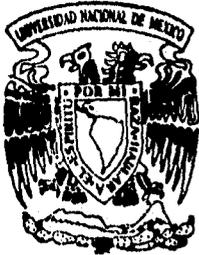


00568

3
27



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA
División de Estudios de Posgrado

Desarrollo de la Tecnología de Proceso que
Permita la Disminución de Contaminantes
en la Gasolina Catalítica (FCC).

T E S I S

Que para obtener el grado de
MAESTRO EN INGENIERIA QUIMICA

p r e s e n t a (Ingeniería
de Proyectos)

ALFONSO M. ^{martin} PEREZ ARELLANO
L



México, 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE QUÍMICA
DIRECCIÓN

LIC. ANTONIO DÍAZ GARCÍA
Jefe de la Unidad de Registro e Información.
Ciudad Universitaria
Presente.

Me es grato informarle que el alumno ALFONSO PÉREZ ARELLANO, presentará próximamente su examen para obtener el grado de Maestría en Ingeniería Química (Ingeniería de Proyectos) ante el siguiente jurado:

Presidente:	Dr. Julio Landgrave Romero
Primer Vocal	M. en I. Alejandro Anaya Durand
Secretario:	Dr. Constantino Alvarez Fuster
Primer Suplente:	Dr. Sergio Trejo Martínez
Segundo Suplente:	M. en C. Helio Humberto Garcia del Río

Sin otro particular de momento, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Ciudad Universitaria, D. F., 28 de agosto de 1996.

DR. ANDONI GARRITZ RUIZ
Director.

INDICE

	Pág.
Resumen.	vii
Objetivo y alcance.	ix
Capítulo 1 Identificación del problema o necesidad.	1
1.1 Descripción del proceso de desintegración catalítica fluida de gasóleos (FCC)	1
1.1.1 Proceso de desintegración catalítica	4
1.1.2 Tipo de carga	7
1.1.3 Efecto de las variables de operación	10
1.1.4 Química del proceso de FCC	14
1.2 Especificaciones internacionales, nacionales, actuales y futuras de gasolinas	16
Capítulo 2 Descripción de la idea y análisis del problema.	24
Capítulo 3 Propuesta de solución.	27
3.1 Parte experimental a nivel laboratorio	27
3.2 Parte experimental a nivel planta piloto	29
Capítulo 4 Resultados experimentales.	32
4.1 Fraccionamiento de la gasolina de FCC	32
4.2 Identificación de cortes a diferentes temperaturas de ebullición	39
4.3 Selección del corte ligero, intermedio y pesado de la gasolina de FCC	41
4.4 Propiedades y utilización del corte ligero seleccionado	43
4.5 Propiedades del corte intermedio	45
4.6 Integración del corte ligero con la fracción intermedia	47
4.7 Hidrodesulfuración del corte pesado	48
4.8 Selección de las condiciones óptimas de operación y tipo de catalizador en el hidrotratamiento del corte pesado	50
4.9 Integración final de la gasolina FCC, que incluye a la fracción ligera, intermedia y el corte pesado hidrodesulfurado	50
4.10 Formulación de la gasolina Magna Sin que cumpla las futuras especificaciones de calidad ecológica	51

	Pág.
Capítulo 5 Desarrollo de tecnología.	54
5.1 Simulación de equipos claves de la planta FCC	54
5.1.1 Extracción lateral de C5 de la torre desbutanizadora	55
5.1.2 Instalación de una torre despentanizadora con extracción lateral de gasolina ligera	57
5.1.3 Extracción lateral de gasolina pesada del fraccionador principal	60
5.1.4 Extracción lateral de gasolina pesada del fraccionador principal, utilizando empaques para incrementar la eficiencia de la separación	63
5.1.5 Instalación de una torre despentanizadora seguida de una torre separadora de gasolinas	66
5.2 Innovación Tecnológica	69
Capítulo 6 Factibilidad técnica de aplicación industrial de la innovación tecnológica en México.	73
6.1 Esquema actual de refinación (hasta 1996)	73
6.2 Esquema futuro de refinación (1996 al 2000)	78
6.3 Desarrollo del proceso y su integración al esquema de refinación	80
Beneficios.	84
Conclusiones.	85
Bibliografía.	88
Anexos :	
1 Definición de tecnología y de innovación tecnológica	95
2 Descripción de la metodología para la innovación tecnológica	100
3 Influencia del desarrollo tecnológico en el crecimiento económico de las sociedades modernas	109
4 Distribución de hidrocarburos en la gasolina de FCC	113

Indice de Tablas

Tabla	Descripción	Pág.
1.1	Principales propiedades de los componentes que integran una gasolina	2
1.2	Composición del pool de gasolina sin plomo	3
1.3	Rendimientos típicos en procesos de conversión	3
1.4	Capacidad de procesamiento en refinerías	4
1.5	Rendimientos obtenidos en la destilación de diferentes aceites crudos	8
1.6	Características de gasóleos carga al proceso de FCC	8
1.7	Distribución de azufre en los productos del proceso de FCC	9
1.8	Distribución de azufre en los productos de FCC, manteniendo constante las condiciones de operación de la unidad catalítica	9
1.9	Comparación en la desintegración de gasóleos normales e hidrotratados en las unidades FCC	10
1.10	Reacciones presentes en el proceso de FCC	14
1.11	Propiedades de la gasolina catalítica	15
1.12	Especificaciones ecológicas de agencias gubernamentales	17
1.13	Medidas de la "100 acciones necesarias de ecología"	18
1.14	Formulación de gasolina en 1996	23
3.1	Propiedades de la gasolina catalítica empleada	28
3.2	Propiedades de los catalizadores empleados	30
3.3	Propiedades de las corrientes típicas que integran a la gasolina Magna Sin	31
3.4	Formulación de gasolina Magna Sin en la refinería "Miguel Hidalgo"	31
4.1	Propiedades de los minicortes de la gasolina de FCC	33
4.2	Octano característico de los compuestos presentes en una gasolina	38
4.3	Fraccionamiento de la gasolina de FCC en cortes integrados	39
4.4	Propiedades de los cortes seleccionados de la gasolina de FCC	42
4.5	Distribución de hidrocarburos en la fracción ligera	43
4.6	Plantas orientadas a elevar la calidad de la gasolina, contempladas en el paquete ecológico	45
4.7	Formulación de gasolina Magna Sin utilizando la fracción comprendida del 30 al 80% volumen de la gasolina de FCC	46
4.8	Gasolina Magna Sin utilizando la fracción comprendida del TIE al 80% volumen de la gasolina de FCC	47
4.9	Propiedades del corte pesado hidrodesulfurado a condiciones de destilados intermedios	51

Tabla	Descripción	Pág.
4.10	Propiedades de la gasolina de FCC integrada	52
4.11	Propiedades de la gasolina Magna Sin utilizando la gasolina de FCC obtenida del presente estudio	53
5.1	Simulación de la torre desbutanizadora original	56
5.2	Simulación de la extracción de pentanos en torre desbutanizadora	58
5.3	Torre despentanizadora con extracción lateral de gasolina ligera	60
5.4	Extracción lateral de gasolina pesada del fraccionador principal	62
5.5	Extracción lateral de gasolina pesada del fraccionador principal, utilizando empaques para incrementar la eficiencia de la separación	66
5.6	Recuperación del corte 170-220 °C, utilizando empaques estructurados en el fraccionador principal de la unidad FCC	68
5.7	Torre despentanizadora con fraccionadora de gasolina - Torre despentanizadora	69
5.8	Torre despentanizadora con fraccionadora de gasolina - Torre fraccionadora de gasolina	70
5.9	Resultados del fraccionamiento y flujos de productos de la columna fraccionadora	71
5.10	Resumen de las simulaciones realizadas a las diversas alternativas.	72

Índice de figuras

Figura	Descripción	Pág.
1.1	Diagrama de proceso de una planta de desintegración catalítica	5
1.2	Reactividad atmosférica de hidrocarburos	20
1.3	Formulación básica de gasolina sin plomo (1995)	22
4.1	Distribución de compuestos de azufre en la gasolina de FCC	34
4.2	Distribución de compuestos de nitrógeno en la gasolina de FCC	35
4.3	Distribución de olefinas, aromáticos y saturados en la gasolina de FCC	35
4.4	PVR en hidrocarburos y oxigenados	36
4.5	Comportamiento de la PVR en la gasolina de FCC	37
4.6	Comportamiento del octano (RON y MON) en la gasolina de FCC	39
4.7	Comportamiento del azufre y el octano en diferentes cortes de la gasolina de FCC	40
4.8	Contenido de olefinas y aromáticos en diferentes cortes de la gasolina de FCC	41
4.9	Distribución de olefinas C4 y C5 en la gasolina de FCC	44
4.10	Esquema propuesto para la fracción ligera	46
4.11	Hidrotratamiento de la fracción pesada de la gasolina de FCC a condiciones de nafta amarga	48
4.12	Hidrotratamiento de la fracción pesada de la gasolina de FCC a condiciones de destilados intermedios	49
4.13	Esquema de proceso para mejorar la calidad de la gasolina de FCC	52
5.1	Condiciones de diseño de la fraccionadora principal y de la torre desbutanizadora de la unidad de FCC	55
5.2	Esquema de torre desbutanizadora con extracción lateral de pentanos	57
5.3	Instalación de una torre despentanizadora con extracción lateral de gasolina ligera	59
5.4	Extracción lateral de gasolina pesada del fraccionador principal	61
5.5	Cambio de platos por empaques en la fraccionadora principal de la unidad FCC	65
5.6	Instalación de una torre despentanizadora seguida de una torre separadora de gasolinas	68

Figura	Descripción	Pág.
6.1	Esquema de refinación para la elaboración de gasolina Magna Sin. - Refinería de Salina Cruz, Oax. y Tula Hgo.	74
6.2	Esquema de refinación para la elaboración de gasolina Magna Sin. - Refinería de Cadereyta, N.L.	75
6.3	Esquema de refinación para la elaboración de gasolina Magna Sin. -Refinería de Salamanca, Gto.	76
6.4	Esquema de refinación para la elaboración de gasolina Magna Sin. -Refinería de Cd. Madero, Tamps.	77
6.5	Esquema de refinación para la elaboración de gasolina Magna Sin. -Refinería de Minatitlán, Ver.	78
6.6	Aplicación del esquema de proceso en las refinerías de Tula, Hgo. Y Salina Cruz, Oax.	81
6.7	Aplicación del esquema de proceso en las refinerías de Salamanca, Gto., Minatitlán, Ver. y Cadereyta, N.L.	82

Resumen.

El 35 por ciento en volumen de las gasolinas obtenidas en el sistema de Pemex - Refinación provienen de las unidades de desintegración catalítica fluida (FCC). Sin embargo, la concentración de azufre en estas gasolinas fluctúa entre 2000 y 3000 ppm, lo que limita la integración de esta corriente para la formulación de la gasolina Magna Sin.

Los objetivos de la tesis son los de definir un proceso para obtener una gasolina catalítica de menos de 600 ppm de azufre, sin disminuir el octano característico de esta fracción y cumplir con las especificaciones futuras de calidad ecológica impuestas por agencias internacionales de protección ambiental (CAAA, EPA, CARB*, etc.), al mezclar esta fracción con las demás corrientes que forman la gasolina Magna Sin.

En este trabajo, se inicia con una descripción del proceso de desintegración catalítica fluida, como se afecta la calidad y rendimiento por sus condiciones de operación, catalizador y aditivos en la gasolina de FCC; así como, un panorama internacional referente a las especificaciones futuras de las gasolinas reformuladas.

Posteriormente se aborda el análisis del problema y su posible solución con base en la aplicación de una metodología de innovación tecnológica que permita obtener los parámetros para la realización de un estudio experimental que tiene su fundamento en la presencia específica y diferente de contaminantes para cada uno de los cortes potenciales en que se puede dividir a cualquier gasolina, de manera que si se selecciona en forma óptima los puntos de fraccionamiento se podrá optimizar por ende el contenido de contaminantes de los cortes resultantes. La investigación se dividió en dos niveles: el primero a nivel laboratorio que contempla la identificación y distribución de los hidrocarburos y contaminantes presentes en la gasolina, y el segundo a nivel piloto, en la cual por medio de catalizadores selectivos comerciales y experimentales se disminuirá el contenido de azufre de la gasolina catalítica.

* CAAA.- Clean Air Act Amendment.
EPA.- Environmental Protection Agency.
CARB.- California Air Resources Board.

Con base en los resultados experimentales obtenidos se desarrolla una propuesta de innovación tecnológica que aunada a la simulación de proceso determinará la factibilidad técnica de aplicarlo a los esquemas futuros de refinación de **Petróleos Mexicanos**.

Se incluye una sección de beneficios técnicos y económicos de la utilización de la innovación tecnológica; las conclusiones de la aplicación industrial y de los resultados sobresalientes del estudio, además de la bibliografía relacionada con el tema.

Objetivo y alcance.

El objetivo de la tesis es la de definir un proceso innovador para la formulación de una gasolina que cumpla las especificaciones futuras de calidad ecológica impuestas por agencias internacionales y nacionales de protección ambiental, utilizando la mayor cantidad posible de gasolina catalítica (100% de la producción nacional) para la elaboración de este energético.

El alcance de la tesis contempla el desarrollo de la tecnología de proceso para la elaboración de gasolina catalítica con menos de 600 ppm-peso de azufre total (nivel planta piloto), las adecuaciones necesarias en las unidades de FCC y de hidrodesulfuración de destilados intermedios para la implementación de este proceso a las plantas actuales (simulación de proceso) y la factibilidad técnica de aplicación en un esquema de refinación nacional.

1.- Identificación del problema o necesidad

El proceso innovador es parte de la identificación de una necesidad y del escenario requerido para poder satisfacer esta problemática. En el caso de la gasolina, ésta se relaciona con la contaminación ambiental y con los adelantos técnicos en los procesos de elaboración. El primero es más estricto actualmente, tanto en el área de refinación de hidrocarburos, como en la fabricación y diseño de automóviles y aditamentos (convertidores catalíticos) que permitan reducir las emisiones provocadas por la combustión de los hidrocarburos al medio ambiente. Los segundos están orientados a la elaboración de este tipo de combustible a partir de fracciones pesadas del petróleo por un lado y por el otro a la formación de compuestos oxigenados de alto octano.

El proceso de desintegración catalítica es una de las tecnologías que aprovechan las fracciones pesadas del petróleo para la elaboración de grandes cantidades de gasolina (35% del volumen total de la gasolina comercial a nivel nacional), pero su calidad ecológica es mínima debido al alto contenido de contaminantes presentes como azufre, nitrógeno, olefinas y aromáticos; de ahí la importancia de identificar las posibles innovaciones en este proceso para cumplir las reglamentaciones ambientales sin afectar el rendimiento y las características propias de la gasolina catalítica.

Para situarnos en un escenario que permita tomar decisiones de innovación tecnológica requerimos en primer lugar conocer las características del proceso de desintegración catalítica de gasóleos (FCC) y en segundo lugar las tendencias mundiales y nacionales en lo que respecta al control ambiental, y en base a este escenario plantear los posibles caminos de solución que nos permita por un lado cumplir con las normas ecológicas futuras y por otro lado disponer de avances tecnológicos acordes a los requerimientos nacionales.

1.1.- Descripción del proceso de desintegración catalítica fluida de gasóleos (FCC)

En las sociedades modernas la principal aplicación de los combustibles derivados de la refinación del petróleo se destina al sector transporte, ya que alrededor del 99% de la energía primaria utilizada para este fin tiene su origen en el petróleo. (1 y 2)

En México, los combustibles con mayor demanda en el transporte automotriz son la gasolina y el diesel, produciéndose además el gasavión y la turbosina para la transportación aérea.

Tradicionalmente, el nombre genérico de gasolina se utiliza para designar a una mezcla compleja de hidrocarburos que, destilan entre 30 y 220 °C, se utiliza como combustible en los motores tipo Otto. Esta definición comprende a hidrocarburos de cualquier tipo (parafinas, olefinas, naftenos y aromáticos) con una estructura

entre 4 y 11 átomos de carbono. Puede comprobarse que en el caso de los hidrocarburos, aun siendo todos ellos de origen petrolífero, solamente una pequeña proporción se extrae directamente del crudo. La mayor parte de los componentes son resultado de procesos que transforman en gasolinas diversas corrientes generadas en la refinación del petróleo; estos son: destilación primaria del petróleo crudo, isomerización, polimerización, reformación catalítica, alquilación, hidrodeseintegración térmica y deseintegración catalítica, principalmente. (3)

La tabla 1.1 presenta los componentes típicos que se utilizan en la mezcla (pool) de gasolinas, donde puede apreciarse el complejo proceso de elaboración del producto terminado.(4)

Tabla 1.1.- Principales propiedades de los componentes que integran una gasolina (5)

PROPIEDADES	RON ¹	MON	BENCENO %	AROMATICOS %	OLEFINAS %
COMPONENTES					
Hidrocarburos naturales					
BUTANOS	95	93	0	0	5
NAFTA PRIMARIA	68	66	1,5	2,5	0,8
ISOPENTANO	92	89	0	0	0
Hidrocarburos modificados					
ISOMERIZACION	88	85	1	1,4	0,7
REFORMACION	98-104	87,5-93	3-4,5	63-85	0,2-0,3
Hidrocarburos deseintegrados					
FCC	92	81	3	30	28
COQUIZACION	75	68	0,5	5	35
PIROLISIS					
Hidrocarburos condensados					
DIMERIZACION	95	81	0	0,1	98
POLIMERIZACION					
ALQUILACION	96	92	0	0,5	0,5
Compuestos oxigenados					
MTBE	118	100	0	0,1	0,5
TAME	113	100	0	0,1	0,5
METANOL	130	105	0	0	0
ETANOL	135	105	0	0	0

La elaboración de gasolinas en cada país (tabla 1.2) depende de tres factores: de los esquemas de refinación, de los adelantos tecnológicos y principalmente a la demanda de los diferentes productos derivados del petróleo. En base a lo anterior las empresas petroleras se han enfocado principalmente a la disminución de residuos y al incremento de fracciones ligeras, para lo cual se han desarrollado procesos que permiten convertir aquellas corrientes que se destinan a combustóleo, principalmente residuo atmosférico, en otros productos aptos para ser utilizados como combustibles de automotores (gasolina y diesel).

¹ RON.- Número de octano de investigación
MON.- Número de octano de motor

Tabla 1.2.- Composición del pool de gasolina sin plomo (6-8)

COMPONENTES	E. E. U.U. % vol.	EUROPA ESPAÑA, % vol	MEXICO % vol
BUTANOS	5	6	0
NAFTA PRIMARIA	9	0	3.2
ISOMERIZACION	5	4	10
GASOLINA DE FCC REFORMADO	35	43	34
	32	36	44
MTBE	2	7	7
ALQUILADO	12	4	1.8

Esta tendencia ha sido generalizada, aunque tanto los adelantos tecnológicos adoptados, así como el ritmo y amplitud de la conversión, ha variado por países, de acuerdo fundamentalmente con su situación financiera y económica. Los principales procesos para disminuir residuales y que producen gasolinas son la desintegración catalítica fluida (FCC), Coquización retardada y la Hidrodesintegración térmica de residuos entre otros. En la tabla 1.3 se reportan los rendimientos típicos de estos procesos, en donde se pueden observar las ventajas que representa la desintegración catalítica en comparación con otros procesos de conversión.

Tabla 1.3.- Rendimientos típicos en procesos de conversión (9)

	FCC	COQUIZACION RETARDADA	HIDROCRaqueo
ALIMENTACIÓN			
GASOLEO DE VACIO	100	0	100
RESIDUO DE VACIO	0	100	0
PRODUCTOS	%	%	%
HIDROGENO	0.05	0.1	-2.5
AC. SULFHDRIICO	0.35	1.0	2.0
GAS LP	3.0	4.7	0.5
PROPANO	2.0	1.0	2.0
PROPILENO	4.5	0.55	0.0
N-BUTANO	1.1	0.65	1.7
I-BUTANO	4.3	0.15	3.4
N-BUTENOS	5.0	0.0	0.0
I-BUTENO	2.1	0.65	0.0
GASOLINA LIGERA	38.8	6.5	10.4
GASOLINA PESADA	14.0	18.1	29.4
QUEROSINA	0.0	0.0	17.5
GASOLEO	14.0	21.0	30.6
RESIDUO	5.6	24.4	5.0
COQUE	0.0	30.0	0.0
PERDIDAS	0.0	0.0	0.0

La importancia actual del proceso de desintegración catalítica fluida, es tal que las unidades de este tipo representan el corazón de las refinerías de hoy en día. Este proceso aporta grandes volúmenes de gasolinas de alto octano y Gas LP producidos a partir de corrientes de bajo valor comercial, contribuyendo al aprovechamiento integral del aceite crudo (tabla 1.4). Por esta razón es que las tendencias en el mundo entero se dirigen hacia la optimización tanto del proceso como de los catalizadores y aditivos utilizados.

tabla 1.4.- Capacidad de procesamiento en refinerías. Barriles por día (10-11)

País	Crudo procesado	Coquizadora	Hidrocrackeo	FCC
Bélgica	630,500	0	0	102,000
Dinamarca	176,500	0	0	0
Francia	1,875,970	0	13,500	319,200
Grecia	384,500	0	0	50,500
Italia	2,450,200	29,500	59,000	278,300
España	1,285,000	13,500	15,000	184,000
Inglaterra	1,803,100	60,000	21,000	442,000
Alemania	1,518,200	60,300	96,200	179,400
EEUU	16,118,812	1,501,500	1,169,090	5,333,100
Canadá	1,855,800	36,400	206,350	387,600
México	1,354,000	9,000	18,000	267,000
Total Refinado	29,452,382	1,710,200	1,598,140	7,823,100
% Procesado	100	5.8	5.4	26.5

La desintegración se ha definido como un fenómeno por el cual, las moléculas de hidrocarburos reducen su tamaño y se transforman en otras más pequeñas y de menor punto de ebullición; paralelamente, éstas reaccionan entre sí formando nuevos productos, los más estables se separan como gasolinas, mientras que los más reactivos se polimerizan dando como resultado aceites. La desintegración total conduce a la formación de gases y carbón. (12-14)

1.1.1.- Proceso de desintegración catalítica.

En la práctica, se considera como procesos de desintegración a los que tienen por objeto convertir a las fracciones pesadas del petróleo (con intervalos de temperaturas de ebullición de 200 a 560 ° C), en fracciones ligeras con mayor valor comercial. Un sistema de desintegración catalítica en lecho fluidizado emplea un catalizador en polvo para promover la reacción de desintegración; este polvo fluirá de un nivel alto a un bajo o de un recipiente de mayor a uno de menor presión. Por ejemplo, en el sistema reacción-regeneración de las unidades de FCC, el catalizador debe fluir del reactor elevador (riser) a través del separador y el agotador hacia el regenerador y de regreso al elevador (figura 1.1).

Los diseños de unidades de FCC generalmente están constituidos por tres secciones principales:

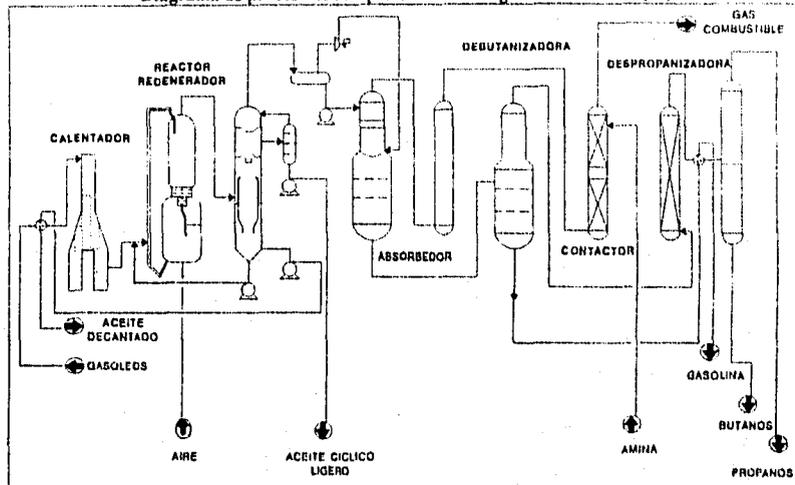
1.1.1.1.- Sección de Carga y Reacción

La carga a la planta, que es una mezcla de gasóleos producidos en la planta de destilación primaria, en la reductora de viscosidad y principalmente en la planta de alto vacío, es circulada a través de una serie de intercambiadores de calor carga/efluente, permitiendo el calentamiento de la misma y simultáneamente el enfriamiento de las corrientes de productos.

La carga fresca puede ser mezclada con corrientes de recirculación tales como el aceite cíclico pesado y los fondos de la fraccionadora (carga combinada). En el Riser (tubo elevador), esta corriente se mezcla con el catalizador regenerado caliente que vaporiza la carga y la lleva a la temperatura de reacción proporcionándole el calor necesario para la desintegración; siendo elevada -con

reacción catalítica simultánea- la mezcla de vapor-catalizador a la parte superior del Riser.

Figura 1.1
Diagrama de proceso de una planta de desintegración catalítica (15)



La mayor conversión se efectúa en el Riser, siendo empleado el reactor como separador de catalizador e hidrocarburos.

Los vapores de los hidrocarburos formados durante la desintegración, los inertes y el vapor de agotamiento del catalizador, fluyen hacia arriba en la cámara de separación y salen a través de cuatro juegos de ciclones de dos pasos en donde se retiene el catalizador.

Después de la separación del catalizador, los productos vaporizados son enviados a la sección de fraccionamiento. El catalizador gastado es pasado en contracorriente a un flujo de vapor en la zona de agotamiento, donde los hidrocarburos son eliminados del catalizador agotado.

1.1.1.2.- Sección de Regeneración

El catalizador agotado pasa al regenerador donde el carbón que se ha depositado durante la desintegración se quema para ser eliminado mediante combustión (para formar CO , CO_2 y H_2O) restaurando la actividad catalítica.

El catalizador regenerado, libre de coque, se recircula al sistema de reacción, siendo mezclado con la carga combinada y un nuevo ciclo es repetido.

También se efectúan adiciones de catalizador fresco de reposición para mantener la eficiencia de este, pudiendo así realizar purgas de catalizador envejecido o contaminado.

Los gases de combustión y algo de catalizador arrastrado son elevados fuera de la fase densa del regenerador a una zona de fase diluida, donde un juego de ciclones remueve y retorna el catalizador arrastrado dirigiendo los gases de combustión hasta la cámara plena en el domo del regenerador.

De la cámara plena los gases de combustión pasan a un quemador de CO en caso de existirlo. Aquí el CO puede ser completamente convertido a CO₂.

