose an On-line Analytical System.
Hydrocarbon Processing 74(2) 69-74 (1995).
- 6) Douaud, A. Tomorrow's Engines and Fuels.
Hydrocarbon Processing 74(2) 55-61 (1995)
- 7) Feldman, M. B. & Rangnow, D. G. Modern Gasoline Economics.
Hydrocarbon Processing 61(12) 69-72 (1982)
- 8) Floris, T. & Pecci, G. Ether ups Antiknock of Gasoline.
Hydrocarbon Processing 56(12) 98-102 (1977)
- 9) Global Gasoline Survey Charts, Unleaded, Aromatics Usage.
Hydrocarbon Processing 74(7) 23 (1995)
- 10) Harbert, W. D. Jug Gives On-line Bottom Blends.
Hydrocarbon Processing 58(1) 139-140 (1979).
- 11) Hatch, L. F. & Matar, S. From Hydrocarbons to Petrochemicals. Part 1.
Hydrocarbon Processing 56(5) 191-196 (1977)
- 12) Hatch, L. F. & Matar, S. From Hydrocarbons to Petrochemicals. Part 2.
Hydrocarbon Processing 56(6) 189-194 (1977)
- 13) Hatch, L. F. & Matar, S. From Hydrocarbons to Petrochemicals. Part 3.
Hydrocarbon Processing 56(5) 191-201 (1977)
- 14) Hatch, L. F. & Matar, S. From Hydrocarbons to Petrochemicals. Part 4
Hydrocarbon Processing 56(5) 151-155 (1977)

- 15) Hatch, L. F. & Matar, S. From Hydrocarbons to Petrochemicals. Part 5
Hydrocarbon Processing 56(5) 165-173 (1977)
- 16) Ignatius, J., Järvelin, H. & Lindqvist P.
Use TAME and Heavier Ethers to Improve Gasoline Properties.
Hydrocarbon Processing 74(2) 51-53 (1995)
- 17) Latour, P. R. On-line Computer Optimization 1: What it is an Where to do it.
Hydrocarbon Processing. 58(6) 73-82 (1979).
- 18) Latour, P. R. On-line Computer Optimization 2: Benefits and Implementation.
Hydrocarbon Processing. 58(7) 219-223 (1979).
- 19) Manzanillas, F. La Refinería de Tula: una Realización de Ingeniería y
Tecnología Mexicanas. Revista del Instituto Mexicano del Petróleo
8(2) 21-37 (1976)
- 20) Mayor Consumo de Gasolinas Obliga a Expandir Plantas.
Petróleo Internacional 40(Julio) 15-16 (1982)
- 21) Palmer, R. E. & Otros. Use Integrated Approach to Product in-Line Blending.
Hydrocarbon Processing. 74(2) 62-66 (1995).
- 22) Sullivan, T. L. Refinery Wide Blending Control and Optimization.
Hydrocarbon Processing. 69(5) 93-96 (1990).