1.1.1.3.- Sección de Fraccionamiento

Los vapores que salen del convertidor entran a la fraccionadora.

En la base de la fraccionadora existe un asentador de lodos cónico, el catalizador se asienta en éste y de aquí se le extrae como un residuo espeso diluido con aceite cíclico pesado y es reciclado a la carga de alimentación al reactor.

El aceite decantado se extrae de la parte superior del asentador de lodos y se envía a realizar un intercambio de calor con la carga fresca al convertidor enviándose después a límite de batería con temperaturas más bajas.

De la parte media de la fraccionadora se extrae el aceite cíclico ligero y al igual que el aceite decantado se envía a límite de batería.

Los vapores (gasolina y ligeros) del domo de la fraccionadora fluyen hacia el absorbedor, por el domo se obtiene gas combustible después de ser puesto en contacto con amina para eliminar el ácido sulfhídrico; y por el fondo; una corriente de gasolina más ligeros, que se envía a la torre desbutanizadora para separar los propanos y butanos presentes en ella, los cuales son alimentados a la torre despropanizadora donde del domo se obtiene propano y del fondo butanos; del fondo de la desbutanizadora se obtiene gasolina que se envía a realizar un intercambio térmico con el efluente de la despropanizadora y posteriormente al "pool" de gasolina. (15-17)

Respecto a la calidad de la gasolina producida en las plantas catalíticas FCC, ésta dependerá en alto grado de las características de la carga y la severidad de operación; influyendo asimismo, el hidrotamiento al que pudo ser sometida dicha carga. Esta gasolina contiene normalmente un alto porcentaje de Olefinas (30%), de Aromáticos (30%) y azufre total (1500 a 3000 ppm), debido a las reacciones ocurridas entre el catalizador zeolítico y la carga utilizada. (18-20)

Para explicar en más detalle las características de la gasolina catalítica se requiere conocer la influencia del tipo de carga, el efecto de las variables de operación y la química del proceso de FCC; que a continuación se describirán.

1.1.2.- El tipo de carga es una de las variables que más afectan a la calidad de la gasolina obtenida del proceso de FCC; tanto en su contenido y distribución de contaminantes como en sus propiedades de ignición,² ya que dependiendo del origen del crudo a utilizar (parafínico, nafténico o aromático) se formarán en mayor o menor proporción compuestos de alto octano en el producto.

El origen del aceite crudo afecta directamente al proceso de FCC, ya que es más fácil desintegrar los parafínico que los nafténicos y aromáticos. Una forma de evaluar de que tipo es el gasóleo de carga es por medio de la gravedad API, temperatura de anilina y la temperatura de escurrimiento. Al incrementarse el contenido de parafinas en la alimentación a la unidad de desintegración, ésta presentará un menor rango de ebullición con lo cual el craqueo térmico será más fácil de realizar y los productos obtenidos; principalmente la gasolina incrementará los rendimientos y el octanaje, así como, presentará menor contenido de olefinas.

Otro parámetro para determinar el origen del crudo es el factor de caracterización "Kuop" que para las cargas a las plantas catalíticas oscila entre 11.5 a 12.5. Los valores menores indican cargas aromáticas y valores superiores indican cargas parafínicas. Un incremento de 0.1 en el valor del factor de caracterización produce un incremento de 0.6 a 0.7% volumen de gasolina para la misma conversión, una reducción en el número de octano de 0.4 y una reducción en la producción total de coque en el proceso de FCC. (21)

La carga al proceso de FCC proviene principalmente de la destilación del aceite crudo, el cual también puede clasificarse como ligero, pesado o mezcla de estos dos. En México se utiliza como alimentación a los sistemas de refinación una mezcla intermedia de crudos pesados-ligeros, y en promedio una tercera parte se convierte en gasolina, pero debido a que los crudos pesados presentan menor rendimiento de destilados y mayor concentración de contaminantes, al incrementarse en la alimentación de las refinerías el volumen de estos, la producción y calidad de los destilados tienden a disminuir (tabla 1.5). (22-23)

² Las propiedades de ignición se representan con el número de octano (RON y MON); mide las características antidetonantes de la gasolina. La tendencia antidetonante del combustible es comparada con mezclas de n-heptano (cero octano) e iso-octano (100 de octano). Se usa un motor estandarizado y condiciones de operación preestablecidas. El RON es medido a 600 r.p.m., mientras que el MON es determinado a 900 r.p.m. El porcentaje de iso-octano requerido en la mezcla para tener la misma detonación que el combustible en cuestión, es tomado como número de octano.

tabla 1.5.- Rendimientos obtenidos en la destilación de diferentes aceites crudos.(24-26)

FRACCION	RANGO DE EBULLICION TBP, °C	CRUDO LIGERO % vol.	CRUDO PESADO	
			A, % vol.	B, % vol.
GASOLINA	20 - 170	23.2	8.1	15.0
TURBOSINA	170 - 230	10.9	9.8	8.0
QUEROSINA	230 - 290	10.3	7.8	7.8
DIESEL	290 - 360	12.6	21.1	9.3
GASOLEO	360 - 540	23.4	26.3	24.1
RESIDUO	+540	19.6	26.8	36.0

Algunas características típicas de los gasóleos de carga al proceso de FCC se observan en la tabla 1.6; en donde, se comparan gasóleos provenientes del extranjero y los utilizados en las refinerías de México. En la tabla mencionada anteriormente se puede ver que los gasóleos nacionales presentan características similares a los utilizados en diferentes refinerías localizadas en el mundo. Cabe mencionar que el azufre presente en este hidrocarburo es superior al 1% peso en todos los casos; como una consecuencia, mucho del azufre presente en el aceite crudo es pasado a través de las unidades de FCC, con lo cual los productos obtenidos tienen la característica de un alto contenido de este contaminante, lo que provoca un incremento en las emisiones producidas por la combustión de estos hidrocarburos. A nivel internacional se han implementado procesos que disminuyen el contenido de azufre en los gasóleos, los cuales requieren elevados costos de operación e inversión; así como, grandes consumos de hidrógeno. (27)

tabla 1.6.- Características de gasóleos carga al proceso de FCC (28-32)

PROPIEDAD	W. Tex. Virgin	Kuwait	Calif. blend	Minatitlán	Tula	Salina Cruz	Cadereyta
gravedad API	24.0	23.4	25.9	21.5	27.7	24.2	23.4
Azufre, % peso	1.75	2.66	1.15	1.92	1.85	2.17	2.2
Nitrógeno, % peso	0.091	0.081	0.23	0.12	0.13	0.15	0.12
Carbón, % peso	0.48	0.37	0.09	0.52	0.32	0.29	0.25
Tem. Anilina, °C	82	78	74	73	79	82	76
Saturados, % Vol.	52.7	38.1	54.4				
Aromáticos, % Vol.	47.3	61.9	45.6				
Mono	22.5	30.5	13.0				
Di+	15.0	11.9	25.7				
1 anillo tiofenos	5.6	12.3	4.1				
2+3 anillo tiofenos	4.2	7.2	2.8				
Destilación, °C							
10/30	352/391	336/398	339/372	346/401	349/406	319/401	365/417
50/70	427/466	443/472	398/424	433/467	428/446	432/467	442/473
90/TFE	519/556	519/568	460/496	504/543	472/517	510/535	518/532

La distribución de azufre en los productos de FCC se puede observar en las tablas 1.7 y 1.8, en donde la mayor proporción de este compuesto se encuentra en el ácido sulfhídrico, y en el caso de los productos líquidos se puede decir que la mayor proporción se localiza en los aceites cíclicos y en menor cantidad se distribuye en la gasolina y en el coque del catalizador.

El azufre presente en la gasolina catalítica incluye a todos los tiofenos y benzotiofenos en el rango de ebullición de C5+ a 220 °C y la presencia de mayor concentración de anillos tiofénicos en los gasóleos incrementa el azufre en la gasolina de FCC. Un incremento de 1% peso del contenido de azufre en la carga original provoca un aumento del 7% volumen de gas seco, una pérdida del 3%

tabla 1.5.- Rendimientos obtenidos en la destilación de diferentes aceites crudos.(24-26)

FRACCION	RANGO DE EBULLICION TBP, °C	CRUDO LIGERO % vol.	CRUDO PESADO	
			A, % vol.	B, % vol.
GASOLINA	20 - 170	23.2	8.1	15.0
TURBOSINA	170 - 230	10.9	9.8	8.0
QUEROSINA	230 - 290	10.3	7.8	7.8
DIESEL	290 - 360	12.6	21.1	9.3
GASOLEO	360 - 540	23.4	26.3	24.1
RESIDUO	+540	19.6	26.8	36.0

Algunas características típicas de los gasóleos de carga al proceso de FCC se observan en la tabla 1.6; en donde, se comparan gasóleos provenientes del extranjero y los utilizados en las refinerías de México. En la tabla mencionada anteriormente se puede ver que los gasóleos nacionales presentan características similares a los utilizados en diferentes refinerías localizadas en el mundo. Cabe mencionar que el azufre presente en este hidrocarburo es superior al 1% peso en todos los casos; como una consecuencia, mucho del azufre presente en el aceite crudo es pasado a través de las unidades de FCC, con lo cual los productos obtenidos tienen la característica de un alto contenido de este contaminante, lo que provoca un incremento en las emisiones producidas por la combustión de estos hidrocarburos. A nivel internacional se han implementado procesos que disminuyen el contenido de azufre en los gasóleos, los cuales requieren elevados costos de operación e inversión; así como, grandes consumos de hidrógeno. (27)

tabla 1.6.- Características de gasóleos carga al proceso de FCC (28-32)

PROPIEDAD	W. Tex. Virgin	Kuwait	Calif. blend	Minatitlán	Tula	Salina Cruz	Cadereyta
gravedad API	24.0	23.4	25.9	21.5	27.7	24.2	23.4
Azufre, % peso	1.75	2.66	1.15	1.92	1.85	2.17	2.2
Nitrógeno, % peso	0.091	0.081	0.23	0.12	0.13	0.15	0.12
Carbón, % peso	0.48	0.37	0.09	0.52	0.32	0.29	0.25
Tem. Anilina, °C	82	78	74	73	79	82	78
Salurados, % Vol.	52.7	38.1	54.4				
Aromáticos, % Vol.	47.3	61.9	45.6				
Mono	22.5	30.5	13.0				
Di+	15.0	11.9	25.7				
1 anillo tiofenos	5.6	12.3	4.1				
2+3 anillo tiofenos	4.2	7.2	2.8				
Destilación, °C							
10/30	352/391	336/398	339/372	346/401	349/406	319/401	365/417
50/70	427/466	443/472	398/424	433/467	426/446	432/467	442/473
90/TFE	519/556	519/568	460/496	504/543	472/517	510/535	518/532

La distribución de azufre en los productos de FCC se puede observar en las tablas 1.7 y 1.8, en donde la mayor proporción de este compuesto se encuentra en el ácido sulfhídrico, y en el caso de los productos líquidos se puede decir que la mayor proporción se localiza en los aceites cíclicos y en menor cantidad se distribuye en la gasolina y en el coque del catalizador.

El azufre presente en la gasolina catalítica incluye a todos los tiofenos y benzotiofenos en el rango de ebullición de C5+ a 220 °C y la presencia de mayor concentración de anillos tiofénicos en los gasóleos incrementa el azufre en la gasolina de FCC. Un incremento de 1% peso del contenido de azufre en la carga original provoca un aumento del 7% volumen de gas seco, una pérdida del 3%

volumen de gasolina y una disminución de 1.2 a 1.5 en el número de octano. (35-36)

tabla 1.7.- Distribución de Azufre en los productos del proceso FCC (33-34)

Gasóleo	Azufre en el gasóleo, % peso	DISTRIBUCION DE AZUFRE, % CARGA				
		Acido sulfhídrico	Gasolina	ACL	Aceite Decantado	Coque
California	1.15	60.2	9.8	20.7	6.8	2.8
Kuwait	3.14	50.0	6.9	17.3	15.3	10.5
Kuwait	2.66	46.5	3.8	21.1	17.3	11.3
Wasi Texas	1.75	42.9	3.5	28	20.5	5.1
Kuwait HDS	0.55	33.6	2.3	21.2	15.2	27.7
W. Texas HDS	0.21	19.2	2.8	34.6	34.7	8.7

Los rendimientos y calidad de productos de las unidades de desintegración catalítica se pueden incrementar sustancialmente cuando la carga se somete previamente a un adecuado proceso de hidrotratamiento, además de disminuir considerablemente los contenidos de azufre, nitrógeno y metales; también puede modificar el carácter químico de los hidrocarburos que la componen, convirtiendo los compuestos aromáticos y nafténicos, difíciles de desintegrar, en parafinas cuya facilidad de desintegración es mayor.

tabla 1.8.- Distribución de azufre en los productos de FCC, manteniendo constante las condiciones de operación de la unidad catalítica. (27,32)

Carga	W. Texas	W. Texas	Gulfined	California	California
	G.O.	G.O.+VAC.	G.O.	BLEND	BLEND
Azufre, % peso	1.75	1.97	0.21	1.15	1.15
Conversión, % vol.	77.8	81.4	77.9	78.7	84.0
Distribución de azufre, % peso					
H2S	42.9	43.5	19.2	60.2	62.6
Gasolina					
ligera	0.2	2.0	0.9	1.6	1.4
pesada	3.3	4.9	1.9	7.9	6.9
Aceite ciclico	28.0	23.7	34.6	20.7	16.8
Aceite Decantado	20.5	17.5	34.7	6.8	6.5
Coque	5.1	8.4	6.7	2.8	5.6
Contenido de Azufre, % peso (ppm)					
Gasolina	0.14	0.29	0.01	(2155)	(1801)
ligera C5-120°C	0.02	0.12	0.01	(722)	(628)
pesada 120-220°C	0.25	0.65	0.02	(3700)	(3250)
Aceite ciclico	2.67	3.36	0.53	1.48	1.46
Aceite Decantado	4.20	4.44	1.35	1.68	1.64
Coque	2.23	2.07	0.49	0.52	0.65

La conversión total se incrementará debido a que la carga será más fácil de desintegrar. Se producirá más gasolina con bajo contenido de azufre. Así mismo, el aceite ciclico se podrá usar como diesel de mayor calidad (tabla 1.9). No obstante, el hidrotratamiento de cargas normales a FCC no es practicado comúnmente en virtud de los requerimientos de hidrógeno del propio proceso. Los costos de hidrotratamiento y producción o compra de hidrógeno son frecuentemente superiores a los beneficios obtenidos en la unidad FCC. (36-38)

Por último es importante evaluar el contenido de nitrógeno, sodio y metales presentes en las diferentes cargas de alimentación al proceso de FCC, ya que

estas desactivan el catalizador, disminuyen la conversión y selectividad del proceso. Lo que afecta directamente al rendimiento y calidad de la gasolina. (40)

tabla 1.9.- Comparación en la desintegración de gasóleos normales e hidrotratados en las unidades FCC.(37, 39)

	Gasóleo Normal	Gasóleo Hidrotratado
Carga a FCC		
Azufre total, % peso	1.97	0.16
Nitrógeno total, ppm	1320	436
Rendimientos		
Gasolina, % vol.	61.15	63.13
LPG, % vol.	23.90	26.39
Aceite Cíclico, %vol.	18.49	15.52
Aceite Decantado, % vol.	5.16	4.30
Coque, % peso	6.09	5.53
H ₂ S, % peso	0.71	0.04
Conversión a 221 °C, % vol.	76.36	80.18
Azufre total en productos		
Gasolina, % peso	0.1956	0.0150
Aceite Cíclico ligero, % peso	2.5785	0.2428
Aceite Decantado, % peso	3.9334	0.3725
RON en gasolina	91.2	90.6
MON en gasolina	80.1	79.9
Condiciones de operación en el HDS de gasóleos: Catalizador: IMP-DSD-3, LHSV=1, Tam=350°C, Presión=56 Kg/cm ² Condiciones de operación de la unidad FCC Temp.= 515, Relación Cat/Aceite= 5.6, CCR=0.3, CFR=1.05		

1.1.3.- Efecto de las variables de operación; estas están divididas en dos tipos: las variables independientes que se usan para controlar el proceso, y las variables dependientes, las cuales son consecuencia de las primeras y son una fuente de información para optimizar el proceso.

1.1.3.1.- Las variables independientes son:

1. Temperatura de reacción

Un incremento en la temperatura de reacción origina:

- Incremento en la relación catalizador/aceite,
- Incremento en la conversión, que implica un aumento en la producción de la fracción ligera (gases a gasolina), como regla general, por 4°C de aumento en la temperatura, se tiene un incremento de 1% en la conversión.
- Aumento en el octano de la gasolina; por cada 10° C se incrementa de 0.5 a 0.9 unidades de MON.
- Aumento en la producción de coque
- Disminuye la producción de aceite cíclico ligero y aceite decantado
- Aumenta el aire requerido para la regeneración

Limitantes para el incremento de la temperatura de reacción:

- Sobredesintegración de la carga
- Deficiencia de aire

- Deficiencia en el manejo de gases

2. Relación de recirculación (CFR)

El CFR está definido como el cociente entre la carga total al reactor y la carga fresca. Su valor de diseño para máxima producción de gasolina en una unidad orthoflow es 1.05.

Un incremento de CFR origina:

- Aumento en la conversión
- Disminución en la producción de ACL y decantado
- Aumento de la producción de gas húmedo
- Aumenta el aire requerido para la regeneración

Limitaciones:

- Debe considerarse que el aumento en la recirculación limita la cantidad de carga fresca al reactor, por lo que sólo es recomendable cuando no se dispone de carga para operar la unidad a máxima alimentación.
- Su efecto respecto al aumento en la producción de gasolina es apreciable solo a valores superiores al 10%
- La recirculación de lodos al reactor origina un considerable aumento en la producción de coque y gas. Por lo que su principal uso es como control de la temperatura del regenerador, cuando se trabaja con cargas que generan poco coque (cargas ligeras).

La recirculación de gasolina presenta las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas

- Incremento de 0.5 a 1.5 de RON y 0.3 a 0.6 de MON
- Permite un mejor control de la temperatura del regenerador

Desventajas

- Incrementa los volúmenes de gases
- El porcentaje de gasolina disminuye
- Se incrementa la producción de coque

La recirculación de aceite cíclico ligero nos presenta las siguientes ventajas

- Incremento del octano de la gasolina en 0.5 a 1 unidad de RON y de 0.3 a 0.7 unidades de MON
- La temperatura del regenerador disminuye

Desventajas

- Incremento del volumen de gases
- Disminuye el cetano del ACL
- Se incrementa la producción de coque

3. Temperatura de precalentamiento

La temperatura de precalentamiento puede ser usada como auxiliar en el control de la circulación de catalizador.

Si la circulación de catalizador es un factor limitante, un incremento en la temperatura de precalentamiento permitirá un aumento en la temperatura de reacción y, con ello un aumento en la conversión y reduce los requerimientos de aire a temperaturas de reacción constante. Un incremento de 50°C aumentara 1 unidad en el MON, sin embargo, una temperatura de precalentamiento baja es lo más deseable, ya que ello da por resultado altas relaciones catalizador/aceite y con ello una gran producción de gasolina.

4. Actividad del catalizador

La actividad del catalizador está determinada por el tipo de catalizador, el régimen de adición de catalizador fresco, la eficiencia de regeneración de la unidad y los contaminantes de la carga fresca.

Una actividad alta en el catalizador de equilibrio da lugar a:

- Conversión alta
- Alta producción de gasolina
- Baja producción de gas seco y gas húmedo
- Alta producción de coque
- Alto requerimiento de aire para la regeneración

En operaciones a nivel industrial es, algunas veces, difícil de determinar la razón de un cambio en la conversión de la unidad, el cual puede deberse a cambios en las condiciones de proceso, cambios en la calidad de la carga ó cambios en las características del catalizador.

Cuando se manejan cargas muy pesadas con alto contenido de carbón (Conradson o Ransbottom), debe disminuirse la actividad para controlar el aumento en la producción de carbón. Lo cual se realiza con la suspensión de la adición de catalizador fresco.

Cuando la carga sea muy ligera, es recomendable un aumento en la actividad para aumentar la producción de coque (adicionando catalizador fresco).

Si disminuye la producción de gasolina y gas licuado, debe aumentar la actividad del catalizador de equilibrio mediante adición e inclusive hacer sangrado de catalizador para mantener la actividad.

5. Régimen de carga fresca.

Un aumento en la cantidad de carga fresca al reactor, disminuye ligeramente la conversión, las principales limitantes para el aumento de carga fresca suelen ser:

- Deficiencia en el aire de regeneración.
- Limitación en el manejo de gases en la sección de ligeros

1.1.3.2.- Las variables dependientes son:

1.- Relación catalizador/aceite (C/O).

Se define como kilogramos de catalizador circulante dividido entre los kilogramos de carga total alimentada al reactor.

La variable C/O permite con mayor facilidad determinar el tipo y grado de desintegración. Una relación baja da una conversión baja; un aumento en la temperatura de reacción, aumenta la circulación de catalizador y, por lo tanto, la relación C/O, con lo cual aumenta la conversión. Una relación alta aumenta la selectividad de la desintegración (más gasolina y menos gas seco).

2.- Aire de regeneración.

El aire para la regeneración debe ser suficiente para asegurar la quema del coque hasta tener valores de 0.2% en peso de carbón en el catalizador regenerado. Una operación normal es aquella en que se tenga un exceso de oxígeno en los gases de combustión de 0.2%.

3.- Conversión.

La conversión es una medida de la cantidad de carga fresca que se convierte a gasolina y productos ligeros (líquidos), el valor de diseño para la unidad es de 75% y cuando la temperatura final de ebullición de la gasolina se mantiene constante, cualquier cambio en el valor de conversión indica un cambio en la intensidad de la reacción.

El incremento de la conversión influye directamente en la composición de la gasolina, ya que aumenta el contenido de aromáticos, y por cada 10% volumen

que se incremente la conversión hay un aumento de 0.8 unidades de MON.(41-44)

1.1.4.- Química del proceso de FCC. Las reacciones químicas que ocurren en el proceso de desintegración catalítica involucran la ruptura de los enlaces carbono-carbono de moléculas de hidrocarburos de cadena larga, con la formación de moléculas de cadena más corta.

Estas reacciones son catalizadas por ácidos y se llevan a cabo a través de mecanismos de formación de iones carbonio principalmente. Debido a su endotermicidad, son favorecidas por altas temperaturas. En general las reacciones químicas que se llevan a cabo se enuncian en la tabla 1.10.

tabla 1.10.- Reacciones presentes en el proceso de FCC

CARGA	PRODUCTO	REACCION
PARAFINAS	OLEFINAS + PARAFINAS PEQUEÑAS	DESINTEGRACION
OLEFINAS	OLEFINAS MAS PEQUEÑAS	DESINTEGRACION
ALQUIL AROMATICOS	AROMATICOS + OLEFINAS	DESINTEGRACION
ALQUIL AROMATICOS	AROMATICOS CON OLEFINAS + PARAFINAS	DESINTEGRACION
CICLOPARAFINAS	OLEFINAS	DESINTEGRACION
NAFTENOS + OLEFINAS*	AROMATICOS + PARAFINAS	TRANSFERENCIA DE HIDROGENO
NAFTENOS*	AROMATICO	DESHIDROGENACION
OLEFINAS*	ISO-OLEFINAS	ISOMERIZACION

* Reacciones secundarias

Las principales reacciones de desintegración son endotérmicas y termodinámicamente se ven favorecidas por incrementos de la temperatura y no están limitadas por el equilibrio químico bajo las condiciones de reacción a nivel industrial. Las reacciones secundarias, por el contrario se llevan a cabo en forma moderada. La magnitud del efecto térmico varía con la carga, el catalizador y las condiciones de operación. (45-51)

Las reacciones de sobredesintegración afectan negativamente el rendimiento de gasolina y las de transferencia de hidrógeno inducen la transformación de olefinas (alto octano) a parafinas (de menor octanaje) y aceleran la formación de coque. (52-53) Estas reacciones son promovidas por catalizadores de alta actividad, cuyos centros activos son numerosos, como es el caso de los catalizadores preparados con zeolita "Y" ácida (HY) y zeolita "Y" intercambiada con tierras raras (REY).

Si se reduce la cantidad de centros activos del catalizador, es posible modificar la selectividad disminuyendo las reacciones de sobredesintegración y transferencia de hidrógeno. Bajo este razonamiento fueron concebidos los catalizadores preparados a base de zeolitas ultraestables, las cuales tienen en su estructura un menor número de átomos de aluminio (mayor relación Si/Al), generando menor número de sitios con mayor fuerza ácida.

El ultraestabilizado de zeolitas a tamaños de celdas de 24.6 angstroms (A) promueve:

- Incremento en el número de octano RON y MON de 2.5 y 0.8 unidades respectivamente.
- Disminución del rendimiento de gasolina de 1.6% peso.
- Incremento de 1.4% peso de gas L.P. con mayor concentración de olefinas.
- Disminución de la producción de coque en 0.64% peso.

En base a la química del proceso se observa que la gasolina de FCC presenta un elevado contenido de olefinas de bajo peso molecular debido principalmente a las reacciones de desintegración, compuestos aromáticos ramificados y compuestos isomerizados en menor proporción; lo cual le confiere las propiedades características de esta corriente (tabla 1.11). (54-57)

tabla 1.11.- Propiedades de la gasolina catalítica.

Propiedades	Cd. Madero	Salamanca	Salina Cruz	Cadereyta
Azufre, % peso	0.078	0.18	0.2	0.25
RON/MON	88.7/79	92/79	91.4/79.6	92/80
TIE/10%	34/47	40/50	34/53	34/53
90%/TFE	143/185	186/224	200/230	186/220
PVR	11.8	8	9.5	7.8
Olefinas	25	26	33.8	21.8
Aromáticos	13	24	39.4	21.4

1.2.- Especificaciones internacionales, nacionales, futuras y actuales de gasolina.

La gasolina, como ya se mencionó; son productos obtenidos de la refinación del petróleo crudo, constituidos esencialmente por hidrocarburos y actualmente por pequeñas cantidades de productos de sustitución (compuestos oxigenados y aditivos). Una gasolina expendida en las estaciones de servicio está formulada con más de un centenar de elementos distintos.

Los hidrocarburos componentes de una gasolina son de diferentes tipos y formas, químicamente hablando. Las gasolinas pueden formularse con la combinación de cualesquiera de los cuatro grupos de hidrocarburos conocidos químicamente, éstos son: Parafinas, Olefinas, Naftenos y Aromáticos. La diferencia entre cada uno de estos grupos estriba en la relación de átomos de hidrógeno y carbón presentes en su molécula.

Como se citó, la gasolina es una mezcla de un centenar de estas especies de compuestos, estos varían desde el butano (una parafina con sólo 4 átomos de carbono en su estructura) hasta el metil naftaleno (un aromático que contiene 11 átomos de carbono). Las características de una gasolina en particular están fuertemente influenciadas por el tipo de hidrocarburos que contiene. La combustión del carburante (gasolina) en el motor de un vehículo proporciona la energía necesaria para su desplazamiento. Por tanto, el rendimiento del combustible será función directa de la calidad del carburante usado; lo anteriormente mencionado tiene una íntima relación con las especificaciones del producto, las que deben ser bien definidas y a su vez garantizadas por la empresa productora del energético.

En la actualidad en los centros de refinación se han implementado algunos cambios importantes en la formulación de las gasolinas para mejorar su calidad con mayores propiedades de eficiencia en su desempeño y a la vez cumplir con las exigencias de un combustible ecológico que contribuya a mantener el aire en su pureza original, ya que el gran aumento de transportes automotores ha sido una de las principales causas de la contaminación ambiental.

Por supuesto el cambio en la composición de la gasolina no es algo nuevo, las refinerías han alterado la composición de la gasolina en respuesta a los avances y cambios tecnológicos en la demanda del uso final de los productos. Sin embargo, los cambios composicionales recientes han sido y continuarán siendo manejados bajo las condiciones ambientales.

En Estados Unidos el primer cambio fue la introducción en alta escala de la gasolina sin plomo en los 70's, seguida por la fase descendente de los niveles de plomo en las gasolinas con plomo (1975-1985). Recientemente la Agencia de Protección al Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA) estableció regularizaciones a combustibles volátiles (1989). Las restricciones en los compuestos volátiles fueron implementadas en 1992 con el nombre de fase II de estas regulaciones. Estos programas tienen todo resuelto en los cambios composicionales de la gasolina.

Algunas áreas de Norteamérica han desarrollado combustibles oxigenados como una medida para reducir las emisiones de CO. Estas áreas han implementado programas que requieren la venta de combustibles oxigenados en ciertos meses del invierno. En noviembre de 1990 se designó la ley del aire limpio (Clear Air Act Amendments). Estas reformas representan la más comprensiva limpieza del aire en la historia. (59)

Hay también requerimientos dirigidos al ozono que tomó efectos en 1995. Estas regulaciones necesitarán la introducción de "Reformulación de Gasolinas" para lograr el adecuado control en el nivel de ozono. Claramente la adición de oxidantes y reformulación de gasolina inducirá a la promoción de los cambios composicionales en la misma.

El término Reformulación de los combustibles, significa la sustitución parcial o total de los compuestos e hidrocarburos indeseables, dentro de los que se encuentran un gran número con alto octano, por hidrocarburos o componentes alternos cuya afectación al medio ambiente sea mínima. Esto quiere decir que la meta final de la reformulación significará la producción de combustibles con octano limpio.

La introducción de la gasolina reformulada en los esquemas de producción de los Estados Unidos está relacionada con la disminución de emisiones impuestas por las agencias gubernamentales de control ambiental (EPA, CAAA, CARB) y se ha estado implementando en base a la aplicación de estas medidas a través del tiempo (a partir de 1990 hasta el año 2010). Estas medidas son observadas en la tabla 1.12 y se comparan con las especificaciones presentes en México.

Tabla 1.12.- Especificaciones ecológicas de agencias gubernamentales

Propiedades	EPA		CARB		SEDESOL	
	ACTUALES	FUTURAS	ACTUALES	FUTURAS	ACTUALES	FUTURAS
AZUFRE, ppm	300	150	150	40	1000	300
OLEFINAS, % VOL	10	6	10	6	15	12.5
AROMATICOS, % VOL	25	25	30	25	30	25
BENCENO, % VOL	1	1	2	0.8	4.9	2
PVR, psi	7-8	6	8.5	7	6.5-8.5	7
OXIGENO, % PESO	2	2	0	0	2	2.4
DESTILACION 90%, °C	190	180	166	149	190	190
DESTILACION 50%, °C	--	--	104	99	77-118	---

La estrategia en México, estudiando las experiencias obtenidas en otros países, se ha fijado en alcanzar el equilibrio entre el plomo y las corrientes de alto octano para que la resultante de los contaminantes generados durante la combustión ocasionen la mínima afectación a la salud. Por lo tanto, la gasolina sin plomo está encaminada a ser usada en los automotores con convertidor catalítico, mediante el cual se eliminan las cantidades de emisiones tóxicas generadas por algunos de los componentes de alto octano, mientras que para el parque vehicular que no dispone del adelanto tecnológico que representa el convertidor, se cuenta con una gasolina con bajo plomo (0.3 ml Tetra etilo de Plomo/galón) balanceada en sus componentes para proporcionar el octano requerido. (58)

Durante las dos primeras décadas del siglo XX no era determinante la calidad de la gasolina, pues el problema en aquel tiempo era producir cantidades suficientes para satisfacer la demanda, no importando el control ecológico del sistema. En 1972 se comenzaron a establecer medidas en cuanto a las emisiones contaminantes a la atmósfera, las cuales eran provocadas en su mayor cantidad por los procesos de combustión en fuentes fijas y en mayor grado en las móviles, que en conjunto significan alrededor del 90% de las emisiones contaminantes¹; pero debido al crecimiento urbano durante las últimas décadas, estas medidas no fueron satisfactorias por lo que se inició un programa intensivo de mejoramiento en la calidad de los combustibles a partir de 1986. En el programa se dieron a conocer 21 medidas las cuales están orientadas a lograr menores emisiones contaminantes por el uso de los combustibles. En enero de 1987, fue ampliado este programa mediante el documento llamado "Las 100 Acciones Necesarias de Ecología" que a grandes rasgos comprende las medidas observadas en la tabla 1.13 y que se basan principalmente en las premisas que definen los puntos de: Mejoramiento de la eficiencia de los procesos, Optimización del mantenimiento, Mejoramiento de combustibles y utilización de los avances tecnológicos. (61)

Tabla 1.13.- Medidas de las "100 Acciones Necesarias de Ecología"

SECTOR	MEDIDA
TRANSPORTE	Reestructuración del Sistema de Transporte Colectivo Aplicación de Tecnologías más Avanzadas Mejoramiento de Combustibles
ENERGIA, INDUSTRIA Y SERVICIO	Cambio de Combustibles en Plantas Termoeléctricas Cambio de Combustibles en Giros Menores Desconcentración Ambiental
FUENTES NATURALES	Reforestación y Control de Emisiones Antropogénicas

Estos programas no son específicos, ni únicos de nuestro país, ya que desde 1990 con el acuerdo para el Aire Limpio (CAAA) se fundaron las bases que dirigirán los cambios futuros en la composición de los combustibles en los EEUU y que han servido como pauta al resto del mundo.

¹ La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, define a la contaminación como: "La presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o de cualquier combinación de ellos que cause desequilibrio ecológico" y, se entiende por contaminante "toda materia o energía en cualquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o actuar, en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento natural, altere o modifique su composición y condición natural".

Se han establecido dos tipos de contaminantes del aire: los primarios, que son los emitidos como resultado de un proceso a nivel del suelo y están presentes en la atmósfera en su forma química original (CO, CO₂, SO_x, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos, plomo y partículas suspendidas); y secundarios, que son aquellos que se forman en la atmósfera como producto de alguna reacción que puede ser fotoquímica, catalítica, de oxidación, de hidrólisis, etc. (Ejemplos de ellos son: el ozono, los nitratos de peroxiacilo y la lluvia ácida). (60)

Uno de los principales problemas de la ciudad de México, es que está situada a 2240 metros de altitud y, por ende, el aire contiene menor cantidad de oxígeno que al nivel del mar. Un metro cúbico al nivel del mar contiene 275 gramos de oxígeno, mientras que el mismo volumen de aire en la ciudad de México contiene tan sólo 212 gramos de oxígeno (23 % menos).

En la combustión de la gasolina es muy importante la relación de oxígeno e hidrocarburos. El motor trabaja mejor con una relación de oxígeno a hidrocarburos ligeramente menor a la estequiométrica, es por esto que desde el punto de vista operativo siempre debe existir una emisión de contaminantes al ambiente, la cual se ha tratado de reducir por las operaciones del motor cada vez más en caliente, por un control aire-combustible más estricto a través de computadora por la aplicación de los inyectores de gasolina y turbocompresores de aire; por el uso de combustible sin plomo, lo cual permite el uso de convertidores catalíticos, y también por el uso de aditivos y otros elementos, los cuales contribuyen al abatimiento de la emisión de contaminantes a la atmósfera.

Debido a que los motores de combustión interna de gasolina se fabrican generalmente para trabajar a nivel del mar, cuando operan en la ciudad de México, la combustión es incompleta por falta de oxígeno, por lo que se produce una mayor cantidad de contaminantes que se emiten a la atmósfera, principalmente monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos no quemados (HC).

Los productos derivados del petróleo son los principales responsables de las emisiones, debido a que los motores de los automóviles causan estas emisiones y porque usan combustibles elaborados casi exclusivamente por hidrocarburos. Las emisiones de CO₂ son 20 veces mayores que las emisiones de NO_x y SO₂. El alto grado de emisiones ocasionadas por el petróleo refleja la proporción dominante de los productos petrolíferos en el consumo energético. Hay que reconocer que el transporte ocasiona la mayoría de las emisiones de NO_x; mientras que las emisiones de CO₂ son debidas en forma proporcional al consumo de energía en los diferentes sectores industriales y de transformación.

Esta problemática ambiental provocada por la situación geográfica, ha originado cambios en el tipo de gasolina utilizada en la ZMVM (Zona Metropolitana del Valle de México), lo cual ha ocasionado la elaboración de gasolinas reformuladas para ser utilizadas en esta área y así poder combatir la contaminación ambiental ocasionada por el sector transporte de la ciudad de México.

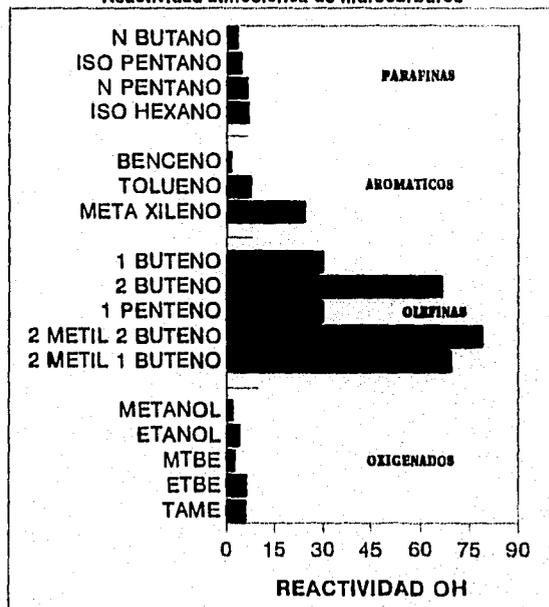
El reglamento de control para la formación de ozono y tóxicos en la capa atmosférica con respecto a las gasolinas reformuladas, emitido por la EPA (Environmental Protection Agency) para establecer un mínimo de emisiones contaminantes, ha estimado que los requerimientos iniciales para las áreas mínimas de ozono libre requerirán de una nueva conversión de alrededor del 25 % de las gasolinas comerciales.

En general la EPA busca un mínimo del 2 % peso de oxígeno, un máximo del 1% volumen de benceno, sin metales pesados y una diferencial de presión de vapor Reid (PVR) que va de 7.2 a 8.1 psi. El azufre, la destilación al 90 % vol. y olefinas están limitadas a valores promedios por cada tipo de gasolina.

La principal característica de las gasolinas reformuladas es la eliminación del plomo en este hidrocarburo, debido a que se ha comprobado que se almacena en los tejidos humanos y a altas concentraciones de sales de plomo se produce la enfermedad conocida como saturnismo.

La determinación de los compuestos de plomo no es la única preocupación referente a la presencia de elementos tóxicos en la atmósfera. Así, algunos aromáticos exhiben alta reactividad atmosférica (figura 1.2); pero estos compuestos, aportan un alto índice de octano y su PVR es baja, sin embargo al entrar en combustión, los aromáticos no quemados reaccionan fotoquímicamente con los óxidos de nitrógeno (NO_x) promoviendo la formación de ozono. Por otra parte, incrementan el contenido de hollín en los automotores.

Figura 1.2
Reactividad atmosférica de hidrocarburos



De acuerdo con la infraestructura de que ciertamente se dispone en el sistema de Refinerías de Petróleos Mexicanos, se tienen algunas limitaciones para cumplir las especificaciones de los combustibles. Por lo tanto, es necesario encontrar nuevas técnicas para obtener las corrientes básicas de los combustibles con el menor contenido posible de compuestos promotores de emisiones contaminantes.

La proyección de las futuras especificaciones se presenta cronológicamente tomando en cuenta las reglamentaciones esperadas. En general las especificaciones internacionales se engloban bajo las siguientes premisas (62):

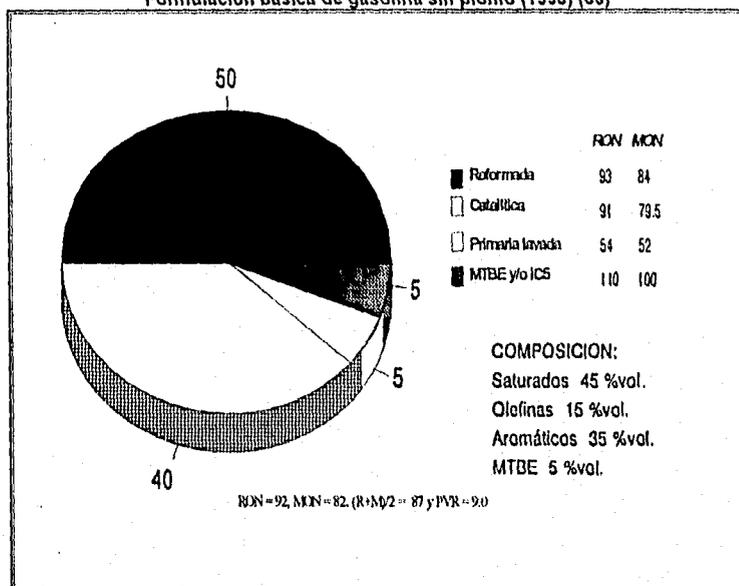
- Menor cantidad de hidrocarburos ligeros debido a que se evaporan a baja temperatura.
- Menor cantidad de hidrocarburos aromáticos, particularmente benceno.
- Menor contenido de azufre
- Menor cantidad de aromáticos pesados que se evaporan a altas temperaturas, pues aunque prácticamente no presentan emisiones evaporativas, al entrar en combustión, los hidrocarburos no quemados reaccionan fotoquímicamente con los NO_x y promueven la formación de ozono; por otra parte incrementan el contenido de hollín en las emisiones.
- Menor cantidad de hidrocarburos olefínicos que tienen propiedad de ser de alta actividad atmosférica.
- Utilizar compuestos oxigenados tales como éteres.

En la afectación al medio ambiente participan el contenido de plomo y azufre, los cuales se pretenden disminuir con la incorporación de nuevos procesos tecnológicos como son: el proceso de Isomerización, las plantas de MTBE y de TAME y la gasolina de Alquilación. Por lo cual a principios de la década se implementó en PEMEX el paquete de proyectos ecológicos que en una primera etapa incrementaría la producción de la gasolina reformada al convertir el proceso de reformación catalítica fija a reformación continua con un incremento en el octano de la gasolina proveniente de este proceso; y en una segunda etapa la construcción de plantas de MTBE en Tula, Hgo., Salina Cruz, Oax., y Cadereyta, N.L. y de la construcción de las plantas de TAME en Tula, Hgo. y en Salina Cruz, Oax.; así como la modernización de la planta de alquilación de Cd. Madero, Tamps. y la reubicación y modernización de la planta de alquilación de la ex-Refinería de Azcapotzalco; sin olvidar las plantas de isomerización de n-pentanos en el complejo petroquímico de Cangrejera; de n-hexanos en Minatitlán, Ver. y Cadereyta, N.L., lo cual permitiría a PEMEX-Refinación modificar su esquema de reformulación de gasolinas que hasta 1993 estaba basado en la combinación de tres corrientes de hidrocarburos de producción nacional y una de importación (MTBE) con las propiedades especificadas en la figura 1.3. (63-65)

En base a las nuevas instalaciones que fueron puestas en servicio a partir de 1993 contempladas en el paquete ecológico (Reformación continua e Isomerización) se mejoró el octano de las gasolinas, y la reformulación de éstas se soportó mediante técnicas operacionales y estuvo dirigida a producir combustible con un contenido máximo de aromáticos de 35% y de 15% de olefinas. Cabe mencionar que la gasolina catalítica se

producía con una temperatura inicial de ebullición (TIE) de 45°C y una presión de vapor menor a 7 lb/pulg², con lo que se adicionaba hasta 10% de isopentano a la gasolina reformulada final.

Figura 1.3
Formulación básica de gasolina sin plomo (1995) (63)



Durante los últimos meses de 1995 se puso en servicio tres plantas isomerizadoras, en 1996 se pondrán en marcha las plantas de MTBE y de TAME, con lo que se dispondría en la totalidad del sistema de refinerías de isómeros y compuestos oxigenados elaborados en México, con lo que era de esperarse que en la zona del altiplano y en el noreste del país se pueda producir la gasolina con un máximo de 30% de aromáticos y 15% de olefinas.

Al disponerse de las plantas productoras de TAME, se eliminarán de las gasolinas catalíticas las olefinas de cinco carbonos, lo que se traducirá en una disminución notable en los componentes con mayor potencial generador de ozono.

A inicios de 1997 será factible cubrir la especificación de 30% de aromáticos y de 10% de olefinas en el Altiplano y de 30% de aromáticos y 15% de olefinas en el resto del país, sin olvidar la eliminación del TEP en este tipo de gasolinas. Durante este año se pondrá en servicio la planta de Alquilación que se tenía instalada en la ex-refinería "18 de Marzo". En esta planta se dispondrá de los adelantos tecnológicos necesarios para garantizar su continuidad de operación y la máxima calidad de su producción. Sin embargo, el sistema de refinación seguirá deficitario en componentes alquilados que permitan una mejor

reformulación de la gasolina, por lo que para enfrentar el reto que significa ofrecer durante el año de 1998 gasolinas con 25% de aromáticos y 10% de olefinas, se requerirá incrementar la producción de gasolina alquilada, el mejoramiento de la calidad de la gasolina reformada y de FCC.

Tomando en cuenta las nuevas unidades existentes y por ponerse en marcha, la reformulación de gasolina en México en el año de 1996, será de acuerdo al esquema de refinación que proporcione una gasolina que contenga un 30% de aromáticos y 10% de olefinas, mediante la formulación a nivel del sistema de refinación de acuerdo a los siguientes porcentajes estimados:

Tabla 1.14.- Formulación de gasolina en 1996

CORRIENTE	% vol
GASOLINA PRIMARIA	3.2
GASOLINA CATALITICA	34
GASOLINA DE ALQUILACION	1.8
ISOMEROS	10
GASOLINA REFORMADA	44
MTBE ó TAME	7

En base a la formulación anterior se producirá en México en el año 1996 cerca de 255 MBPD de gasolina sin plomo y de 335 MBPD de gasolina de bajo octano con 0.3 ml de TEP/gal que cumplirán con todas las propiedades fisicoquímicas especificadas por la Secretaría de Ecología y Medio Ambiente. (66)

2.- Descripción de la idea y análisis del problema.

El valor económico de los procesos industriales reside principalmente en los rendimientos y calidad de los productos obtenidos, por lo que las nuevas exigencias del mercado, tales como la demanda de gasolina de mayor octanaje y los decretos regulatorios para la protección del medio ambiente, los cuales implican una recomposición de los productos de las refinerías para lograr las concentraciones permitidas de emisiones, juegan una importancia capital en el desarrollo de nuevas tecnologías para mejorar la calidad del aire al producir combustibles que minimicen las emisiones de hidrocarburos tóxicos y peligrosos. Como un resultado de lo anterior, las formulaciones de la gasolina y el diesel han cambiado y lo harán aún más substancialmente en lo que queda de la década.

La reducción de plomo en la gasolina, ha sido posible por el incremento en la capacidad o en la severidad de los procesos para la obtención de gasolinas base con mayor índice de octano y más recientemente a través de la utilización de compuestos oxigenados, producidos catalíticamente a partir de corrientes de hidrocarburos provenientes principalmente del proceso FCC.

Las próximas medidas que se anuncian sobre la reducción de azufre, aromáticos y olefinas en la gasolina para disminuir los niveles de ozono en grandes urbes, afectarán dramáticamente a las plantas de reformación y desintegración catalítica, las cuales demandarán de nuevos esquemas de proceso, desarrollo de nuevos catalizadores más selectivos y por lo tanto de grandes inversiones que permitan la construcción, adecuación y modernización de las unidades que integran al sistema de refinación nacional. Nos encontramos también en medio de una crisis nacional, un revés lamentable en el ambicioso programa del Gobierno Federal para modernizar la planta industrial del país, alentar una mayor participación mundial en los mercados mexicanos, e intensificar la velocidad y la fortaleza del desarrollo económico del país. (67-69)

México ha reconocido y enfrentado abiertamente estas realidades económicas durante más de una década. En este período nuestro país ha dado importantes pasos para abrir sus mercados a la inversión y a la competencia internacional; para apoyar la adquisición y el desarrollo de tecnologías avanzadas que fortalezcan su capacidad productiva; y, para ampliar las oportunidades de crecimiento económico.

El sistema de refinación nacional se debe reconfigurar para optimizar la obtención de productos de alto valor agregado. Lo que es más, esto se deberá lograr al mismo tiempo que se reducen los costos de operación, se mejora la eficiencia operativa, y en base a la escasez de recursos económicos, estos cambios requeridos deben realizarse con la menor inversión posible en la adquisición de nuevos procesos o la adecuación de los ya existentes y, al mismo tiempo satisfacer las especificaciones que regularan las emisiones contaminantes

provocadas por la combustión de gasolina en el Valle de México y en las principales ciudades del país.

La gasolina que se pone a la venta al consumidor está formada con varias corrientes de proceso; de las cuales, la proveniente de la planta de desintegración catalítica en lecho fluidizado (FCC) contribuye hasta en un 50%, por lo que es de suma importancia encontrar la forma de mejorarla. En general el proceso actual de FCC está orientado principalmente a la producción de gasolina catalítica de alto octano; existiendo unidades que proporcionan hasta 60% volumen de esta fracción (70-72). En México, debido a que la carga utilizada para el proceso de FCC proviene de la destilación fraccionada a nivel atmosférico y de vacío, con mezclas de crudos intermedios (Istmo) y pesados (Maya), los gasóleos obtenidos presentan un alto contenido de heteroátomos y metales; lo que origina la producción de gasolina catalítica con elevadas concentraciones de azufre.

El incremento o la disminución de las condiciones de operación en las unidades de desintegración modifican la distribución de los productos, ya que al operar a temperaturas mayores se presenta un desplazamiento hacia las fracciones ligeras con aumento de olefinas de bajo peso molecular y mayor producción de aromáticos; si se disminuye la severidad, la selectividad se orienta hacia las fracciones pesadas como el aceite cíclico ligero y el decantado. Por lo cual la gasolina obtenida puede modificar el contenido de aromáticos y olefinas gracias al cambio en las condiciones de operación; pero la concentración de azufre total depende principalmente del tipo de carga a utilizar, por esta razón se requiere de procesos adicionales que permitan la disminución de este contaminante en la gasolina de FCC.

El proceso de hidrodesulfuración de gasolina nos permite disminuir la concentración de azufre total presente en la corriente catalítica a niveles inferiores de las 500 ppm-peso; sin embargo, esta ruta disminuye el octano de la gasolina de FCC en más de 10 unidades de RON, debido a la saturación de olefinas de alto número de octano de investigación. La pérdida de la intensidad de detonación, debido a la hidrodesulfuración afecta considerablemente a la mezcla final de la gasolina comercial, la cual no cumple con las especificaciones requeridas para su venta, ni con la adición de compuestos oxigenados de elevado octano y por otro lado genera un incremento considerable en la temperatura de reacción que provoca la carbonización del hidrocarburo y como consecuencia un menor tiempo de vida del catalizador de hidrodesulfuración. (73,74)

En base a la problemática planteada anteriormente y partiendo de un análisis de las características, comportamiento, distribución y efectos de los hidrocarburos en el índice de octano, y en la formación de emisiones se genera la hipótesis de separar por medio de un fraccionamiento a diferentes temperaturas de ebullición a la gasolina de FCC y posteriormente seleccionar los cortes que presenten una mayor concentración de azufre, aromáticos y olefinas.

El fraccionamiento de la gasolina deberá considerar un mínimo de pérdidas en el octano, y estará integrado de tres cortes principales:

El primero rico en olefinas de 4 y 5 átomos de carbono, para ser utilizado como carga a los procesos de elaboración de compuestos oxigenados y alquilación de gasolina.

El segundo, y de mayores proporciones que presente un contenido de azufre total menor a 600 ppm-peso, para cumplir con las especificaciones futuras de este contaminante al integrarse a la mezcla final de la gasolina comercial.

El último corte con una elevada concentración de azufre y características de destilación similares a una nafta pesada, turbosina o querosina para ser hidrodesulfurada selectivamente en las unidades de destilados intermedios a niveles de azufre inferiores a las 300 ppm-peso.

Posteriormente se integraran los diferentes cortes para formular gasolina Magna Sin y evaluar si sus propiedades finales cumplen con las características requeridas por las especificaciones futuras de calidad del hidrocarburo.

3.- Propuesta de solución

Para plantear una solución a la problemática de calidad de la gasolina catalítica es indispensable considerar los posibles cambios que sufrirán los esquemas de refinación para adecuarse a la reformulación de gasolina, siendo estos la integración de plantas para la elaboración de compuestos oxigenados (MTBE, TAME, etc.), producción de gasolina alquilada y las adecuaciones en las unidades de reformación para convertirlas de lecho fijo a regeneración continua. Otro punto a considerar es como se modifican las características de la gasolina de FCC al implementar los nuevos procesos, ya que las principales cargas utilizadas en las unidades de MTBE (Isobutileno), TAME (Aminenos) y alquilación (Isobutano) provienen de la planta de desintegración catalítica y para satisfacer la demanda de las anteriores materias primas se requiere modificar el tipo de catalizador y las condiciones de operación para obtener una disminución de la fracción de gasolina y mayor producción de gases de 1 a 5 átomos de carbono. (68,69)

Para disminuir la concentración de azufre, olefinas y aromáticos en la gasolina de FCC se plantea la realización de dos etapas experimentales: una a nivel laboratorio que permita la localización de los contaminantes en la gasolina catalítica y en una segunda parte realizada a nivel planta piloto la transformación de los compuestos nocivos al medio ambiente en hidrocarburos que no afecten severamente el equilibrio ecológico ya existente.

3.1.- Parte experimental a nivel laboratorio

En el desarrollo experimental se utilizó gasolina de FCC proveniente de diferentes tipos de aceites crudos; en la tabla 3.1, se observa la variación del contenido de azufre presente al incrementar el porcentaje de crudo pesado utilizado como carga a las unidades de destilación primaria.

Una vez analizada la gasolina catalítica se procedió a realizar un fraccionamiento de la misma; en base, al método de destilación de la ASTM (American Society for Testing and Materials) número D-2892. Las destilaciones True Boiling Point (TBP) son efectuadas en columnas con 20 platos teóricos y relaciones de reflujo relativamente altas (5:1). El alto grado de fraccionamiento en estas destilaciones proporciona la distribución exacta de los componentes presentes en una mezcla.

La curva TBP es determinada bajo condiciones de fraccionamiento perfecto y describe el punto de ebullición en porcentaje volumen característico de la mezcla y representa la temperatura de ebullición de cada componente a la presión total, cualquier punto de la curva puede considerarse un punto sobre la curva de presión de vapor (volatilidad) de un pseudocomponente.

Tabla 3.1.- Propiedades de la gasolina catalítica

Propiedades	Istmo/Maya, % vol.	
	70/30	60/40
Peso específico 20/4 ° C	0.7434	0.7514
Color Saybolt	-16	-16
Temperatura de anilina, ° C	20	24
Presión de vapor Reid, lb/pulg ²	9.4	8.0
Número de bromo, gr/Br/100 ml.	2.1	1.1
Azufre total, ppm-peso	1800	2800
RON	90.8	90.6
MON	77.8	78.2
Destilación, D-86, ° C		
TIE/10% vol.	38/54	46/64
90% vol./TFE	193/222	194/223
Parafinas, % vol.	6.6	6.3
Isoparafinas, % vol.	31.6	30
Olefinas, % vol.	25.8	23.5
Naftenos, % vol.	8.8	8.0
Aromáticos, % vol.	18.7	24.6
No identificados, % vol.	8.5	9.6

El fraccionamiento de la gasolina se realizó cada 10% volumen y los cortes obtenidos se analizaron en base a las siguientes pruebas:

- Pruebas físicas como peso específico, destilación, temperatura de inflamación, anilina y escurrimiento; color, etc.
- Pruebas químicas como azufre, nitrógeno, número de bromo, etc.
- Pruebas cromatográficas, en las cuales se consideran el contenido de aromáticos, olefinas, parafinas, isoparafinas y naftenos.
- Pruebas espectroscópicas como el infrarrojo y la resonancia magnética nuclear.
- Pruebas de ignición como el número de octano de investigación y el de motor.

Posteriormente al análisis de los cortes se seleccionó el rango de ebullición para la integración de tres fracciones principales que formarán el esquema de proceso a evaluar. Estas fracciones estarán comprendidas de la siguiente forma.

1. La fracción ligera, rica en olefinas de 4 y 5 átomos de carbono y que puede ser utilizada como carga a los procesos de elaboración de compuestos oxigenados y alquilación de gasolinas.
2. Una fracción intermedia que presente un contenido de azufre total menor a 600 ppm-peso, y
3. El corte pesado, en el cuál se presentara la mayor concentración de azufre, por lo que es necesario desulfurarlo en una unidad de destilados intermedios para obtener un corte con menos de 300 ppm-peso de azufre.

Una vez determinados los intervalos de ebullición de las fracciones se procedió a la etapa siguiente.

3.2.- Parte experimental a nivel planta piloto

Al identificar las temperaturas requeridas para obtener las fracciones necesarias en el esquema de proceso, se utilizó una columna de destilación fraccionada de escala industrial, en donde se recuperaron los tres cortes propuestos a nivel laboratorio en cantidades suficientes para su caracterización física, química, cromatográfica y de ignición; así como, la obtención de materia prima para efectuar el proceso de hidrodesulfuración selectiva del corte pesado a diferentes condiciones de operación.

Una vez caracterizados los cortes se integraron las fracciones ligera con la intermedia para analizar el incremento de azufre y olefinas en la gasolina de FCC" y así comprobar las ventajas o desventajas que representa la utilización de las plantas de MTBE, TAME y alquilación en el esquema de refinación.

La fracción pesada por otra parte se hidrodesulfuro selectivamente en una planta piloto, utilizando un reactor tubular adiabático y un lecho fijo de catalizador con las propiedades físicas y químicas reportadas en la tabla 3.2.

El intervalo de condiciones de operación en los programas experimentales se tomaron en base a los procesos de hidrodesulfuración catalítica existentes a nivel industrial. Los cuales se orientan a la desulfuración de fracciones ligeras, principalmente gasolina primaria y el de destilados intermedios.

Presión	=	28 - 56 Kg/cm ²
Relación H ₂ /HC	=	500 - 2000 ft ³ /B
Espacio-velocidad	=	1.5 - 4.0 1/hora
Temperatura	=	280 - 360 °C

Una vez hidrodesulfurado el corte pesado a diferentes condiciones de operación y con varios catalizadores se realizó el análisis de las principales propiedades características de la gasolina desulfurada.

" La integración de la fracción ligera y la intermedia (TIE-80%), se realizó para analizar el incremento de azufre y olefinas en la gasolina Magna Sin elaborada en las refinarias que no contemplan en sus esquemas de refinación a las plantas de TAME.

Tabla 3.2.- Propiedades de los catalizadores empleados

Propiedades	A	B	C
Forma	Extruido trilobular	Extruido	Extruido Trilobular
Longitud, mm	5.2	5.4	6.1
Diámetro, mm	2.3	2.4	2.5
Densidad, g/ml	0.69	0.61	0.75
Resistencia a la fractura, Kg/Part.	7.2	6.2	7.7
Area superficial, m ² /g	204	215	176
Volumen de poro, cm ³ /g	0.5	0.63	0.51
Molibdeno, % peso	9.5	11.2	10.5
Níquel, % peso	2.4	0	0
Cobalto, % peso	0	2.6	2.35
Fósforo, % peso	1.58	0	1.35
Sodio, % peso	< 0.06	0.03	0.05

El producto hidrotratado que presentó una menor disminución del índice de octano; así como, un elevado porciento de desulfuración (más de 95%), se mezcló en la proporción adecuada con la fracción ligera de la gasolina catalítica (fracción ligera más fracción intermedia), con lo que se integró el total de la gasolina de FCC y posteriormente se evaluó el comportamiento de sus propiedades. Cabe mencionar, que la integración del corte pesado hidrotratado con la fracción ligera de bajo azufre se realizó a bajas temperaturas y en recipientes herméticos para disminuir las pérdidas de las fracciones más volátiles que nos afectan principalmente al índice de octano, la destilación y la presión de vapor Reid.

Otro punto a considerar es la formulación de las diferentes gasolinas comerciales producidas en el sistema de refinación nacional; por lo cual en este estudio se enfocó principalmente a la elaboración de gasolina Magna Sin, debido a que la Nova tiende a desaparecer del mercado por limitaciones ambientales (principalmente por su contenido de Plomo).

Para la formulación de la gasolina Magna Sin se muestrearon y caracterizaron las corrientes típicas que intervienen en la elaboración, mostrándose sus principales propiedades en la tabla 3.3. En el mezclado de la gasolina sin plomo se consideraron tres esquemas de formulación de gasolina. El primero descrito en la figura 1.3 del capítulo 1 que representa la formulación actual de esta gasolina; el segundo en base a la tabla 1.14 que incluye las corrientes de isomerización y compuestos oxigenados en la elaboración de la gasolina y por último un esquema típico de formulación de la refinería de Tula Hgo., el cual se describe en la tabla 3.4.

Las corrientes elegidas para este estudio son provenientes de la refinería "Miguel Hidalgo"; de donde la gasolina alquilada es un producto de importación y las demás corrientes son de producción nacional.

Tabla 3.3.- Propiedades de las corrientes típicas que integran a la gasolina Magna Sin

CORRIENTE	RON	MON	INDICE DE OCTANO	AZUFRE, % PESO	AROMATICOS % VOL.	OLEFINAS % VOL.	PVR, LB/in2	BENCENO % VOL.
MTBE	118	101	109.5	0	0	0	8	3
REFORMADA	90.5	83	86.8	0	47.1	0	7	3.6
CATALITICA	91	80	85.5	0.22	24.5	24	8	0.6
ISOPENTANO	90	87	88.5	0	0	0	19	0
AMDRFA	63	57	60	0.03	9.9	3.7	5.7	0
HIDRODESULFURADA	46	40	43	0	0	0	6	0
TAME	112	99	105.5	0	0	0	2	0
C5+C6	69.6	60	64.8	0.02	0	0	12	0
ALQUILADO	93	91	92	0	0	0	4.6	0
PRIMARIA	63	57	60	0.03	9	0	7	0

Para confirmar los datos de la formulación de la gasolina Magna Sin se efectuó un patrón en base al esquema típico de la refinería ya mencionada con gasolina catalítica sin hidrotatar y se comparó con los datos de calidad reportados por la refinería para observar las posibles desviaciones entre la formulación a escala industrial y la realizada a nivel laboratorio.

tabla 3.4.- Formulación de gasolina Magna Sin en la refinería "Miguel Hidalgo".

CORRIENTE	PRODUCCION TOTAL MBD	FRACCION VOLUMEN	POOL DE GASOLINA MAGNA SIN MBD
MTBE	2.91	0.05	2.91
REFORMADA 500-1	13.6	0.11	5.6
REFORMADA 500-2	19.8	0.23	12.32
CATALITICA 1	19.84	0.36	19
ISOPENTANO	0	0	0
AMORFA	0	0	0
HIDRODESULFURADA	0	0	0
CATALITICA 2	9.5	0.11	5.87
TAME	0	0	0
C5+C6	3.51	0.06	3.2
ALQUILADO	4	0.08	4
PRIMARIA	0	0	0
PRODUCCION TOTAL	73.16	1	
PRODUCCION DE MAGNA SIN			52.9

Posteriormente se realizaron los diferentes esquemas de formulación con la variante de modificar la gasolina catalítica convencional con la obtenida en el desarrollo del presente estudio para evaluar las posibles variaciones en calidad e impacto ambiental resultantes de los efectos del hidrotatamiento de la fracción pesada de la gasolina de FCC.

4.- Resultados experimentales

Los resultados obtenidos de la experimentación realizada se dividieron de acuerdo a la propuesta de solución, siendo estos los siguientes:

1. Fraccionamiento de la gasolina de FCC
2. Identificación de cortes a diferentes temperaturas de ebullición
3. Selección del corte ligero, intermedio y pesado de la gasolina de FCC
4. Propiedades y utilización del corte ligero seleccionado
5. Propiedades del corte intermedio
6. Integración del corte ligero con la fracción intermedia
7. Hidrodesulfuración del corte pesado a
Condiciones de nafta amarga
Condiciones de destilados intermedios
8. Selección de las condiciones óptimas de operación y tipo de catalizador en el hidrotratamiento del corte pesado
9. Integración final de la gasolina de FCC, que incluye a la fracción ligera, intermedia y el corte pesado hidrodesulfurado previamente
10. Formulación de la gasolina Magna Sin que cumpla las futuras especificaciones de calidad ecológica.

Uno de los parámetros que mide qué tan volátil es una gasolina es su destilación. Esta consiste en colocar un volumen preestablecido de producto al contacto de calor, con lo cual se producen vapores que se condensan y se miden registrando la temperatura a la cual se alcanza cada volumen de condensado.

Para lograr tal objetivo, se registra la temperatura a la que cae la primera gota del producto (TIE), la alcanzada para calentar cada 10% volumen hasta cuando deja de obtenerse destilado (TFE).

4.1.- Fraccionamiento de la gasolina de FCC

El fraccionamiento en minicortes (cada 10% volumen) de la gasolina de FCC presentó las características de la tabla 4.1 y los hidrocarburos presentes se distribuyeron de las siguientes formas:

tabla 4.1.- Propiedades de los minicortes de la gasolina de FCC

PROPIEDADES	UNIDADES	FRACCION % VOLUMEN									
		TIE-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-TFE
PESO ESPECIFICO 20/4 °C		0,6255	0,6461	0,6758	0,7084	0,7260	0,7644	0,7919	0,8111	0,8367	0,8454
COLOR SAYBOLT		>+30	>+30	>+30	30	30	12	6	-13	<-16	<-16
TEMPERATURA DE ANILINA	°C	FM	FM	45	37,6	32,4	32	24,2	10	5,2	2,8
PRESION DE VAPOR REID	lb/plg2	23	15,97	8,54	4,03	3,06	3	1,64	1,05	1,0	0,47
GOMAS	mg/100 ml	FM	FM	1,4	1,4	8,4	12,2	16,6	22,2	105	260,4
CORROSION AL Cu 3HRS @ 50°C		1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1b
PRUEBA DOCTOR		NEG.	NEG.	NEG.	NEG.	NEG.	NEG.	NEG.	NEG.	NEG.	NEG.
DESTILACION ASTM D-86	°C										
TIE		28,1	33,5	55	65,1	85,9	103,3	117,3	140,2	162,9	204,2
10% vol.		28,9	36	57,9	69,2	89,1	105,4	127,2	147,6	169,8	205,5
30% vol.		30,3	38	58,2	70	90,4	106,5	129,4	148,9	174,6	206,9
50% vol.		31,6	41,1	59,6	71,1	91,4	107,5	130,3	150,4	175,1	208,2
70% vol.		32,5	45,1	61	72,1	92,5	108,9	131,7	152,9	176	212,3
90% vol.		33,5	48,9	63,2	80,8	94,7	111,8	134,2	157,2	185,5	223
TFE		34,2	55,6	65,9	85,4	102,2	118,9	138,2	167,5	205,4	228,4
AZUFRE TOTAL	ppm	48	92	268	617	1289	1554	2600	3852	7862	11862
AZUFRE MERCAPTANICO	ppm	42	65	52	34	27	20	17	8	5	2
ACIDO SULFIDRICO	ppm	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
NUMERO DE BROMO	gr Br/100gr	8,2	7,1	1,58	0,62	0,55	0,4	0,5	0,49	0,62	0,3
NITROGENO BASICO	ppm	<0,3	<0,3	1	2	2	3	6	15	34	114
NITROGENO TOTAL	ppm	5	6	7	7	11	25	38	58	160,5	251
PARAFINAS	% vol.	4,76	6,34	3,5	5,03	3,5	3,28	5,25	2,75	2,78	7,2
ISOPARAFINAS	% vol.	52,64	24,75	46,69	33,98	35,48	32,91	24,32	18,25	13,42	11,7
OLEFINAS	% vol.	42,6	68,04	44,72	36,72	35,52	16,54	9,01	3,09	0,96	1,02
NAFTENOS	% vol.	0	0,67	3,46	13,2	14,9	16,88	13,32	11,3	3,25	2,06
AROMATICOS	% vol.	0	0	1,2	10,16	7,86	25,24	44,05	56,36	69,37	62,4
PESADOS	% vol.	0	0	0,41	0,35	0,08	0,07	0,1	0,06	0,235	15,62
RON		110	96	89	86,4	84	81	87,6	90	90	82
MON		81	78	77	75	74	74	76	77	76	74
INDICE DE OCTANO		95,5	87	83	80,7	79	79	81,8	83,5	83	78

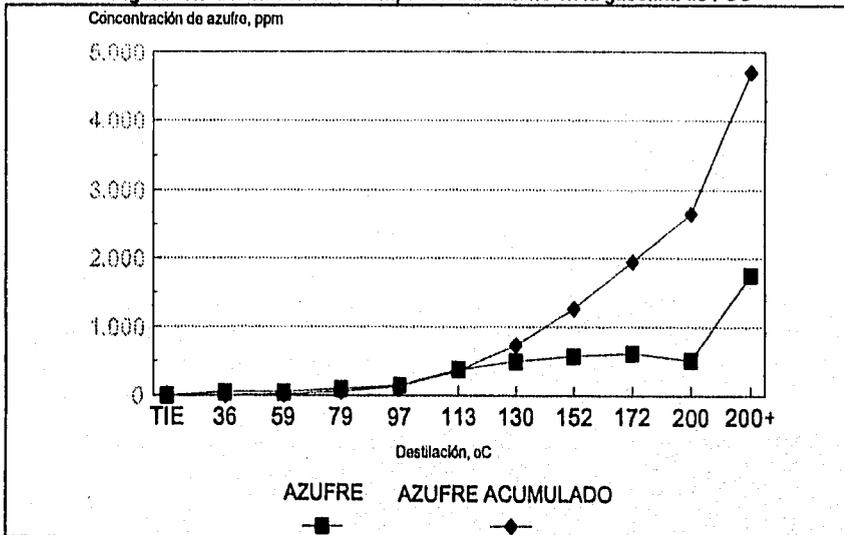
FM= Fuera de método

a) **Heteroátomos:** Todas las gasolinas catalíticas, además de hidrocarburos, contienen un número considerable de compuestos que incluyen átomos como azufre, oxígeno y nitrógeno. La distribución de los heteroátomos en las fracciones de la gasolina se concentran en mayor cantidad en los cortes pesados, en particular en el residuo de la gasolina (figuras 4.1 y 4.2).

b) **Olefinas:** Los compuestos no saturados no están presentes en el petróleo crudo ya que se forman en su proceso de transformación, siendo el proceso de FCC uno de los que aportan el mayor volumen de olefinas. Los alquenos son compuestos sumamente reactivos y se localizan en las fracciones ligeras y pesadas; las primeras son de bajo peso molecular, principalmente compuestos de C₃ a C₅ que presentan

altas presiones de vapor Reid (mayor a 20 lb/plg²), por lo cual son altamente volátiles y provocan emisiones formadoras de VOC's (Compuestos orgánicos volátiles) y ozono. En las fracciones pesadas también las olefinas provocan la formación de contaminantes tales como gomas (aldehídos, cetonas, ácidos, etc.). Debido a lo anterior es indispensable disminuir el contenido total de olefinas presentes en la gasolina catalítica; sin embargo, éstas proporcionan elevados índices de octano; principalmente las de bajo peso molecular; por lo cual se requieren encontrar procesos que permitan su transformación disminuyendo la PVR sin perder su alto número de octano (Figura 4.3).

Figura 4.1.- Distribución de compuestos de azufre en la gasolina de FCC

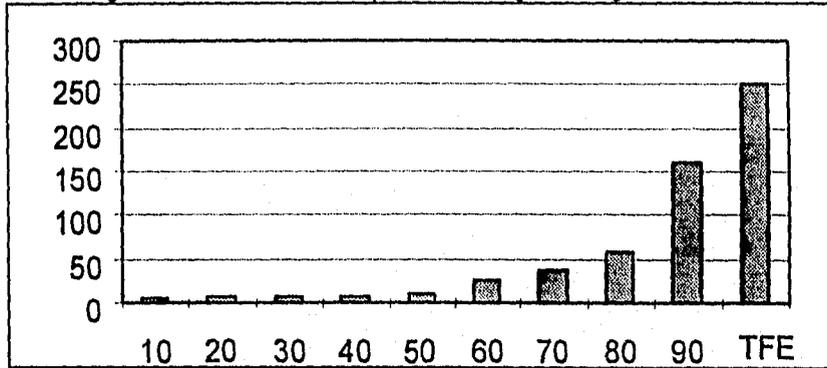


c) **Compuestos cancerígenos:** Actualmente se consideran compuestos cancerígenos de alto riesgo a el benceno y a los alcadienos (1,3-butadieno, 1,3-pentadieno, e isopreno), el primero no es tan abundante en la gasolina catalítica y cumple con las especificaciones de este contaminante, pero los segundos se presentan en elevadas concentraciones, principalmente en las fracciones ligeras. Cabe mencionar que estos compuestos (dienos) son utilizados para la formación de oxigenados (TAME).

d) **Compuestos aromáticos:** Los aromáticos que constituyen a la gasolina catalítica vienen representados principalmente por el benceno y sus homólogos. En el fraccionamiento se han identificado todos los alquilbencenos posibles hasta C₉ y los aromáticos predominantes son el tolueno, el m-xileno y el 1,2,4-trimetilbenceno (Anexo 4.1), así como los isómeros aromáticos monocíclicos en las fracciones de gasolina que crecen progresivamente con el aumento del número de sustituyentes enlazados con el anillo. Por lo tanto se concluye que la mayor cantidad de

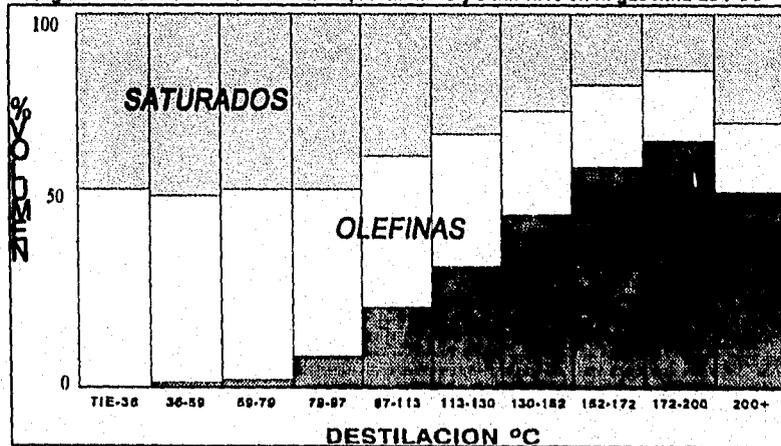
compuestos aromáticos se localizan en las fracciones pesadas de la gasolina, iniciando del corte 40-50% vol. Los aromáticos pesados como ya se mencionó presentan una combustión deficiente en el motor de combustión interna, lo que ocasiona la formación de hidrocarburos no quemados que posteriormente darán origen al smog típico de las ciudades (Figura 4.3)

Figura 4.2.- Distribución de compuestos de nitrógeno en la gasolina de FCC



e) **Presión de Vapor Reid:** La presión de vapor es conocida por sus siglas en inglés o español identificadas como RVP (Reid Vapor Pressure) o PVR (Presión de Vapor Reid), ésta mide la presión ejercida a una temperatura dada (37.8 ° C) por el vapor formado sobre un volumen de líquido en un recipiente cerrado.

Figura 4.3.- Distribución de olefinas, aromáticos y saturados en la gasolina de FCC

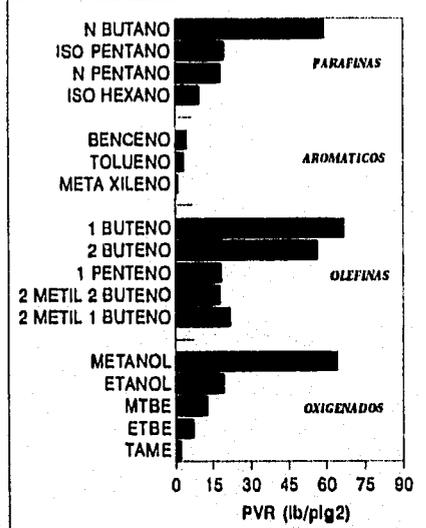


Todos los líquidos tienden a vaporizarse, esto es, volverse gases. Esta tendencia es una manifestación de la presión de vapor de los materiales, la cual es la presión

ejercida por las moléculas en la superficie en su intento de escapar a la atmósfera. Para un líquido dado, esta presión es función únicamente de la temperatura.

Un producto del petróleo, comprende muchas fracciones muy diferentes, cada una con una composición y una presión de vapor propia (Figura 4.4). Por lo tanto la presión de vapor del producto es un valor combinado que refleja las diferentes presiones de vapor de las diversas fracciones, de acuerdo a su participación molecular. (75)

Figura 4.4.- PVR en hidrocarburos y oxigenados (75)

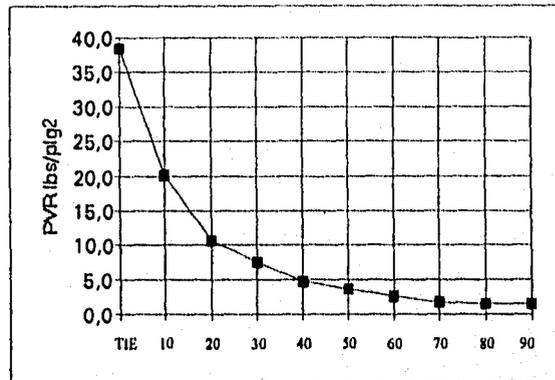


Los combustibles con presión de vapor alta denotan en su composición la presencia de hidrocarburos ligeros, mientras que los valores bajos de presión indican la presencia de hidrocarburos pesados.

Una presión de vapor muy alta en la gasolina puede originar el fenómeno del "sello de vapor", que es una mayor evaporación del combustible durante su almacenamiento, transporte e incluso en el tanque del vehículo, condiciones que dan como resultado una mayor emisión de hidrocarburos a la atmósfera. Una presión de vapor baja originará dificultad en el motor para su arranque en frío o una vaporización inadecuada, ocasionando una combustión incompleta que se traduce en emisiones de hidrocarburos no quemados a la atmósfera.

Como se mencionó anteriormente las fracciones ligeras presentan una presión de vapor más elevada, de ahí el comportamiento observado en la figura 4.5 que nos muestra la disminución de la PVR en las fracciones pesadas de la gasolina de FCC.

Figura 4.5.- Comportamiento de la PVR en la gasolina de FCC



f) Octano: El número de octano por el método de investigación se conoce por sus siglas en inglés RON (Research Octane Number). Este número de octano mide la capacidad de evitar el ruido o golpeteo producido por la gasolina en estudio comparándolo contra un combustible de referencia (isooctano y n-heptano); por lo tanto el octano de una gasolina es el porcentaje de isooctano el cual debe ser mezclado con n-heptano para producir el ruido o golpeteo de la gasolina en evaluación. El isooctano tiene un número de octano igual a cien y el n-heptano presenta un octano de cero. Así, una gasolina que produce el ruido o golpeteo de una mezcla de 80% de isooctano y 20% de n-heptano se reporta como un producto cuyo octano por el método de investigación es igual a 80.

La prueba de octano por el método de investigación se lleva a cabo en un motor de un pistón y de relación de compresión variable, esta determinación reproduce el desempeño de la gasolina bajo condiciones de operación poco severas (circulación urbana a 600 RPM).

El número de octano MON establece el desempeño del combustible bajo condiciones de operación más severas, esto es, alta velocidad y temperatura; es el comportamiento esperado del carburante cuando el automóvil transita en carretera. El equipo usado para la prueba, así como el procedimiento de evaluación, es similar al usado para el RON sólo que en este caso el equipo usado en la determinación opera a 900 revoluciones por minuto.

El índice de octano permite conocer el desempeño esperado del combustible bajo cualquier condición del motor; este índice se obtiene como el promedio del RON más el MON y se reporta como:

$$\text{INDICE DE OCTANO} = \frac{\text{RON} + \text{MON}}{2} = \frac{\text{R} + \text{M}}{2}$$

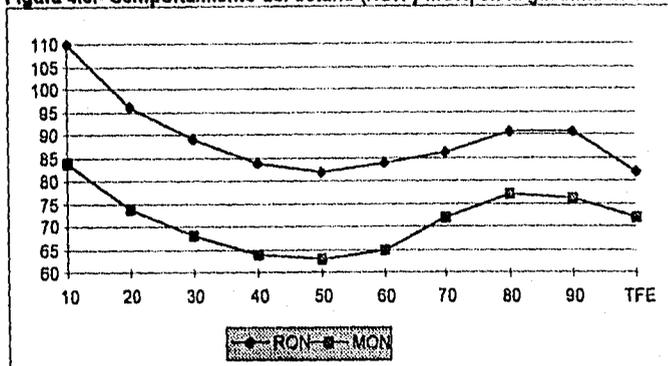
Internacionalmente se usa para la expresión del octanaje de una gasolina el MON y el índice de octano. Según la familia a la que pertenecen los diferentes hidrocarburos de una gasolina, presentan cierta influencia en el octanaje siendo las de mayor valor los aromáticos y en forma descendente las olefinas, parafinas ramificadas y por último los policíclicos como se observa en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2.- Octano característico de los compuestos presentes en una Gasolina(76,77)

HIDROCARBURO	RON	MON
PARAFINAS		
2 METIL BUTANO	93	90
HEXANO NORMAL	25	26
2,2 DIMETIL BUTANO	92	93
N HEPTANO	0	0
2,2 DIMETIL PENTANO	93	93
2,2,3 TRIMETIL BUTANO	112	101
2,2,3 TRIMETIL PENTANO	100	100
OLEFINAS		
1 PENTENO	91	77
2 METIL 2 BUTENO	97	85
4 METIL 2 PENTENO	99	84
2,2,4 TRIMETIL 1 PENTENO	>100	86
2,2,4 TRIMETIL 2 PENTENO	>100	86
NAFTENOS		
CICLOPENTANO	101	85
METIL CICLOPENTANO	91	80
CICLOHEXANO	83	77
METIL CICLOHEXANO	75	71
DIMETIL CICLOHEXANO	67	64
AROMATICOS		
BENCENO	109	106
TOLUENO	120	109
M-XILENO	100	100
ETIL BENCENO	111	98
1,3,5 TRIMETIL BENCENO	106	101
PROPILO BENCENO	100	98
ISOPROPILO BENCENO	100	99

La gasolina de FCC presenta el siguiente comportamiento: en la fracción ligera de la gasolina se encuentra el mayor octano de la misma, proporcionada por las olefinas de bajo peso molecular, posteriormente disminuye el octanaje por la aparición de n-parafinas, como el n-heptano con cero unidades y olefinas de 6 y 7 átomos de carbono; con la aparición de los aromáticos, principalmente el tolueno y los derivados del benceno se incrementa nuevamente, para disminuir finalmente por la aparición de hidrocarburos poliaromáticos difícilmente quemados en los motores de combustión interna (figura 4.6).

Figura 4.6.- Comportamiento del octano (RON y MON) en la gasolina de FCC



4.2.- Identificación de cortes a diferentes temperaturas de ebullición

Al observar el comportamiento del azufre, presión de vapor, octano y la distribución de hidrocarburos se puede predecir que en la parte más pesada o de mayor temperatura de ebullición se localizan los compuestos contaminantes, y sólo en la fracción ligera se encuentra significativamente participación de las olefinas en el incremento de emisiones contaminantes.

Para determinar que fracción presenta la mayor concentración de olefinas en la gasolina de FCC se realizó el fraccionamiento de esta en base a los cortes de la tabla 4.3; en donde, se pretende localizar principalmente a los compuestos ricos en olefinas y diolefinas carga a las plantas de alquilación y compuestos oxigenados.

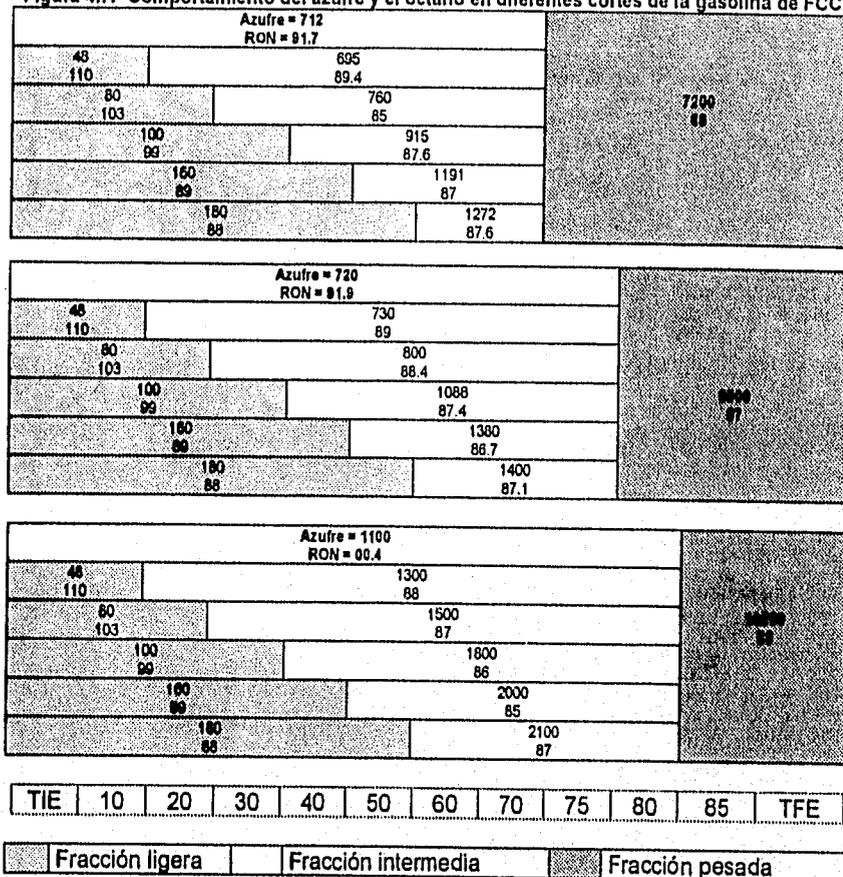
tabla 4.3.- Fraccionamiento de la gasolina de FCC en cortes integrados.

Corte	Fracción intermedia				
	Fracción ligera	10 -75 % Vol.	10 -80 % Vol.	10 -85 % Vol.	75 % Vol. - TFE
1	TIE - 10 % Vol.	10 -75 % Vol.	10 -80 % Vol.	10 -85 % Vol.	75 % Vol. - TFE
2	TIE - 20 % Vol.	20 -75 % Vol.	20 -80 % Vol.	20 -85 % Vol.	80 % Vol. - TFE
3	TIE - 30 % Vol.	30 -75 % Vol.	30 -80 % Vol.	30 -85 % Vol.	85 % Vol. - TFE
4	TIE - 40 % Vol.	40 -75 % Vol.	40 -80 % Vol.	40 -85 % Vol.	
5	TIE - 50 % Vol.	50 -75 % Vol.	50 -80 % Vol.	50 -85 % Vol.	

La fracción pesada se localizo; por una parte, en base a que la mayor concentración de azufre, nitrógeno y aromáticos que se encuentran a una temperatura de ebullición superior a los 160 ° C y por otra, al requerimiento de azufre que debe cumplir la fracción intermedia. Por lo anterior se escogieron tres diferentes volúmenes iniciales del corte pesado, los cuales se pueden observar en la tabla 4.3 y la fracción intermedia es resultante de la obtención del corte ligero y el pesado.

El comportamiento del azufre y el octano en las diferentes fracciones se observa en la figura 4.7; en donde al irse incrementando la temperatura inicial de ebullición se presenta una mayor concentración de compuestos de azufre y el octano por su parte disminuye.

Figura 4.7.- Comportamiento del azufre y el octano en diferentes cortes de la gasolina de FCC.



El contenido de olefinas y aromáticos es representado en la figura 4.8 en la cual se observa que la mayor concentración de alquenos se localiza en la fracción comprendida de TIE al 30% volumen; mientras que en el corte pesado estas representan menos del 1% volumen. Los aromáticos por su parte se localizan más significativamente en las fracciones pesadas e intermedias, mientras que en las ligeras su participación es poco significativa. Entre más grande es la temperatura inicial de ebullición del corte pesado es mayor el contenido de aromáticos, llegando a representar más del 80% volumen del total de hidrocarburos que integran a la fracción pesada.

Figura 4.8.- Contenido de olefinas y aromáticos en diferentes cortes de la gasolina de FCC.

Olefinas = 28.1 Aromáticos = 21.2		0.42 74.7
42.6 0	27.7 24.6	
50.2 0	21.1 26.2	
54.8 0.34	14.7 29.1	
50.3 0.02	13.8 34.6	
47.2 2.74	6.8 40.7	

Olefinas = 30.6 Aromáticos = 21.8		0.48 79.3
42.6 0	28.5 25.1	
50.2 0	22.9 28.5	
54.8 0.34	15.08 33.03	
50.3 0.02	14.1 40.6	
47.2 2.74	7.2 53.1	

Olefinas = 33.4 Aromáticos = 28.6		0.55 86.1
42.6 0	32.2 29.3	
50.2 0	24.4 31.6	
54.8 0.34	17.3 34.4	
50.3 0.02	14.3 47.8	
47.2 2.74	7.4 56.8	

TIE	10	20	30	40	50	60	70	75	80	85	TFE
	Fracción ligera			Fracción intermedia				Fracción pesada			

En base al comportamiento observado de los compuestos de azufre, olefinas, aromáticos y del número de octano se eligieron tres cortes principales que a continuación se explicaran.

4.3.- Selección del corte ligero, intermedio y pesado de la gasolina de FCC.

El corte ligero se determino en base a la mayor concentración de compuestos insaturados, el cual se localiza de la temperatura inicial de ebullición (TIE) hasta el 30% volumen, en donde se encuentra la cantidad más significativa de olefinas de 4 y 5 átomos de carbono (Anexo 4.2), que son utilizadas como carga en diferentes procesos alternos.

El corte intermedio se selecciono de la fracción del 30% hasta el 80% volumen con un contenido de azufre de 1088 ppm-peso, que al integrarse con la fracción ligera** (TIE - 30% volumen) se disminuye a 720 ppm-peso de azufre total. Este corte se consideró más apropiado debido a que el de 85% volumen presenta un incremento considerable de contaminantes (figuras 4.7 y 4.8) y por otro lado, el corte del 75% representa menor cantidad de gasolina con bajo azufre y al mismo tiempo incrementa el contenido de olefinas en la fracción pesada, lo que afecta al índice de octano de la gasolina final.

Tabla 4.4.- Propiedades de los cortes seleccionados de la gasolina de FCC

PROPIEDADES	UNIDADES	FRACCION, % VOLUMEN			
		LIGERA	INTERMEDIA		PESADA
		TIE-30	30-80	TIE-80	80-TFE
PESO ESPECIFICO 20/4 °C		0.6502	0.7665	0.7182	0.8714
COLOR SAYBOLT		~+30	0	15	~+16
TEMPERATURA DE ANILINA	°C	F.M.	24	28.2	10
PRESION DE VAPOR REID	lb/plg ²	22.4	3.9	11.8	0.21
CORROSION AL Cu 31RS @ 50°C		1a	1a	1a	1a
DESTILACION ASTM D-86	°C				
TIE		30.5	87	35.6	172.5
10% vol.		34.5	102.1	50.8	183.5
30% vol.		38.9	110.8	72.8	187.3
70% vol.		46	138.2	125.9	200.6
90% vol.		53.4	155.6	150.3	210.5
TFE		73.3	172.5	172.4	226.8
AZUFRE TOTAL	ppm	100	1088	720	8000
AZUFRE MERCAPTANICO	ppm	9	18.1	28	8.72
PARAFINAS	% vol.	5.64	5.72	5.2	3.92
ISOPARAFINAS	% vol.	37.77	38.84	31.3	16.04
OLEFINAS	% vol.	54.83	15.08	30.5	0.48
NAFTENOS	% vol.	1.42	17.33	11.2	1.38
AROMATICOS	% vol.	0.34	33.03	21.8	78.2
IRON		98.9	87.4	91.6	87.2
MON		78.6	75.2	78.4	76.5
INDICE DE OCTANO		88.7	81.3	85	81.8

El corte pesado por su parte se considera de un 80% volumen hasta la temperatura final de ebullición (TFE), el cual presenta las propiedades reportadas en la tabla 4.4 en donde se observa un alto contenido de azufre (8000 ppm-peso), destilación similar a una turbosina (170 - 204 ° C) y una baja concentración de olefinas.

Para entrar en detalle en cada una de ellas, se analizaran sus principales propiedades y su posible utilización a nivel industrial, empezando con la fracción ligera.

** Se integra el corte ligero y el intermedio (TIE-80% vol.), para evaluar la factibilidad de aplicación de la tecnología en las refinerías que no contemplan en sus esquemas de reformulación a las unidades de TAME.

4.4.- Propiedades y utilización del corte ligero seleccionado.

La distribución de hidrocarburos en la fracción ligera se observa en la tabla 4.5 y figura 4.8 donde se puede ver la alta proporción de olefinas de bajo peso molecular que son carga a la planta de MTBE, TAME y Alquilación.

Tabla 4.5.- Distribución de hidrocarburos en la fracción ligera.

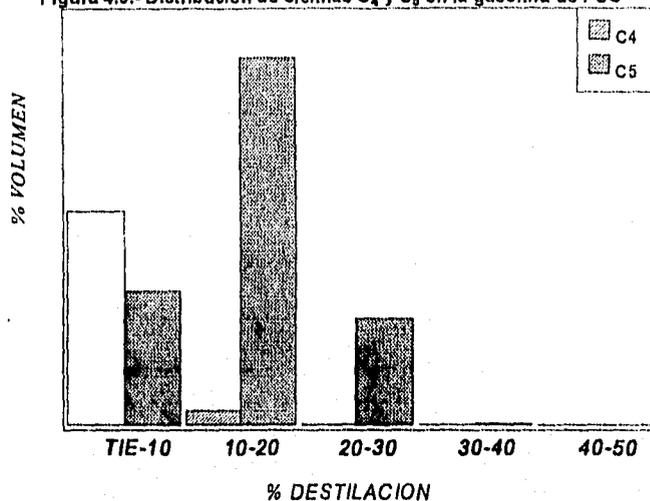
NOMBRE	% VOLUMEN	RON	MON
Iso-butano	0.04	97.6	101.1
Buteno 1 + Iso-buteno	0.34	80.8	97.4
n-Butano	0.41	89.6	93.8
Trans-buteno 2	1.03	82.1	98.7
Cis-buteno 2	1.13	83.5	100.0
3-Metilbuteno	1.04	83.3	98.8
Iso-pentano	20.67	80.3	92.3
1-Penteno	3.52	77.1	80.9
2-Metilbuteno 1	6.26	81.9	100.2
n-Pentano	4.12	82.6	61.7
Isopreno	0.17	81.0	99.1
Trans-penteno	8.96	83.3	98.8
Cis-penteno	4.86	79.5	95.3
2-Metilbuteno 2	11.79	84.7	100.2
Trans 1,3 pentadieno	0.29	84.7	99.1
Cis 1,3 pentadieno	0.1	84.7	99.1
Ciclopenteno	1.52	69.7	100.1
2 Metilpentano	9.15	73.5	73.4
3 Metilpentano	4.75	74.3	74.5
Hexeno	3.4	83.4	76.4
2,2 Dimetilpentano	0.7	83.4	91.8
Metilciclopentano	0.4	72.9	83.6
Benceno	0.32	102.6	102.6
Total de octano		83.4	81.5

Actualmente en México se importan compuestos oxigenados para la producción de gasolina reformulada. Estos sustituyen a compuestos orgánicos tales como aromáticos y olefinas; que tienen como objetivo proporcionar el elemento oxígeno a la mezcla aire - combustible con el fin de obtener una mejor combustión y de esta manera reducir las emisiones de hidrocarburos no quemados y de monóxido de carbono que son arrojados a la atmósfera como consecuencia de una combustión incompleta. Entre las características de estos compuestos es que tienen un alto índice de octano y una presión de vapor baja; además, al ser mezclados con la gasolina logran una sustitución volumétrica de los elementos promotores de la contaminación. (78)

Con el fin de evitar fugas de divisas al importar esta clase de compuestos (39.89 dl/b de MTBE) (79) por un lado y por el otro cumplir con las especificaciones ambientales dispuestas para la Zona Metropolitana del Valle de México, se planteó en el paquete ecológico de Petróleos Mexicanos (tabla 4.6) la construcción y puesta en marcha de diversas unidades productoras de oxigenados y compuestos alquilados que contribuyan al mejoramiento de la gasolina (80). Por otro lado, en las estrategias y acciones del programa de desarrollo y reestructuración del sector de la

energía (1995 - 2000), se contempla la inversión en la construcción de plantas de alquilación en Salina Cruz, Tula y Salamanca para poder disponer de mayor producción de gasolina de alto octano y bajo contenido de contaminantes. (81)

Figura 4.9.- Distribución de olefinas C₄ y C₅ en la gasolina de FCC



De ahí la importancia de disponer de materia prima suficiente y con las características adecuadas para la óptima operación de estas unidades, las que necesitan como carga olefinas de bajo peso molecular para la producción de éteres, ya que las olefinas ramificadas de grandes cadenas dan un número de octano pequeño, por lo que los éteres se deben derivar de olefinas terciarias como el trans-buteno 2 y el 2-metilbuteno 2 que se obtienen de las plantas catalíticas. A continuación se describen brevemente las ventajas que representa la utilización de la fracción ligera de la gasolina de FCC.

- Con la integración de los procesos (MTBE, TAME y Alquilación) se incrementa el volumen de combustibles limpios, lo cual permite disminuir el contenido de olefinas y aromáticos en la gasolina comercial.
- El contenido de olefinas en la gasolina final es aproximadamente reducido en 30%, con lo cual se cumplen las especificaciones de VOC's (Compuestos Orgánicos Volátiles) impuestas por la EPA para 1996. (81-85)
- Disminución de la PVR de la gasolina de FCC, lo cual permite un mayor margen de utilización de productos isomerizados en el pool final de gasolina.

- Disposición de compuestos con elevado octanaje (MTBE, TAME, Alquilado) que permiten la reducción en la severidad de las plantas reformadoras, incrementando el rendimiento de las mismas con lo que se obtiene aproximadamente un incremento de 3% volumen del pool final que a su vez presenta una disminución del 5% de contenido de aromáticos. (83,85)

Tabla 4.6.- Plantas orientadas a elevar la calidad ecológica de la gasolina contempladas en el paquete ecológico (80)

REFINERIA	PLANTAS
Tula, Hgo.	Módulo de regeneración continua en plantas de reformación Planta de alquilación Planta de isomerización Planta de TAME Planta de MTBE
Salina Cruz, Oax.	Módulo de regeneración continua en plantas de reformación Planta de alquilación Planta de isomerización Planta de TAME Planta de MTBE
Minatitlán, Ver.	Módulo de regeneración continua en plantas de reformación Planta de isomerización
Salamanca, Gto.	Módulo de regeneración continua en plantas de reformación Planta de alquilación Planta de isomerización Planta de MTBE
Cadereyta, Nvo. León	Módulo de regeneración continua en plantas de reformación Planta de alquilación Planta de isomerización Planta de MTBE
Madero, Tamps.	Módulo de regeneración continua en plantas de reformación Planta de isomerización

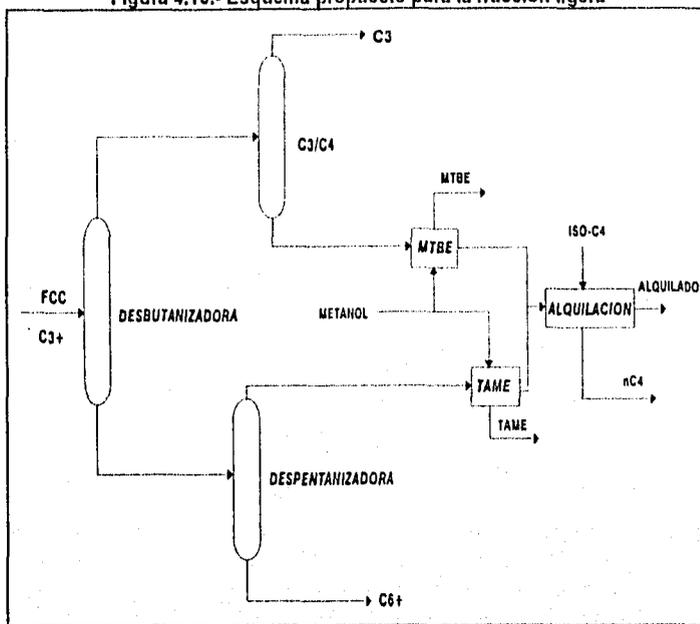
Por todo lo anterior, la fracción ligera puede ser utilizada en un esquema que contemple la integración de los procesos de MTBE, TAME y Alquilación (Figura 4.10), para incrementar la producción de combustibles limpios de alto octano y al mismo tiempo disminuir el contenido de olefinas de la gasolina de FCC.

4.5.- Propiedades del corte intermedio.

La fracción intermedia comprendida del 30 al 80% volumen cumple las especificaciones actuales de contaminantes para una gasolina sin plomo (1000 ppm-peso de azufre, 40 y 20% volumen de aromáticos y olefinas respectivamente); sin embargo, el índice de octano es bajo con respecto a la especificación requerida (81.3 vs. 85 unidades), pero con la adición de compuestos de alto octano producidos a partir del corte ligero este se puede incrementar en 5 unidades aproximadamente, permitiendo la elaboración de gasolina con las especificaciones requeridas. Las demás propiedades del corte intermedio se pueden observar en la tabla 4.4.

Aunque el corte intermedio cumple con las especificaciones para una gasolina Magna Sin, actualmente en el sistema de refinación esta se elabora con la mezcla de diversas corrientes (tabla 3.3); para comprobar los efectos de la formulación se utilizó el corte intermedio como si fuera el total de la gasolina de FCC y se realizó un mezclado en las proporciones reportadas en la tabla 1.14.

Figura 4.10.- Esquema propuesto para la fracción ligera



El resultado de la formulación de la gasolina Magna Sin utilizando la fracción intermedia se reporta en la tabla 4.7; en donde el producto obtenido cumple con la mayoría de las especificaciones actuales para este energético; sin embargo, con la reglamentación que entrara en vigor en el año de 1998 que requiere de la disminución del contenido de azufre y al mismo tiempo del incremento del índice de octano, se observa que la gasolina obtenida no cumple el total de las especificaciones a implementarse en ese año.

tabla 4.7.- Formulación de gasolina Magna Sin utilizando la fracción comprendida del 30 al 80% volumen de la gasolina de FCC.

Propiedad	Magna Sin formulada con la fracción intermedia	Magna Sin Especificación No. 107/90	Magna Sin 1998
Azufre, ppm-peso	423	1000	300
Olefinas, % vol.	8.1	20	10
Aromáticos, % vol.	27	40	30
PVR, lb/in ²	7.8	7 - 8	7 - 8
RON/MON	90/80		--/83
Índice de octano	85	85	87

4.6.- Integración del corte ligero con la fracción intermedia.

Un punto importante a considerar es que las plantas para oxigenados y de alquilación sólo utilizan las olefinas de 4 y 5 átomos de carbono como ya se había mencionado anteriormente, ya que utilizan catalizadores selectivos a este tipo de hidrocarburos, por lo cual una vez procesada la fracción ligera es reintegrada a la gasolina catalítica con la disminución de un 30% volumen de las olefinas totales presentes en la gasolina de FCC. (84)

tabla 4.8.- Gasolina Magna Sin utilizando la fracción comprendida del TIE al 80% volumen de la gasolina de FCC.

Propiedad	Magna Sin formulada con la fracción del TIE al 80% volumen	Magna Sin Especificación No. 107/90	Magna Sin 1998
Azufre, ppm-peso	272	1000	300
Olefinas, % vol.	11	20	10
Aromáticos, % vol.	27	40	30
PVR, lb/in ²	7.3	7 - 8	7 - 8
RON/MON	91.8/82.3		--/83
Índice de octano	87.05	85	87

Para la realización de la integración se fracciona la corriente comprendida de la temperatura inicial de ebullición (TIE) al 80% volumen, presentando las características de la tabla 4.4, en donde se observa un contenido de 720 ppm-peso de azufre total. Esta fracción integrada se mezcla en base al esquema de formulación de la tabla 1.14, obteniéndose un producto que cumple con las especificaciones futuras de una gasolina sin plomo para la Cd. de México (tabla 4.8).

En este punto se puede considerar la opción de utilizar en la elaboración de gasolina Magna Sin sólo la fracción comprendida de la TIE al 80% volumen y el restante desecharlo, ya que presenta un elevado contenido de contaminantes. Esto podría ser una solución a corto plazo, ya que debido a los requerimientos de combustibles en el país para satisfacer el crecimiento del parque vehicular por un lado, y por el otro, con la sustitución paulatina de la gasolina Nova por la Magna, se requiere incrementar la producción de gasolina con bajo contenido de contaminantes y elevado número de octano para satisfacer la oferta de gasolina sin plomo.

De ahí la importancia de la utilización del total de la gasolina de FCC, ya que si sólo se utiliza un 80% de esta no permitirá cumplir con la demanda programada en el año 2000. Otro punto a considerar es que actualmente el sistema de refinación nacional presenta sus mayores gastos en la compra de gasolina base Magna de los Estados Unidos y esta cantidad tiene una tendencia a la alza debido principalmente a la disminución del aprovechamiento de la gasolina de FCC para la formulación de

gasolina sin plomo; debido a que se orienta a la producción de Nova con mayor concentración de azufre.

4.7.- Hidrodesulfuración del corte pesado.

Una alternativa para la utilización del total de la producción de la gasolina de FCC es la disminución del contenido de azufre y aromáticos presentes en las fracciones pesadas de esta corriente.

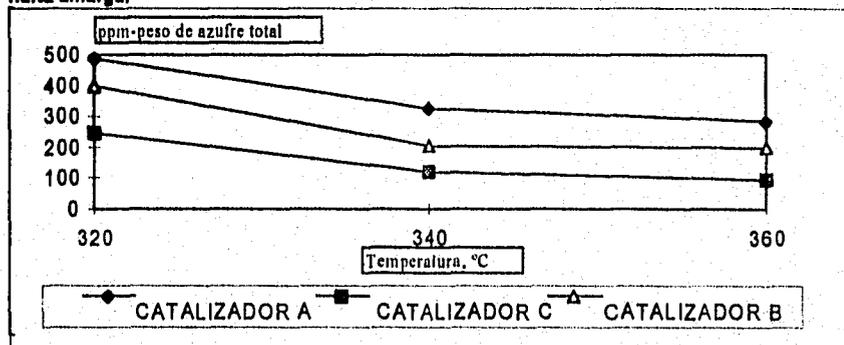
El corte pesado que presenta la mayor concentración de azufre se hidrotatará a diferentes condiciones de operación.

a.- Hidrodesulfuración a condiciones de nafta amarga.

La hidrodesulfuración de la gasolina primaria se realiza a condiciones de operación poco severas, siendo estas las siguientes: presión de 28 Kg/cm², espacio-velocidad de 4h⁻¹, relación hidrógeno-hidrocarburo de 500 ft³/b y temperaturas inferiores de los 340 °C. Los catalizadores son principalmente de Niquel-Molibdeno o de Cobalto-Molibdeno soportados en alumina. La carga utilizada contiene de 300 a 500 ppm-peso de azufre y el producto obtenido presenta concentraciones inferiores a 1 ppm-peso de este contaminante.

Debido a que el corte pesado contiene más de 8000 ppm de azufre total se hidrotarato a las condiciones de operación ya mencionadas y a temperaturas de reacción más severas como son: 320, 340 y 360 °C; así como, la utilización de tres diferentes catalizadores (tabla 3.2) para la realización del hidrotarato. Los productos obtenidos presentaron una disminución significativa en el contenido de azufre total (menos de 500 ppm-peso), como se puede apreciar en la figura 4.11.

Figura 4.11.- Hidrotarato de la fracción pesada de la gasolina de FCC a condiciones de nafta amarga.



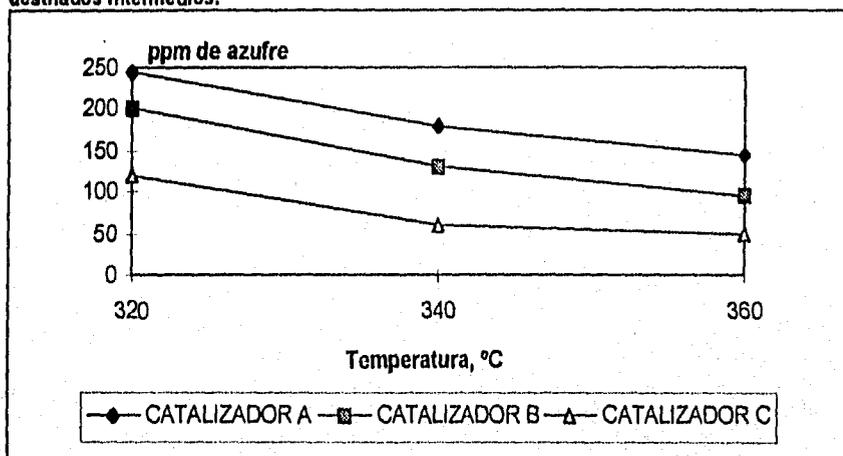
Los productos obtenidos con el catalizador C a base de cobalto presentaron menor concentración de azufre con respecto a los otros dos y no se afectó

considerablemente el octano del corte hidrotratado (87.2 vs. 85 de RON); el catalizador A de níquel por su lado disminuyó considerablemente el octano del corte en más de 5 unidades (87.2 vs. 80.5). En base a estos resultados se observó que los catalizadores de cobalto son más selectivos a la hidrodesulfuración y no afectan en gran medida a los compuestos que proporcionan octano en la gasolina.

b.- Hidrodesulfuración a condiciones de destilados intermedios.

El proceso de hidrotratamiento de destilados intermedios es más flexible en relación a las cargas empleadas, ya que este puede procesar desde una turbosina hasta gasóleos primarios con rangos de ebullición variables (150 a 250 °C de temperatura inicial de ebullición). Las condiciones de operación a las que han sido diseñadas estas unidades son las siguientes: presión de 54 Kg/cm², LHSV de 2.5 h⁻¹ y relaciones de hidrógeno - hidrocarburo de 1800 a 2000 ft³/b. Utilizando catalizadores de Cobalto - Molibdeno o Níquel - Molibdeno soportados en aluminas.

Figura 4.12.- Hidrotratamiento de la fracción pesada de la gasolina de FCC a condiciones de destilados intermedios.



El corte pesado se hidrodesulfuro en base a las condiciones de diseño de las unidades de destilados intermedios, utilizando los catalizadores de la tabla 3.2. Los productos obtenidos presentaron concentraciones de azufre menores a las 300 ppm-peso de azufre a las temperaturas de reacción de 320, 340 y 360 °C, como se pueden observar en la figura 4.12. La destilación del corte pesado es semejante a la de una turbosina, por lo cual el contenido de carbón y metales que se depositan no afectan el ciclo de vida y la actividad relativa del catalizador.

4.8.- Selección de las condiciones óptimas de operación y tipo de catalizador en el hidrotreamiento del corte pesado.

El hidrotreamiento a condiciones de nafta amarga proporciona buenos resultados en la disminución del azufre del corte pesado de la gasolina de FCC ; sin embargo, estas unidades a nivel industrial no son factibles de utilizar para la desulfuración del corte pesado de la gasolina de FCC, por dos razones principales : la primera es que las unidades de hidrosulfuración de gasolina primaria proporcionan la carga a las plantas de reformación ; de donde se obtiene gasolina de alto octano por un lado y por el otro hidrógeno para las unidades de hidrotreamiento. La segunda razón es la poca disponibilidad de unidades de este tipo, ya que sólo se dispone de una o dos planta en cada refinería. Mientras las unidades de hidrotreamiento de destilados intermedios en el sistema de refinación cuenta con mayor capacidad de procesamiento, encontrándose desde tres a cinco unidades en las diferentes refinerías del país.

Una vez hidrosulfurado el corte pesado, se selecciono el catalizador C y la temperatura de 340 °C como los óptimos ; debido a que el catalizador A presenta una disminución considerable del número de octano (más de 8 unidades de RON), mientras que el catalizador B presento una menor actividad que el catalizador C en el por ciento de hidrosulfuración. La temperatura de 340 °C se considero la más adecuada ya que a 320 °C se presenta una concentración de azufre mayor, y a la temperatura de 360 °C hay una pérdida en más de 7 unidades de octano. En la tabla 4.9 se encuentran las características del producto hidrotreamido a 340 °C y a las condiciones de diseño de las unidades de hidrotreamiento de destilados intermedios ; en donde podemos observar que la concentración de azufre obtenido es de 60 ppm-peso, una disminución de 5 unidades en el número de octano de investigación y de 1.5 unidades en el MON.

4.9.- Integración final de la gasolina de FCC, que incluye a la fracción ligera, intermedia y el corte pesado hidrosulfurado.

El corte pesado hidrotreamido a la temperatura de 340 °C se mezcla con la fracción comprendida de la temperatura inicial de ebullición (TIE) al 80% volumen de la gasolina de FCC, en la relación requerida para integrar el cien por ciento del total de la gasolina catalítica (80% volumen de la fracción ligera-intermedia y el 20% volumen del corte pesado hidrotreamido).

La gasolina de FCC resultante presento una disminución en el contenido de azufre y olefinas de más de 1000 ppm-peso y 7 % volumen respectivamente y un incremento de 0.5 unidades en el índice de octano, con lo cual se cumple el objetivo de disminuir contaminantes sin afectar el octano de la gasolina (tabla 4.10).

En la figura 4.13 se puede observar un esquema simplificado del proceso con la utilización de la fracción ligera y la integración final de la gasolina de FCC; así como la identificación de los equipos y/o plantas requeridas para su aplicación industrial. La gasolina obtenida de la integración presenta bajo contenido de azufre, olefinas y un índice de octano satisfactorio para su uso como gasolina sin plomo; sin embargo, es indispensable observar su comportamiento con las demás corrientes que forman a una gasolina comercial.

Tabla 4.9.- Propiedades del corte pesado hidrodesulfurado a condiciones de destilados intermedios.

Condiciones de operación	Destilados intermedios
Presión, Kg/cm ²	54
LHSV, h ⁻¹	2.5
Relación Hidrógeno - Hidrocarburo, ft ³ /b	2000
Temperatura, °C	340
Propiedades	Corte pesado hidrodesulfurado
Peso específico 20/4 °C	0.8499
Color saybolt	+24
Temperatura de anilina, °C	18
Presión de vapor REID, lb/in ²	1.5
Azufre, ppm-peso	60
RON	82.5
MON	75.0
Índice de octano	78.8
Destilación D-86, °C	
TIE/10, % volumen	169/182
30/70	183/193
90/TFE	207/222
Parafinas, % volumen	5.4
Isoparafinas, % volumen	17.3
Olefinas, % volumen	0.0
Naftenos, % volumen	0.8
Aromáticos, % volumen	76.5

4.10.- Formulación de la gasolina Magna Sin que cumpla las futuras especificaciones de calidad ecológica.

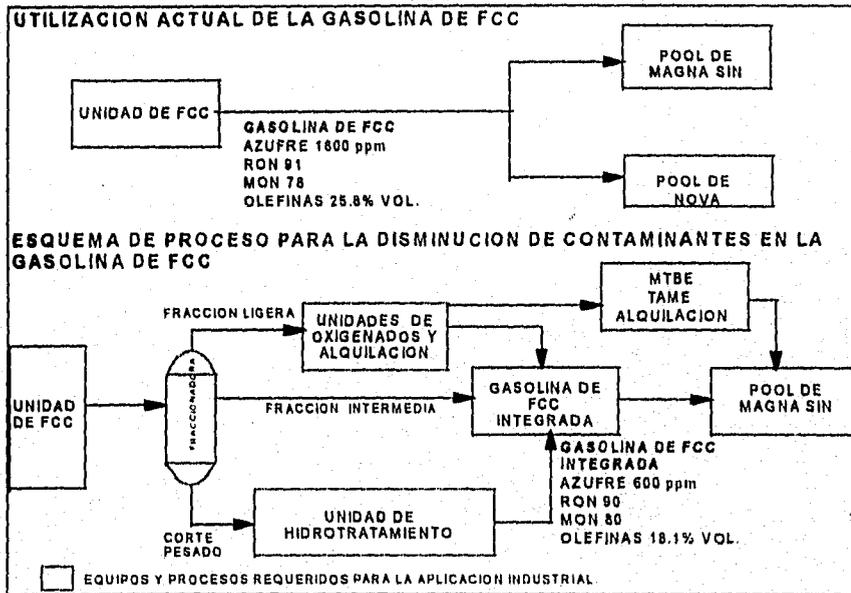
Una vez integrada la gasolina de FCC se utilizó para mezclarse en base a tres esquemas de formulación de Magna Sin; dos de los cuales se realizan actualmente: el primero de acuerdo a la figura 1.3 que representa la elaboración promedio del sistema de refinación nacional, con la utilización de un 40% volumen de gasolina catalítica; el segundo con la formulación de la refinería de Tula, Hgo., de la tabla 3.4 con un volumen del 47% de gasolina de FCC y por último en base a la reformulación esperada con la puesta en marcha del total de unidades de isomerización, MTBE, TAME y alquilación.

tabla 4.10.- Propiedades del la gasolina de FCC integrada.

Propiedades	Gasolina de FCC	Gasolina de FCC integrada	Diferencial
Azufre, ppm	1800	600	-1200
Olefinas, % vol.	25.8	18.1	-7.7
Aromáticos, % vol.	27.2	28.4	+1.2
Intervalo de ebullición	38-222	38-220	igual
RON	91	90	-1
MON	78	80	+2
Índice de octano	84.5	85	+0.5

En la tabla 4.11 se observan las principales propiedades evaluadas de la gasolina Magna Sin elaborada; en donde, se aprecia que al utilizar la gasolina de FCC integrada con el corte pesado hidrotratado cumplimos las especificaciones de azufre, olefinas, octano y la presión de vapor Reid para las regulaciones ambientales de 1998, y sólo en lo que respecta a compuestos aromáticos estamos por arriba del rango permitido; sin embargo, esta limitante esta originada en la unidad de reformación, la cual puede ser solucionada al disminuir la severidad de operación con lo que se disminuye el contenido de aromáticos.

Figura 4.13.- Esquema de proceso para mejorar la calidad de la gasolina de FCC



Con los resultados obtenidos a nivel laboratorio y planta piloto se cumplen las especificaciones futuras de calidad y de impacto ambiental para la elaboración de gasolina comercial sin plomo; con lo cual, se satisfacen los principales objetivos buscados en el presente estudio.

Sin embargo, se requiere una evaluación de la factibilidad de su aplicación a nivel industrial, tanto del proceso de fraccionamiento como del hidrot ratamiento del corte pesado. Para la realización de este análisis se utilizó como herramienta la simulación de procesos con los datos de diseño de las unidades industriales; así como, los resultados obtenidos a nivel experimental para poder concluir con una tecnología de proceso factible de aplicarse a nivel industrial.

tabla 4.11.- Propiedades de la gasolina Magna Sin utilizando la gasolina de FCC obtenida del presente estudio.

Propiedades	Gasolina Magna Sin	Especificación 1998
Azufre, ppm-peso	204	300 máx.
Olefinas, % vol	6	10 máx.
Aromáticos, % vol.	30.4	30 máx.
PVR, lb/in ²	7.9	7 - 8
RON	91.6	--
MON	85	83 min.
Indice de octano	88	87 min.

5.- Desarrollo de Tecnología.

Esta fase del proceso innovador tiene como propósito la obtención de la tecnología que permita llevar a cabo un diseño competitivo de la misma.

Una vez concluida la etapa exploratoria que determina experimentalmente, a escala de banco de laboratorio la viabilidad del proyecto, y la etapa de desarrollo que se realizó a escala de planta piloto para obtener los datos necesarios que lleven a una evaluación precisa ; se procede a la realización de la última fase, que por medio de la simulación se obtiene la información adicional para el diseño y la optimización del proceso.

5.1.- Simulación de equipos claves de la planta FCC.

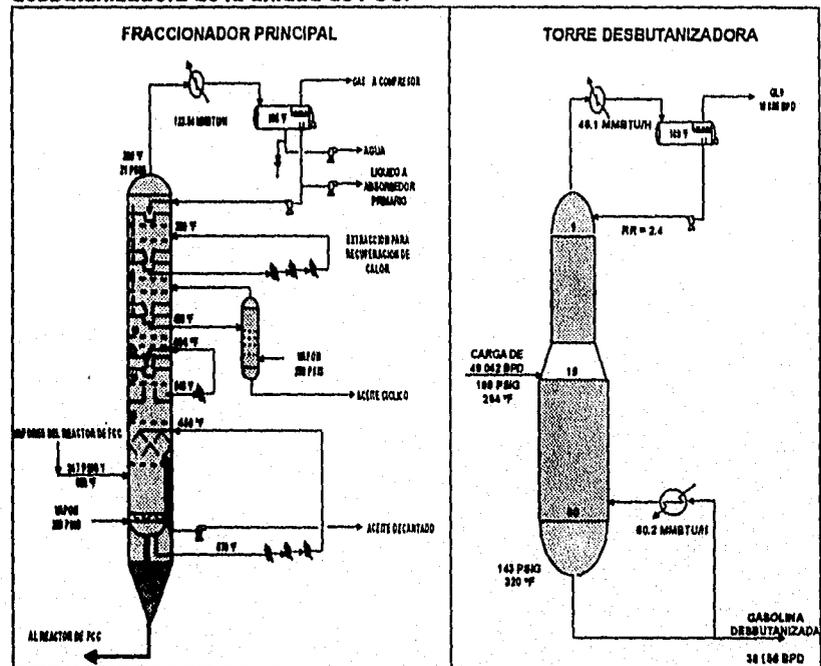
En base a los resultados obtenidos en las etapas experimentales se plantea la posibilidad de separar a la gasolina catalítica en tres fracciones principales : la primera integrada por corrientes ligeras de 4 y 5 átomos de carbón para ser empleada en procesos posteriores para la elaboración de gasolina de alto octano ; la segunda fracción comprendida de C5+ hasta el 80% volumen de la gasolina de FCC y por último un corte pesado rico en contaminantes. Para poder realizar el fraccionamiento de la gasolina se requiere de la simulación de los principales equipos de separación que integran a las plantas de desintegración catalítica fluida de gasóleos.

El propósito de esta evaluación es analizar la factibilidad de implementar la tecnología descrita en una unidad industrial con los equipos existentes o la instalación de equipos alternos para lograr la separación de los productos de las plantas catalíticas, para usarse como materia prima para la elaboración de compuestos oxigenados, y para la separación de la gasolina desbutanizada en gasolina ligera y gasolina pesada para la más adecuada formulación de Magna Sin. Las opciones a realizar son las siguientes :

- 1.- Extracción lateral de C5 de la torre desbutanizadora.
- 2.- Instalación de una torre despentanizadora con extracción lateral de gasolina ligera.
- 3.- Extracción lateral de gasolina pesada del fraccionador principal.
- 4.- Extracción lateral de gasolina pesada del fraccionador principal, utilizando empaques para incrementar la eficiencia de la separación.
- 5.- Instalación de una torre despentanizadora seguida de una torre separadora de gasolinas.

Como punto de partida a manera de validación de los resultados se procedió, como primer paso a la simulación de las condiciones de diseño de una planta de FCC industrial, utilizando un simulador comercial (SIMPROC); de donde se simularon las condiciones de operación, flujos, temperaturas, cargas térmicas, calidad del fraccionamiento y de los productos, etc. Se establece que los productos resultantes se encuentran en especificación y que las condiciones operativas coinciden muy cercanamente con lo indicado en los diagramas de proceso, como se puede observar en la figura 5.1.

Figura 5.1.- Condiciones de diseño de la fraccionadora principal y de la torre desbutanizadora de la unidad de FCC.



5.1.1.- Extracción lateral de C5 de la torre desbutanizadora.

En la figura 5.1 se muestran las características principales de la columna desbutanizadora como opera actualmente sin extracción, número de platos, cargas térmicas de condensador y rehervidor y flujos de carga y productos. La composición presente de la corriente resultante por el domo tiene un 99.1% mol de recuperación de propano-propileno-butanos-butilenos, con un 0.604% mol de contaminación de pesados, mientras que el producto de fondos contiene también una pequeña cantidad de ligeros (0.363% mol), es decir, el fraccionamiento es de

alta calidad (tabla 5.1).

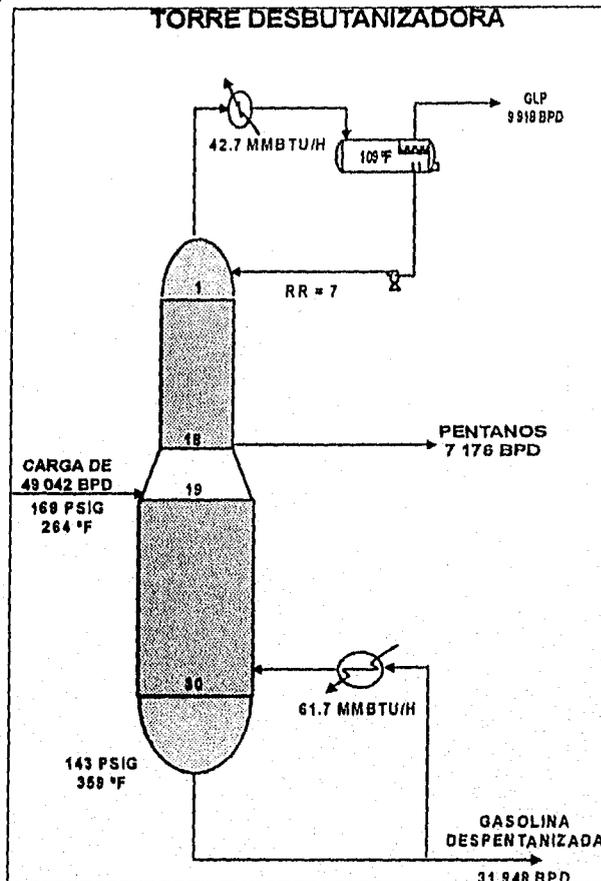
Tabla 5.1.- Simulación de la Torre desbutanizadora original

COMPONENTE	CARGA		C3'S y C4'S		GASOLINA C4+	
	LB-MOL/H	% MOL	LB-MOL/H	% MOL	LB-MOL/H	% MOL
HIDROGENO	0	0	0	0	0	0
NITROGENO	0	0	0	0	0	0
MONOX. CARBONO	0	0	0	0	0	0
BIOX. CARBONO	0.001	0	0.001	0	0	0
METANO	0	0	0	0	0	0
ETILENO	0.1	0.002	0.1	0.006	0	0
ETANO	3.284	0.055	3.284	0.187	0	0
AC. SULFIDR.	53.899	0.897	53.899	3.067	0	0
PROPILENO	443.189	7.380	443.178	25.220	0.011	0
PROPANO	218.952	3.646	218.939	12.459	0.013	0
1-BUTENO	523.502	8.717	516.464	29.391	7.038	0.166
I-BUTANO	362.081	6.029	358.887	20.423	3.194	0.075
N-BUTANO	157.082	2.616	151.891	8.644	5.191	0.122
1-PENTENO	430.434	7.167	3.19	0.182	427.244	10.057
I-PENTANO	367.939	6.127	7.208	0.410	360.731	8.491
N-PENTANO	109.719	1.827	0.206	0.012	109.513	2.578
cte006	802.603	13.364	0	0	802.603	18.892
cte007	691.673	11.517	0	0	691.673	16.281
cte008	600.126	9.993	0	0	600.126	14.126
cte009	426.321	7.099	0	0	426.321	10.035
cte010	329.761	5.491	0	0	329.761	7.762
cte011	249.550	4.155	0	0	249.550	5.874
cte012	230.139	3.832	0	0	230.139	5.417
cte013	5.230	0.087	0	0	5.230	0.123
TOTAL LB-MOL/H	6005.58	100	1757.25	100	4248.337	100
FLUJO TOTAL LB/H*KG/H	508864	230817	89661	40670	419202	190147
TEMPERATURA F°C	264	128.89	109.41	43.01	364.63	184.79
PRESION PSIG*KG/CM2 MAN	169	11.882	128.5	9.035	142.50	10.019
PESO MOLECULAR*K WATSON	84.732	12.066	51.024	13.604	98.674	11.738
DENS. REL. A 60F*API	0.7111	67.482	0.56448	119.173	0.75296	56.426
BPD A 60F	49042.1		10885.9		38156.2	
MMPCSD 68F, 1KG*60F, 1ATM	57.392	54.698	16.793	16.005	40.599	38.693
DENS A PYT LB/FT3*G/CM3	14.9796	0.23995	33.5934	0.53811	39.8790	0.6388
GPM APYT			332.8		1310.6	
VAPORIZACION MOLAR*PESO	0.09910	0.06694				
FACTOR COMPRESIBILIDAD			0.0348		0.0431	
ENTALPIA ESP. BTU/LB-MOL	3516.03		-1273.49		8831.56	
ENTALPIA MBTU/H	21115.8		-2237.8		37519.4	

En la figura 5.2 se ha adicionado a esta columna una extracción lateral en el plato arriba de la alimentación, resultando en un incremento en la carga térmica del rehervidor y de los flujos internos de vapor de la columna, el rendimiento de propanos-propileno-butanos-butilenos y de pentanos ; así como, la calidad de los tres productos se reduce sensiblemente. En la tabla 5.2 se presentan los mejores

resultados de la simulación en cuanto a relación de reflujo, plato de extracción, rendimiento y calidad de productos. La recuperación de destilado líquido disminuye a 86.9% mol, con una contaminación de pesados mayor de 3.742% mol. La recuperación de pentanos es de sólo el 58.6%, con una pureza del 56% mol. El producto de fondos, la nafta despentanzada contiene aún un 9.1% mol de pentanos.

Figura 5.2.- Esquema de torre desbutanizadora con extracción lateral de pentanos



5.1.2.- Instalación de una torre despentanzadora con extracción lateral de gasolina ligera.

Debido a los bajos rendimientos de pentanos y al incremento de la contaminación de las corrientes se propone la instalación de una torre nueva para lograr la

separación de los pentanos, la gasolina ligera y la gasolina pesada, lo que representa una baja inversión para tener un mejor fraccionamiento sin afectar la calidad de los productos del domo de la desbutanizadora.

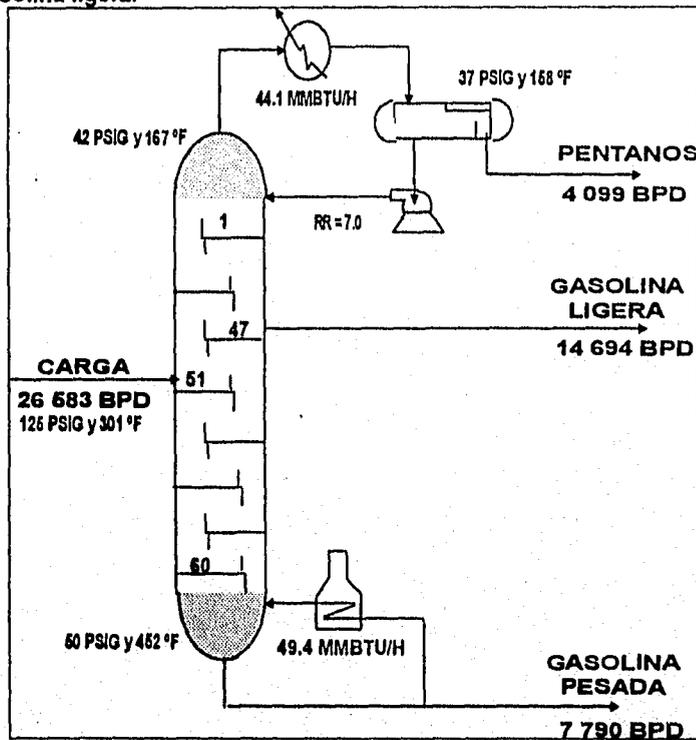
Tabla 5.2.- Simulación de la extracción de pentanos en Torre desbutanizadora.

COMPONENTE	CARGA		C3's y C4's		GASOLINA DESPENTANIZADA		PENTANOS	
	LB-MOL/H	% MOL	LB-MOL/H	% MOL	LB-MOL/H	% MOL	LB-MOL/H	% MOL
HIDROGENO	0	0	0	0	0	0	0	0
NITROGENO	0	0	0	0	0	0	0	0
MONOX. CARBONO	0	0	0	0	0	0	0	0
BIOX. CARBONO	0.001	0	0.001	0	0	0	0	0
METANO	0	0	0	0	0	0	0	0
ETILENO	0.1	0.002	0.097	0.006	0	0	0.003	0
ETANO	3.284	0.055	3.181	0.199	0	0	0.103	0.011
AC. SULFHIDR.	53.699	0.897	52.045	3.259	0	0	1.884	0.195
PROPILENO	443.189	7.380	414.52	25.961	0.002	0	28.595	3.010
PROPANO	218.952	3.646	203.007	12.712	0.002	0	15.943	1.678
I-BUTENO	523.502	8.717	433.397	27.138	0.907	0.026	89.198	9.389
I-BUTANO	362.081	6.029	306.325	19.181	0.443	0.013	55.313	5.822
N-BUTANO	157.082	2.616	124.587	7.801	0.633	0.018	31.662	3.354
I-PENTENO	430.434	7.167	21.876	1.37	147.406	4.262	261.150	27.489
I-PENTANO	367.939	6.127	36.187	2.266	117.192	3.388	214.56	22.585
N-PENTANO	109.719	1.827	1.693	0.106	51.444	1.487	56.582	5.956
cte006	602.603	13.364	0	0	690.171	19.955	112.432	11.835
cte007	691.673	11.517	0	0	643.702	18.612	47.971	5.050
cte008	600.126	9.993	0	0	576.947	16.739	21.179	2.229
cte009	426.321	7.099	0	0	418.401	12.098	7.920	0.834
cte010	329.761	5.491	0	0	326.484	9.44	3.277	0.345
cte011	249.550	4.155	0	0	248.192	7.176	1.358	0.143
cte012	230.139	3.832	0	0	229.429	6.634	0.71	0.075
cte013	5.230	0.087	0	0	5.223	0.151	0.007	0.001
TOTAL LB-MOL/H	6005.58	100	1596.991	100	3458.576	100	950.017	100
FLUJO TOTAL LB/H*KG/H	508864	230817	81896	37147	359515	163073	67453	30596
TEMPERATURA F°C	264	128.89	109.04	42.6	405.23	207.35	225.31	107.39
PRESION PSIG*KG/CM2 MAN	169	11.882	128.5	9.035	142.5	10.019	140.8	9.885
PESO MOLECULAR*K WATSON	84.732	12.068	51.281	13.586	103.949	11.585	71.002	12.735
DENS. RELATIVA A 60°F*API	0.7111	67.482	0.56590	118.545	0.77123	51.972	0.6442	88.151
BPD A 60F	49042.1		9918.2		31947.8		7176.1	
MMPCSD 68F, 1KG*60F, 1ATM	57.392	54.698	15.261	14.545	33.051	31.5	9.079	8.653
DENS A P Y T LB/FT3*G/CM3	14.9796	0.23995	33.704	0.53988	40.091	0.6422	35.769	0.57296
GPM A P Y T			302.9		1118		235.1	
VAPORIZACION MOLAR*PESO	0.09910	0.06694						
FACTOR COMPRESIBILIDAD			0.0349		0.0430		0.0411	
ENTALPIA ESP. BTU/LB-MOL	3516.03		-1299.97		11627.4		2379.3	
ENTALPIA MBTU/H	21115.8		-2076.0		39866.3		2260.4	

En la figura 5.3 se muestra el arreglo de la columna, que es alimentada con los fondos de la torre desbutanizadora, después de intercambiar calor en los precalentadores, pero antes de entrar al enfriador. Se muestran las cantidades de productos, cargas térmicas y el número de platos necesarios. La columna de fraccionamiento resultante es de 10 pies de diámetro, 60 platos reales y una altura total de 137 pies, la alimentación es en el plato 51 y la extracción lateral en el 47. Se requiere una relación de reflujo de 7 para evitar la contaminación de pentanos con pesados y obtener una alta recuperación.

La presión de operación es la más baja posible para enfriar con aire en el condensador, sin embargo, la temperatura del fondo es demasiado alta para poder evitar el uso de un calentador a fuego directo como fuente de calor en el rehervidor. La carga térmica del condensador es de 44.1 MMBTU/H y del rehervidor de 49.4 MMBTU/H.

Figura 5.3.- Instalación de una torre despentanizadora con extracción lateral de gasolina ligera.



La tabla 5.3 presenta el balance detallado de las corrientes, donde se observa que la recuperación de los pentanos es ahora del 83.1% mol y la gasolina ligera contiene aún un 6.2% mol de pentanos. El rendimiento de gasolina ligera/gasolina pesada es de 1.9/1 con una temperatura final de ebullición ASTM de 170°C para la gasolina ligera.

En este arreglo no se ha perjudicado el rendimiento y calidad de los propano-propileno-butanos-butilenos, pero al fraccionar tres productos en una sola torre, uno de ellos como extracción lateral, se presentan nuevamente pérdidas en

rendimientos y pobres purzas de los productos.

Tabla 5.3.- Torre despentanizadora con extracción lateral de gasolina ligera.

COMPONENTE	GASOLINA DESBUTANIZADA		PENTANOS		GASOLINA PESADA		GASOLINA LIGERA	
	LB-MOL/H	% MOL	LB-MOL/H	% MOL	LB-MOL/H	% MOL	LB-MOL/H	% MOL
HIDROGENO	0	0	0	0	0	0	0	0
NITROGENO	0	0	0	0	0	0	0	0
MONOX. CARBONO	0	0	0	0	0	0	0	0
BIOX. CARBONO	0	0	0	0	0	0	0	0
METANO	0	0	0	0	0	0	0	0
ETILENO	0	0	0	0	0	0	0	0
ETANO	0	0	0	0	0	0	0	0
AC. SULFHIDR.	0	0	0	0	0	0	0	0
PROPILENO	0.008	0	0.007	0.001	0	0	0	0
PROPANO	0.009	0	0.009	0.002	0	0	0	0
I-BUTENO	4.903	0.166	4.528	0.847	0	0	0.375	0.22
I-BUTANO	2.225	0.075	2.063	0.386	0	0	0.162	0.009
N-BUTANO	3.617	0.122	3.31	0.819	0	0	0.306	0.018
I-PENTENO	297.661	10.057	247.685	46.327	0	0	49.976	2.916
I-PENTANO	251.321	8.491	209.892	39.259	0	0	41.429	2.418
N-PENTANO	78.298	2.578	61.812	11.561	0	0	14.485	0.845
cte006	559.174	18.892	5.334	0.998	0.013	0.002	553.827	32.32
cte007	481.889	16.281	0	0	0.434	0.061	481.454	28.096
cte008	418.108	14.128	0	0	14.214	1.997	403.894	23.57
cte009	297.018	10.035	0	0	154.135	21.660	142.883	8.338
cte010	229.744	7.762	0	0	209.027	29.374	20.717	1.209
cte011	173.861	5.874	0	0	170.502	23.960	3.360	0.196
cte012	160.338	5.417	0	0	159.631	22.433	0.707	0.041
cte013	3.644	0.123	0	0	3.840	0.511	0.004	0.000
TOTAL LB-MOL/H	2959.817	100	534.64	100	711.596	100	1713.581	100
FLUJO TOTAL LB/H*KG/H	292058	132476	37881	17228	94871	43033	159206	72215
TEMPERATURA F°C	301	149.44	158.23	70.13	470.33	243.52	342.54	172.52
PRECION PSIG*KG/CM2 MAN	126	8.789	37	2.601	60	3.516	48.10	3.382
PESO MOLECULAR*K WATSDN	88.674	11.738	71.041	12.865	133.322	11.235	82.908	11.768
DENS. RELATIVA A 60F*API	0.75296	56.426	0.635	91.321	0.83487	38.029	0.74253	59.064
BPD A 60F	26583.4		4099		7789.9		14694.5	
MMPCSD 68F; 1KG*60F,1ATM	28.285	26.858	5.109	4.869	6.800	6.481	16.376	15.607
DENS A P Y T LB/FT3*G/CM3	41.7743	0.6691	37.2571	0.5968	43.7238	0.7004	41.38	0.66253
GPM A P Y T	871.6		127.1		270.5		479.9	
FACTOR COMPRESIBILIDAD	0.0385		0.0139		0.0188		0.0167	
ENTALPIA ESP. BTU/LB-MOL	4738.15		-509.8		17075.64		4380.14	
ENTALPIA MBTU/H	14024.1		-272.5		12151		7505.7	

5.1.3.- Extracción lateral de gasolina pesada del fraccionador principal.

La unidad de desintegración catalítica seleccionada cuenta actualmente en el fraccionador principal con una extracción en el plato número 5 para recuperación de calor y para el aceite de absorción utilizado en la sección de vapores. La extracción actual tiene un flujo de diseño de 95,000 BPD y retorna completamente al plato número 3. De este modo, la extracción de la gasolina pesada, del orden de 4,000 BPD (20% volumen), se llevaría a cabo a través de este mismo arreglo, prácticamente con un mínimo de modificaciones (tabla 5.4 -Condiciones de diseño- y figura 5.1).

Existe un valor óptimo de extracción, que es un compromiso entre los factores que se enuncian a continuación :

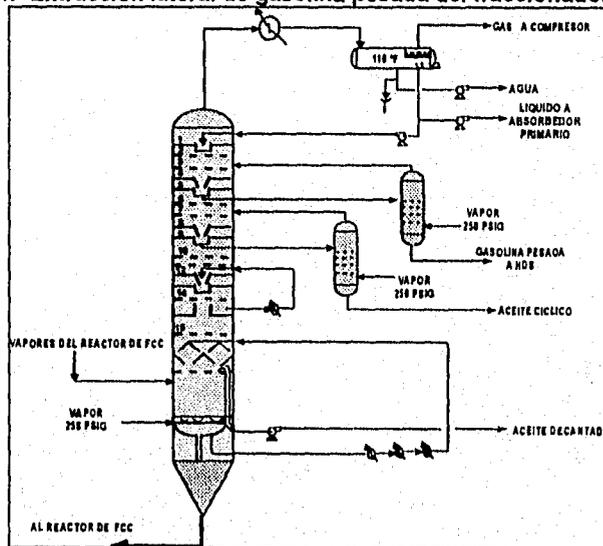
a) Al tratar de obtener altos flujos de extracción se propician mayores arrastres de ligeros, se obtiene también un punto final de ebullición elevado del corte y, además, se altera el equilibrio del acumulador de reflujo, hacia una menor condensación de líquidos y mayor producción de gas al compresor de envío a la sección de recuperación de vapores.

b) Si el plato de extracción se localiza más abajo, se disminuye el arrastre de ligeros, pero se perjudica la separación entre la extracción y el aceite cíclico ligero (ACL), aumentando los pesados en la extracción y los ligeros en el ACL.

c) Por otro lado, subiendo el plato de extracción se disminuye el punto final de ebullición de la extracción, pero aumenta el arrastre de ligeros.

Debido a lo anterior el producto de extracción que se obtiene presenta un alto contenido de ligeros, por provenir directamente de un plato de equilibrio. Estos ligeros representan un serio inconveniente, como pérdida de olefinas para la producción de oxigenados y gasolina alquilada, además de ser carga poco útil en el proceso de hidrosulfuración (reducen el tiempo de vida útil del catalizador). Por lo tanto, es necesario instalar un agotador lateral para la extracción, de características semejantes a las del agotador de aceite cíclico ligero (figura 5.4).

Figura 5.4.- Extracción lateral de gasolina pesada del fraccionador principal.



La simulación de la tabla 5.4 presentan resultados de la extracción lateral de gasolina pesada sin agotador lateral (extracción lateral). Puede observarse claramente en las curvas de destilación la influencia del empleo del agotador de la extracción, sin embargo, las extracciones aún contienen ligeros y la gasolina ligera contiene más pesados de 170° C de TBP, debido a la eficiencia de separación que puede alcanzarse con este tipo de equipos a escala industrial (Extracción lateral agotador y caso óptimo). El agotador requerido es de 3 pies de diámetro, 16 pies de altura y 4 platos perforados. La efectividad de la extracción del corte deseado, de 170 a 220° C de TBP, es de 43% y 68.8%, respectivamente, para las simulaciones sin agotador y con el agotador.

Tabla 5.4.- Extracción lateral de gasolina pesada del fraccionador principal.

	CONDICIONES DE DISEÑO		EXTRACCIÓN LATERAL		EXT. LATERAL AGOTADOR		CASO OPTIMO		DOS PLATOS ABAJO	
	BPD	%	BPD	%	BPD	%	BPD	%	BPD	%
CARGA	49,207		49,207		49,207		49,207		49,207	
Gas húmedo	21.162	43	22.541	46	22.731	46	22.774	46	22.830	46
Nafta inestabilizada	18.932	38	14.474	29	13.086	26	13.095	26	13.068	26
Extracción nafta pesada	0	0	3.068	6.2	4.395	8.9	4.080	8.3	4.053	8.2
ACL	6.794	14	6.793	13.8	6.658	13.5	6.918	14	6.905	14
Fondos	3.423	7	3.423	7	3.423	7	3.423	7	3.423	7
Total de productos	50.310		50.299		50.292		50.290		50.278	
PARAMETROS DE OPERACIÓN										
Reflujo, lbmol/h	574		1.100		1.404		1.409		1.518	
RR	0		0		0.235		0.235		0.235	
T condensador, ° F	106.8		111.5		109.7		110		110.5	
Q condensador, MMBTU/h	107.46	33.6	100.3	32	101	32	101	32	101.9	32
Q extracción superior	54.5	17	54.4	17.4	54.5	17	54.5	17	54.5	17.3
Q extracción inferior 1	50.5	16	50.5	16	50.5	16	50.5	16	50.5	16
Q extracción inferior 2	94.9	30	94.9	30	94.9	30	94.9	30	94.9	30
Q extracción inferior 3	12.8	4	12.8	4	12.8	4	12.8	4	12.8	4
Q TOTAL	320.16	100	313	100	314	100	314	100	315	100
ESPECIFICACIONES DE PRODUCTOS										
GAS										
PM del gas	42.6		42.4		44.2		44.2		44.3	
GASOLINA										
Curva ASTM D-86, °C										
TIE	-42.1		-41.2		-41.9		-41.8		-41.8	
5%	15.9		16.7		16		16.1		16.1	
50%	120.6		111.7		105.2		105.5		105.6	
95%	207.4		186.8		174.0		174.7		169.7	
TFE	219.8		212.1		203.5		202.5		190.5	
EXTRACCIÓN										
Curva ASTM D-86, °C										
TIE	40.8		37.8		108.7		119.8		141	
5%	153.0		147.1		161.7		164		177.7	
50%	210.8		200.6		196.8		195.8		198.6	
95%	229.4		226.3		225.6		224.1		229.5	
TFE	248.8		247.7		247.8		242.3		268.6	
Temp. de Inflamación, °C			18.8		35.2		37.8		47.3	
RVP, psia			6.3		1		1		0.9	
TVP, psia			6.5		1.1		1		1	

Los resultados de la simulación son considerados óptimos para los propósitos del estudio, sin embargo es importante señalar que en la columna fraccionadora

principal a nivel industrial no es posible separar íntegramente el corte pesado, como se obtuvo en el laboratorio, de la gasolina de FCC, por limitaciones propias del sistema, ya que se trata de una separación con valores bajos tanto de reflujo como de números de platos, pero de menor costo y adecuada para propósitos industriales.

La última simulación de la tabla 5.4 muestra el efecto de localizar la extracción dos platos más abajo. Aunque la recuperación del corte aumenta al 72.6%, su temperatura final de ebullición ASTM sube a 273° C, que es inapropiada para enviar el corte desulfurado directamente al pool de gasolinas.

5.1.4.- Extracción lateral de gasolina pesada del fraccionador principal, utilizando empaques para incrementar la eficiencia de la separación.

Como una opción para incrementar la recuperación del corte pesado y al mismo tiempo tener mayor eficiencia de separación, se evaluó el uso de empaques estructurados.

El costo de los empaques estructurados es muy elevado, por lo que su utilidad y beneficios deben quedar debidamente demostrados ya que estos varían en configuración para proporcionar un amplio rango de eficiencias y capacidades. Los extremos son: por un lado, empaques muy cerrados que logran una pequeña altura de plato teórico, pero sin aumento de capacidad, hasta empaques muy abiertos que ocasionan bajas caídas de presión, dan gran capacidad, pero tienen baja eficiencia. Para el estudio se consideró la realización de la simulación del fraccionador principal utilizando empaques de diferentes eficiencias, que nos permitan trabajar a la capacidad nominal de la unidad.

Las simulaciones de la tabla 5.5 representan la instalación de empaques en el fraccionador principal en diferentes zonas, que a continuación se describen:

- La corrida denominada caso óptimo es realizada con platos y agotador lateral (tabla 5.4).
- La corrida denominada zonasup es con un empaque de eficiencia media desde el domo hasta el retorno del plato 3.
- La corrida zonainf es con un empaque de eficiencia media en la zona comprendida del retorno del plato 3 al plato de extracción.
- La corrida empmedia es con un empaque de eficiencia media en las zonas del domo al retorno del plato 3 y del retorno del plato 3 al plato de extracción.
- La corrida empalta es con un empaque de alta eficiencia en las zonas del domo

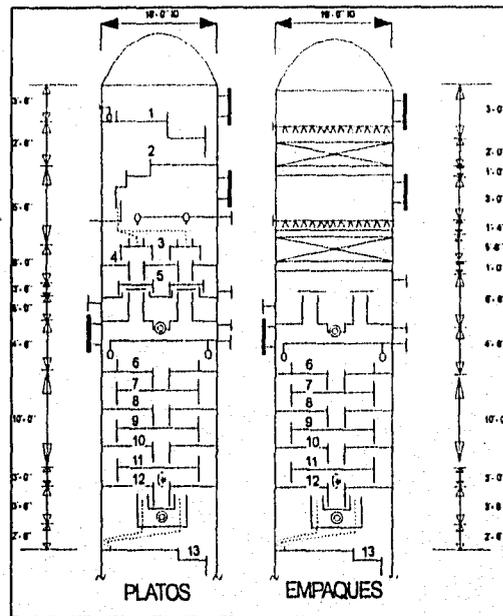
al retorno del plato 3 y del retorno del plato 3 al plato de extracción.

Tabla 5.4.- Extracción lateral de gasolina pesada del fraccionador principal.(cont.)

	CONDICIONES DE DISEÑO		EXTRACCION LATERAL		EXT. LATERAL AGOTADOR		CASO OPTIMO		DOS PLATOS ABAJO	
AC. CICLICO LIGERO										
Curva ASTM D-86, °C										
TIE	202.6		201.9		201.4		194.2		190.1	
5%	234		232.6		233.6		229.9		224	
50%	289.9		289.8		291.7		288.4		288.5	
95%	353.4		353.4		353.7		353.2		353.2	
TFE	371.2		378.2		378.3		378.1		378.1	
Temp. de inflamación, °C			83.3		83.8		80.8		77.5	
AC. CICLICO PESADO										
Curva ASTM D-86, °C										
TIE	216.6		216.6		216.6		216.6		216.6	
5%	355.5		355.5		355.5		355.5		355.5	
50%	456.6		456.5		456.5		456.5		456.5	
95%	554.2		554.2		554.2		554.2		554.2	
TFE	569.3		569.3		569.3		569.3		569.3	
CALIDAD DEL FRACCIONAMIENTO, GAPS										
5 Extrac. - 95 gasolina	26.61		-39.7		-13.23		-10.77		7.99	
5 ACL - 95 Extrac.			6.28		7.97		5.85		-5.54	
5 ACP - 95 ACL	2.08		2.08		1.79		2.38		2.33	
OTROS PARAMETRO OPERACIONALES										
Ret. Molar de vap. En agot :										
Extracción (ago-nafta)					91%		88%		86%	
ACL (stripper 102-E)					89.2%		90.4		90.2%	
Vapor de agotm. extrac, lb/hr					1.000		1.500		1.500	
Vapor de agotm. ACL, lb/h	3.300		3.300		3.000		2.500		2.500	
PUMPAROUNDS										
Tray 5 to 4										
T1 - T2 °C	332.8	248	322.6	237	315.8	229	314.5	228	299	211
Flujo, BPD	94.499		95.000		94.999		94999		94.997	
Tray 15 to 13										
T1 - T2	578.7	450	579	450	579	450	578	450	578	450
Flujo, BPD	48.127		48.129		48.126		48123		48119	
Tray 17 to 16										
T1 - T2	608.6	415	608	415	608	415	608	415	608	415
Flujo, BPD	58.439		58.500		58.500		58501		58500	
Tray 17 to 17										
T1 - T2	608.6	411	609	412	609	412	608	412	608	412
Flujo, BPD	7.492		7.500		7.500		7.499		7.500	
TEMPERATURA DE PLATOS, °F										
Plato No. 2	273.2		246		232		233		228	
Plato No. 5	332.8		322		315		314		299	
Plato No. 8	367		381		381		378		360	
Plato No. 11	480.4		480		480		480		479	
Plato No. 14	548.7		549		549		549		549	
GASOLINA										
Curva TBP a 760, °C										
TIE	-58.9		-58.2		-58.8		-58.7		-58.6	
TFE	227		216		206		205		194	
Flujo, BPD	18.932		14.474		13.086		13095		13.068	
% vol. corte 170-220 °C	25.84		16.22		9.43		10		8	
BPD corte 170-220 °C	4.892		2.347		1.234		1.259		1.042	
Gasolina + Extracción, BPD	4.892		4.147		3.955		3.913		3.809	
Pérdida del corte, % vol.	100%		56.6		31.2		32.2		27.4	
Recuperación del corte, % vol	0%		43.41		68.8		67.8		72.6	

La figura 5.5 muestra el detalle de la columna en la zona en que se sustituirían los platos por empaques. El flujo de extracción de gasolina pesada de las cuatro simulaciones es el mismo que en las corridas previas con platos, de modo que el beneficio del mejor fraccionamiento se capitaliza en menor temperatura final de la gasolina ligera. La extracción, por su parte, muestra un aumento en su temperatura inicial de ebullición (tabla 5.6)

Figura 5.5.- Cambio de platos por empaques en la fraccionadora principal de la unidad FCC.



La colocación del empaque es más atractivo en la zona superior que en la inferior, siendo la corrida "empalta" la que presenta la mayor eficiencia de separación (tabla 5.6); sin embargo, la magnitud de la mejora en la recuperación del corte es pequeña (71 vs. 67.8% volumen) para justificar la inversión. Sería fácil demostrar por una evaluación económica que no es rentable el uso de los empaques estructurados para los propósitos de separación de la gasolina pesada.

Tabla 5.5.- Extracción lateral de gasolina pesada del fraccionador principal, utilizando empaques para incrementar la eficiencia de la separación.

	CASO OPTIMO		ZONASUP (EMPAQUES)		ZONAINF (EMPAQUES)		EMPMEDIA (EMPAQUES)		EMPALTA (EMPAQUES)	
	BPD	%	BPD	%	BPD	%	BPD	%	BPD	%
CARGA	49.207		49.207		49.207		49.207		49.207	
Gas húmedo	22.774	46	22.774	46.3	22.777	46.3	22.777	46.3	22.780	46.3
Nafta Inestabilizada	13.095	26	13.081	26.6	13.088	26.6	13.079	26.6	13.073	26.6
Extracción nafta pesada	4.080	8.3	4.097	8.3	4.087	8.31	4.098	8.33	4.104	8.3
ACL	6.918	14	6.917	14	6.916	14.1	6.915	14.05	6.913	14.0
Fondos	3.423	7	3.423	6.7	3.423	7	3.422	7	3.422	7
Total de productos	50.290		50.291		50.291		50.291		50.291	
PARAMETROS DE OPERACIÓN										
Reflujo, lbmol/h	1.409		1.412		1.410		1.419		1.424	
RR	0.235		0.237		0.235		0.237		0.238	
T condensador, °F	110		110		110		110		110	
Q condensador, MMBTU/h	101	32	100.7	32	100.7	32	100	32	100	32
Q extracción superior	54.5	17	54.5	18	54.5	17	54.5	17	54.5	17
Q extracción inferior 1	50.5	16	50.5	16	50.5	16	50.5	16	50.5	16
Q extracción inferior 2	94.9	30	94.9	30	94.9	30	94.9	30	94.9	30
Q extracción inferior 3	12.8	4	12.8	4	12.8	4	12.8	4	12.8	4
Q TOTAL	314	100	313	100	313	100	313	100	313	100
ESPECIFICACIONES DE PRODUCTOS										
GAS										
PM del gas	44.2		44.2		44.2		44.2		44.2	
GASOLINA										
Curva ASTM D-86, °C										
TIE	-41.8		-41.8		-41.8		-41.8		-41.8	
5%	16.1		16.03		18.1		16		16	
50%	105.5		105.4		105		105		105	
95%	174.7		173		173		172.5		172	
TFE	202.5		198		200		196.9		191	
EXTRACCION										
Curva ASTM D-86, °C										
TIE	119.8		121		121		122		123	
5%	164		166		165		167		168	
50%	195.8		196		196		196		197	
95%	224.1		224		224		224		224	
TFE	242.3		242		242		242		242	
Temp. de Inflamación, °C	37.8		39		39		39.8		40.6	

5.1.5.- Instalación de una torre despentanizadora seguida de una torre separadora de gasolinas.

La figura 5.6 muestra este arreglo, en donde la gasolina desbutanizada se toma antes del enfriador de gasolina a 125 psig y 301 °F y se alimenta a la torre despentanizadora, de 7.5 pies de diámetro, de 50 platos reales y una altura total de 115 pies, que operará a 40 psig con el propósito de usar enfriamiento con aire en el condensador y vapor de media presión en el rehervidor. Se utiliza una relación de reflujo de 2.4.

Tabla 5.5.- Extracción lateral de gasolina pesada del fraccionador principal, utilizando empaques para incrementar la eficiencia de la separación.(cont.)

	CASO OPTIMO		ZONASUP (EMPAQUES)		ZONAINF (EMPAQUES)		EMPMEDIA (EMPAQUES)		EMPALTA (EMPAQUES)	
	BPD	%	BPD	%	BPD	%	BPD	%	BPD	%
RVP, psia	1		0.99		1		1		0.98	
TVP, psia	1		1.03		1		1		1.02	
AC. CICLICO LIGERO										
Curva ASTM D-86, °C										
TIE	194.2		194.2		194		194		194	
5%	229.9		229.9		229		229		229	
50%	288.4		288.4		288		288		288	
95%	353.2		341.6		353		353		353	
TFE	378.1		353.2		378		378		378	
Temp. de inflamación, °C	80.8		80.8		80.8		80.8		80.8	
AC. CICLICO PESADO										
Curva ASTM D-86, °C										
TIE	218.6		216		216		216		216	
5%	355.5		355		355		355		355	
50%	456.5		456		456		456		456	
95%	554.2		554		554		554		554	
TFE	569.3		569		569		569		569	
CALIDAD DEL FRACCIONAMIENTO										
5 Extrac. - 95 gasolina	-10.77		-6.92		-8.19		-5.4		-3.32	
5 ACL - 95 Extrac.	5.85		5.74		5.78		5.71		5.66	
5 ACP - 95 ACL	2.36		13.88		2.37		2.32		2.29	
OTROS PARAMETRO OPERACIONALES										
Rel. Molar de vap. En agot :										
Extracción (ago-nafta)	88%		88		87.9		87.9		87.9	
ACL (stripper 102-E)	90.4%		90.4		90.4		90.4		90.3	
Vapor de agotm. Extrac, lb/hr	1.500		1500		1500		1500		1500	
Vapor de agotm. ACL, lb/h	2.500		2500		2500		2500		2500	
PUMPAROUNDS										
Tray 6 to 4										
T1 - T2 °C	314.5	228	317	230	316	231	318	233	320	234
Flujo, BPD	94999		94997		94999		94999		95000	
Tray 15 to 13										
T1 - T2	578	450	579	450	578	450	579	450	579	450
Flujo, BPD	46123		46103		46117		46100		46091	
Tray 17 to 16										
T1 - T2	608	415	609	415	609	415	608	415	608	415
Flujo, BPD	56501		56501		56502		56501		56498	
Tray 17 to 17										
T1 - T2	608	412	609	412	609	412	609	412	608	412
Flujo, BPD	7499		7499		7500		7500		7500	
TEMPERATURA DE PLATOS, °F										
Plato No. 2	233		230.4		231.1		229.3		228.7	
Plato No. 5	314		285.2		288.4		282.3		278.1	
Plato No. 8	378		365.6		365.5		360.5		290	
Plato No. 11	480		428.3		428.3		395.2		366.2	
Plato No. 14	549		513.8		513.8		501.8		428.8	
GASOLINA										
Curva TBP a 760, °C										
TIE	-58.7		-58.7		-58.7		-58.7		-58.7	
TFE	205		200.9		203.1		199.9		195.0	
Flujo, BPD	13095		13.081		13.088		13.079		13.073	
% vol. corte 170-220 °C	10		9		9		9		9	
BPD corta 170-220 °C	1.259		1.197		1.223		1.178		1.146	
Gasolina + Extracción, BPD	3.913		3921		3921		3932		3954	
Pérdida del corte, % vol.	32.2		30.53		31.20		29.96		28.99	
Recuperación del corte, % vol	67.8		69.47		68.8		70.04		71.01	

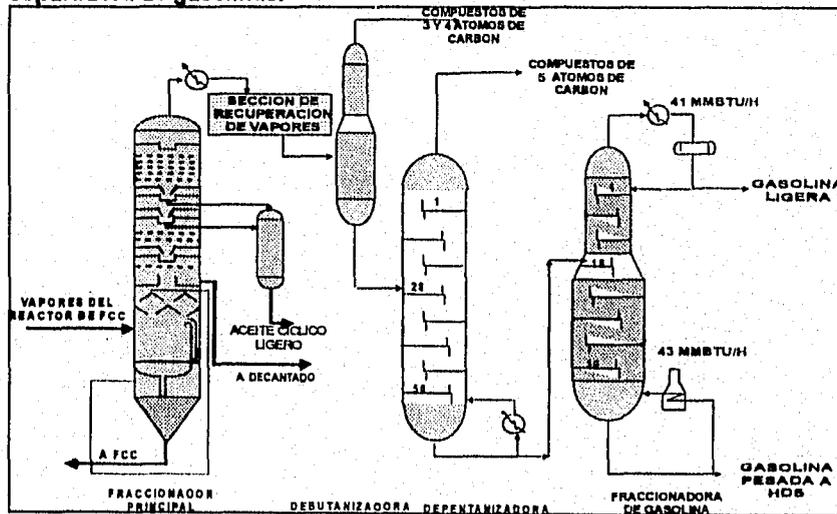
La tabla 5.7 y 5.8 muestran el balance detallado de las composiciones de las corrientes, donde se observa que la recuperación de los pentanos es del 99%, con una pureza de 98.3% mol. La gasolina despentanizada sólo contienen 0.26% mol de ligeros.

Tabla 5.6.- Recuperación del corte 170-220°C, utilizando empaques estructurados en el fraccionador principal de la unidad FCC.

SIMULACION	CASO OPTIMO	ZONASUP	ZONAINF	EMPMEDIA	EMPALTA
TFE DE LA GASOLINA, °C	202.5	197.9	200	196.9	191.4
TIE DE LA EXTRACCIÓN, °C	119.8	121.4	121.4	122.4	123.2
RECUPERACION DEL CORTE 170-220°C, % VOL.	67.8	69.5	68.8	70	71

La corriente de hexanos y más pesados se envía al fraccionador de gasolina de 10.5 y 12 pies de diámetro superior e inferior y 60 pies de altura, con 30 platos tipo perforados. El condensador y el rehervidor son de 41 y 43 MMBTU/H de carga térmica, respectivamente. Estos requerimientos térmicos pueden ser dados con agua de enfriamiento o aire y combustible, o bien, a través de intercambio térmico parcial con otras corrientes.

Figura 5.6.- Instalación de una torre despentanizadora seguida de una torre separadora de gasolinas.



La tabla 5.9 presenta los resultados del fraccionamiento, con los flujos de productos y curvas ASTM y TBP de los cortes. En ella se observa que la recuperación del corte pesado en el producto de fondos es de 93.9% volumen.

**Tabla 5.7.- Torre despentanizadora con fraccionadora de gasolinas
(Torre despentanizadora).**

COMPONENTE	GASOLINA DESBUTANIZADA		PENTANOS		GASOLINA DESPENTANIZADA	
	LB-MOL/H	% MOL	LB-MOL/H	% MOL	LB-MOL/H	% MOL
HIDROGENO	0	0	0	0	0	0
NITROGENO	0	0	0	0	0	0
MONOX. CARBONO	0	0	0	0	0	0
BIOX. CARBONO	0	0	0	0	0	0
METANO	0	0	0	0	0	0
ETILENO	0	0	0	0	0	0
ETANO	0	0	0	0	0	0
AC. SULFHIDR.	0	0	0	0	0	0
PROPILEND	0.008	0	0.008	0.001	0	0
PROPANO	0.009	0	0.009	0.001	0	0
1-BUTENO	4.903	0.166	4.903	0.778	0	0
I-BUTANO	2.225	0.075	2.225	0.353	0	0
N-BUTANO	3.617	0.122	3.817	0.574	0	0
1-PENTENO	297.681	10.057	295.493	46.902	2.168	0.093
I-PENTANO	251.321	8.491	249.939	39.671	1.382	0.059
N-PENTANO	76.298	2.578	73.818	11.717	2.480	0.106
cte006	559.174	18.892	0.01	0.002	559.164	24.001
cte007	481.889	16.281	0	0	481.889	20.684
cte008	418.108	14.126	0	0	418.108	17.948
cte009	297.018	10.035	0	0	297.018	12.749
cte010	229.744	7.762	0	0	229.744	9.861
cte011	173.861	5.874	0	0	173.861	7.463
cte012	160.338	5.417	0	0	160.338	6.882
cte013	3.644	0.123	0	0	3.844	0.156
TOTAL LB-MOL/H	2959.817	100	630.022	100	2329.795	100
FLUJO TOTAL LB/H*KG/H	292058	132475	44697	20274	247381	112201
TEMPERATURA F°C	301	149.44	155.02	68.34	331.55	166.42
PRESION PSIG*KG/CM2 MAN	125	8.789	35	2.461	48.87	3.281
PESO MOLECULAR* K WATSON	98.674	11.738	70.945	12.87	106.173	11.533
DENS. RELATIVA A 60°F*API	0.75296	58.426	0.63454	91.495	0.77923	50.089
BPD A 60F	26583.4		4827.5		21755.9	
MMPCSD 68F, 1KG*60F,1ATM	28.285	26.958	6.021	5.738	22.264	21.220
DENS A P Y T LB/FT3*G/CM3	41.7743	0.6691	37.3095	0.59764	42.9496	0.68799
GPM A P Y T	871.6		149.4		718	
FACTOR COMPRESIBILIDAD	0.0385		0.0134		0.0169	
ENTALPIA ESP. BTU/LB-MOL	4738.15		-655.69		6402.96	
ENTALPIA MBTU/H	14024.1		-413.1		14917.6	

5.2.- Innovación tecnológica

La siguiente etapa de la metodología es la fase de innovación tecnológica, la que se enfocará al diseño del proceso óptimo para obtener gasolina catalítica con bajo contenido de contaminantes y elevado octano; así como, ser factible de implementarse en una refinería actual del país. El esquema de proceso desarrollado a nivel planta piloto requiere de la obtención de tres cortes principales, los cuales son:

- Fracción ligera rica en compuestos de 4 y 5 átomos de carbón,
- Fracción intermedia comprendida de C5+ hasta 170°C y
- Fracción pesada comprendida del corte 170 a 220°C (TFE).

Para la obtención de estos cortes se evaluaron por simulación diferentes alternativas de procesos que implican modificar la torre desbutanizadora y/o la fraccionadora principal, encontrándose que las adecuaciones requeridas presentan bajos costos de inversión; sin embargo, los rendimientos y calidad de las fracciones son menores a las requeridas experimentalmente, como se aprecia en la tabla 5.10 y al mismo tiempo se observan problemas en la operación de la sección de recuperación de vapores y en la pureza de los compuestos de 3 y 4 átomos de carbón.

**Tabla 5.8.- Torre despentanizadora con fraccionadora de gasolinas
(Torre fraccionadora de gasolina)**

COMPONENTE	GASOLINA DESPENTANIZADA		GASOLINA LIGERA		GASOLINA PESADA	
	LB-MOL/H	% MOL	LB-MOL/H	% MOL		
HIDROGENO	0	0	0	0	0	0
NITROGENO	0	0	0	0	0	0
MONOX. CARBONO	0	0	0	0	0	0
BIOX. CARBONO	0	0	0	0	0	0
METANO	0	0	0	0	0	0
ETANO	0	0	0	0	0	0
AC. SULFHIDR.	0	0	0	0	0	0
PROPILENO	0	0	0	0	0	0
PROPANO	0	0	0	0	0	0
1-BUTENO	0	0	0	0	0	0
I-BUTANO	0	0	0	0	0	0
N-BUTANO	0	0	0	0	0	0
1-PENTENO	2.168	0.093	2.168	0.135	0	0
I-PENTANO	1.382	0.059	1.382	0.088	0	0
N-PENTANO	2.480	0.106	2.480	0.155	0	0
cte006	559.164	24.001	558.949	34.883	0.214	0.029
cte007	481.889	20.684	477.926	29.827	3.963	0.545
cte008	418.108	17.946	370.830	23.143	47.278	6.499
cte009	297.018	12.749	144.140	8.968	152.878	21.016
cte010	229.744	9.881	38.418	2.394	191.328	26.301
cte011	173.861	7.463	5.557	0.347	168.305	23.136
cte012	160.338	6.882	0.801	0.031	159.837	21.972
cte013	3.644	0.156	0.001	0.00	3.643	0.501
TOTAL LB-MOL/H	2329.795	100	1602.352	100	727.44	100
FLUJO TOTAL LB/H*KG/H	247361	112201	151400	88674	95962	43528
TEMPERATURA F° C	331.55	166.42	197.26	81.82	345.22	174.01
PRESION PSIG*KG/CM2 MAN	46.67	3.281	3	0.211	7.52	0.529
PESO MOLECULAR*K WATSON	106.173	11.533	94.486	11.718	131.917	11.241
DENS. RELATIVA A 60°API	0.77923	60.069	0.74873	57.487	0.83275	38.419
BPO A 60F	21755.9		13858.3		7897.6	
NMPCSD 66F, 1KG*60F, 1ATM	22.264	21.220	15.313	14.594	6.962	6.625
DENS A P Y T LB/FT3*G/CM3	42.9496	0.68799	44.0101	0.70497	46.2778	0.743
GPM A P Y T	718		428.9		258.5	
FACTOR COMPRESIBILIDAD	0.0169		0.0044		0.0061	
ENTALPIA ESP. BTU/LB-MOL	6402.96		-785.61		7835.20	
ENTALPIA MBTU/H	14917.8		-1258.8		5699.7	

La opción de instalar una torre despentanizadora seguida de una fraccionadora de gasolina ligera y pesada (figura 5.6), se considera como el diseño de proceso óptimo, ya que se obtienen propanos y butanos con una composición del 99.1% mol, recuperación de pentanos de 99% con pureza de 98.3% mol, que nos permiten elaborar compuestos oxigenados y gasolina alquilada de alto octano con mayor rendimiento y calidad. Se puede separar la gasolina despentanizada en dos fracciones sin afectar la operación de la unidad catalítica; presentando una producción de 7897 BPD del corte pesado con una recuperación de la fracción del 93.9% volumen; así como, 13,858 BPD de gasolina ligera con menos de 600 ppm en peso de azufre total y bajo contenido de olefinas.

Tabla 5.9.- Resultados del Fraccionamiento y flujos de productos de la columna fraccionadora

Destilación	Carga despentanizada	Gasolina ligera	Gasolina pesada
BPD	21,756	13,858	7,897
ASTM D-86, °C			
TIE	84.7	82.8	186
10/30	84.7/94.4	82.8/84.1	186/189
50/70	122/155	99/122	193/200
90/TFE	192/219	145/166	211/223
TBP a 760 mmHg, °C			
TIE	61.2	61.2	157.7
10/30	64.8/86.8	62.9/76.3	171/184
50/70	123/160	99/126	195/207
90/TFE	202/225	154/170	221/230
Recuperación del Corte (170 - 220 °C)			93.9%

En base a los resultados obtenidos, se concluye que es factible a nivel industrial realizar el fraccionamiento de la gasolina de FCC en tres cortes principales con las características encontradas en la parte experimental y sólo se requiere la adición de dos torres fraccionadoras si se desea tener altos rendimientos y buenos rangos de calidad; sin embargo, es factible obtener estas fracciones con menor pureza y rendimiento de los cortes con pequeñas modificaciones a la torre fraccionadora principal y a la desbutanizadora de la unidad de FCC. Con lo anterior se obtiene una gasolina catalítica con menos de 600 ppm en peso de azufre total que se envía íntegramente a la formulación de gasolina Magna Sin.

Una vez identificado el diseño de proceso que satisface los requerimientos obtenidos a nivel experimental, los rendimientos y calidades de los productos a nivel simulación se realiza el análisis de la implementación en los sistemas actuales y futuros de las diferentes refinerías existentes en el país. Con lo cual se podrá proponer la aplicación del esquema en alguna de las unidades de

desintegración catalítica de gasóleos de los diferentes centros de trabajo de Petróleos Mexicanos.

Tabla 5.10 Ventajas y desventajas de las opciones evaluadas en la simulación de proceso.

OPCION	VENTAJAS	DESVENTAJAS	RECUPERACION DEL CORTE
Extracción lateral de C5 en la torre desbutanizadora	<ul style="list-style-type: none"> • Mínima Inversión 	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento en la carga térmica de rehervidor y flujo de vapor en columna desbutanizadora • Disminución de calidad y rendimiento de productos 	<ul style="list-style-type: none"> • 58.6% de recuperación de pentanos con una pureza del 56% mol.
Instalación de torre despentanizadora con extracción lateral de gasolina ligera	<ul style="list-style-type: none"> ■ Separación de pentanos, gasolina ligera y pesada con una sola torre. ■ No afecta la calidad de los propanos-butanos 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta relación de reflujo • Uso de calentador a fuego directo • Pérdidas en rendimientos y pureza de los productos 	<ul style="list-style-type: none"> • 83.1% de recuperación de pentanos • 1.9/1 rendimiento de gasolina ligera/pesada con TFE de 170°C
Extracción lateral de gasolina pesada del fraccionador principal	<ul style="list-style-type: none"> ■ Mínimo de inversión ■ Reducido tiempo para la adecuación 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo rendimiento de gasolina pesada • Problemas de operación en el domo del fraccionador y en la sección de recuperación de vapores. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gasolina pesada con un rendimiento del 68.8% vol.
Extracción lateral de gasolina pesada con torre fraccionadora principal empacada	<ul style="list-style-type: none"> ■ Mínimas modificaciones ■ Baja inversión ■ Mayor separación y calidad de la gasolina pesada 	<ul style="list-style-type: none"> • La magnitud de la recuperación del corte no justifica la inversión en la compra de los empaques 	<ul style="list-style-type: none"> • Gasolina pesada con un rendimiento del 71% volumen.
Instalación de torre despentanizadora seguida de torre separadora de gasolinas	<ul style="list-style-type: none"> ■ Altos rendimientos y purezas en butanos, pentanos, gasolina ligera y pesada ■ Flexibilidad de operación al incrementarse la proporción de crudo Maya a la mezcla de carga a las combinadas ■ No afecta la operación de la unidad de FCC 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayores costos de inversión y operación 	<ul style="list-style-type: none"> • Recuperación del 99% de pentanos con pureza de 98.3% • Gasolina pesada con rendimiento del 93.9% volumen.

6.- Factibilidad técnica de aplicación industrial de la innovación tecnológica en México.

El sistema de refinación nacional cuenta con seis centros de trabajo localizados en el país, los cuales tienen una capacidad total de destilación primaria de 1.5 millones de barriles por día, que consumen aproximadamente el 52% de la producción total de crudo a nivel nacional (80). Diseñados para maximizar los volúmenes de producción, estas instalaciones están siendo reconfiguradas y modernizadas para optimizar el valor productivo de las diferentes refinerías.

Dentro de los cambios más significativos están los orientados al mejoramiento de la turbosina, el diesel y las gasolinas automotrices que son los productos con mayores precios en el mercado y, al mejorar su rendimiento, pueden aumentar significativamente el retorno de la inversión en capacidad de refinación.

Al modernizar el sistema de refinación, se han puesto en marcha diferentes unidades de proceso que permiten maximizar la elaboración de productos valiosos, ya mencionados; sin embargo, la realización del estudio se orienta exclusivamente al esquema de producción de gasolina Magna Sin. Dividiéndose en dos etapas: la primera que se enfoca a explicar la obtención de gasolina en los esquemas actuales de refinación y una segunda, que tiene como objetivo analizar los cambios en los esquemas de refinación nacional para elaborar gasolina hasta el año 2000.

6.1.- Esquema actual de refinación (hasta 1996).

La elaboración de gasolina en las diferentes refinerías depende principalmente de las unidades que integran a cada centro de trabajo, siendo las que proporcionan mayor volumen de este hidrocarburo las siguientes:

- a) La unidad de reformación catalítica
- b) La planta de desintegración catalítica fluida
- c) Compuestos oxigenados (MTBE, TAME, etc.)
- d) Planta de alquilación
- e) Otras unidades

A continuación mencionaremos brevemente la producción y tipo de hidrocarburos presentes en las corrientes obtenidas de los anteriores incisos.

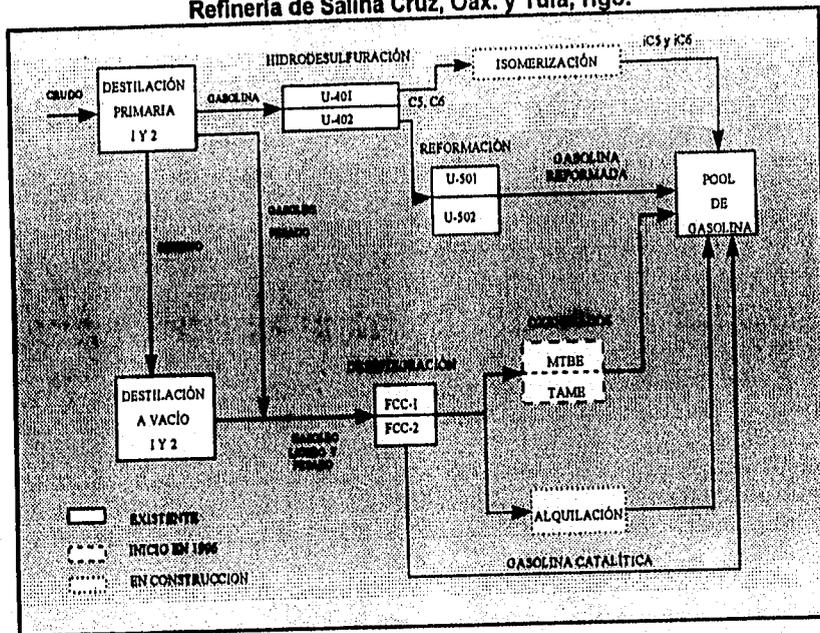
- a) Proceso de reformación catalítica.

El proceso de reformación ha sido un soporte para la mayoría de las refinerías durante muchos años. El objetivo original de este proceso fue el de mejorar las naftas de bajo octanaje provenientes de la destilación primaria, y así obtener

mezclas de combustibles para motores de más alto octano, mediante la promoción catalítica de grupos específicos de reacciones químicas.

El proceso de reformación catalítica se ha estado mejorando continuamente para poder satisfacer las necesidades cambiantes de la industria automotriz; los esfuerzos combinados de las áreas de desarrollo de catalizadores y de ingeniería permitieron la creación de las reformadoras de regeneración catalítica continua (CCR), que permite severidades extremadamente altas, sin hacer paros frecuentes, debido a las desactivaciones catalíticas.

Figura 6.1.- Esquema de refinación para la elaboración de gasolina Magna Sin Refinería de Salina Cruz, Oax. y Tula, Hgo.

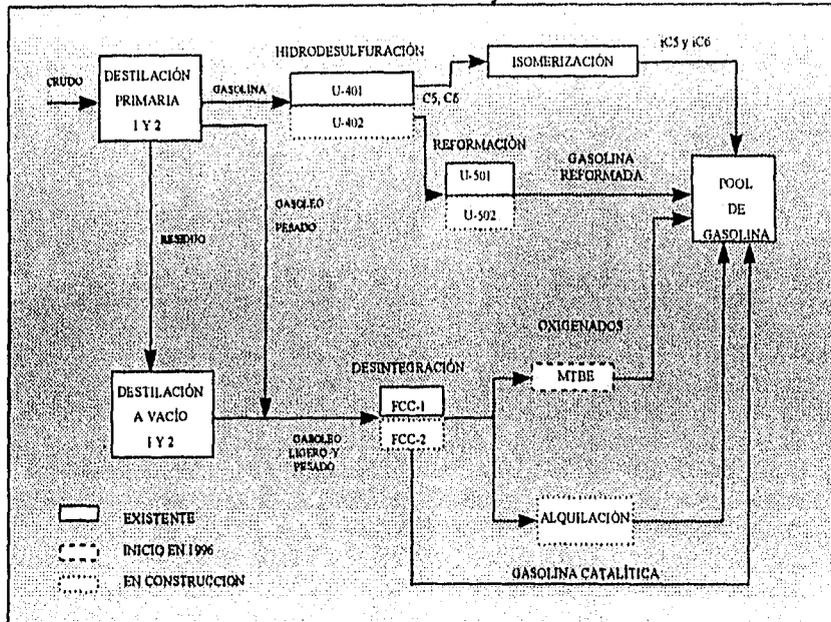


Las naftas provenientes del crudo contienen diferentes tipos de hidrocarburos. Los aromáticos pasan por la reformadora básicamente inalterados. La mayoría de los naftenos reaccionan rápida y eficientemente formando compuestos aromáticos de elevado número de octano y las parafinas son los compuestos más difíciles de convertir a aromáticos y cicloparafinas.

Podemos decir que actualmente toda refinería cuenta por lo menos con una unidad de reformación; como es el caso de Cadereyta y Cd. Madero, las cuales presentan una capacidad nominal de 40 mil barriles por día de gasolina primaria. En el resto del sistema de refinación existen dos unidades (Tula, Minatitlán,

Salina Cruz y Salamanca) y sólo en Minatitlán se tiene una unidad reformadora BTX, aparte de las reformadoras convencionales (figura 6.1 y 6.2).

Figura 6.2.- Esquema de refinación para la elaboración de gasolina Magna Sin Refinería de Cadereyta N.L.



b) Planta de desintegración catalítica.

Las unidades de FCC al igual que las de reformación se localizan por lo menos una en cada refinería del país con una capacidad nominal de 40,000 BPD, de donde se obtiene aproximadamente de 20 a 25 mil BPD de gasolina. El proceso y tipo de carga se puede ver en el inciso 1.1.

c) Compuestos oxigenados.

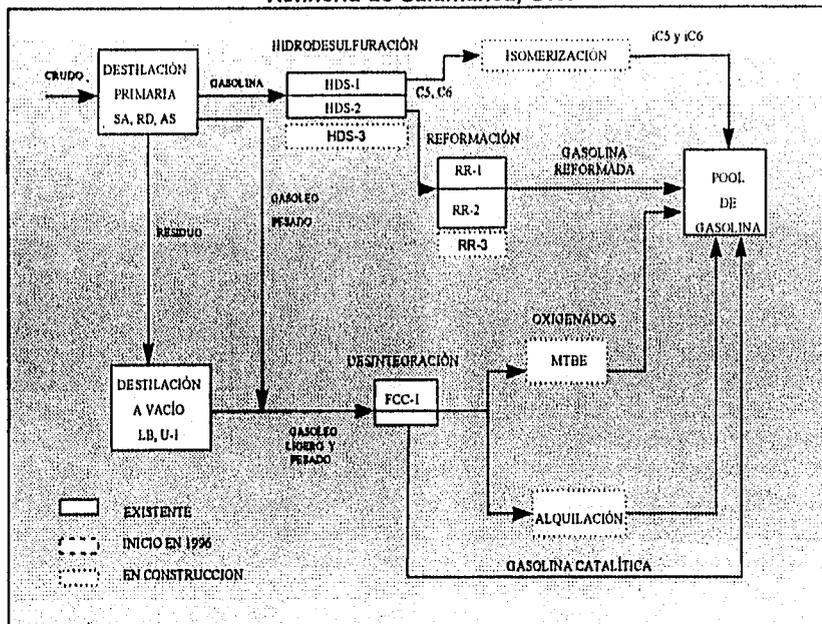
La introducción de las gasolinas reformuladas en el mercado internacional vino acompañada de la utilización de compuestos éterificados que desplazan al plomo como ingrediente elevador de octano y al mismo tiempo permite disponer de una mayor concentración de oxígeno en la mezcla carburante que disminuye las emisiones provenientes de la combustión del hidrocarburo.

La elaboración de estos compuestos es con la mezcla de olefinas de bajo peso molecular y alcoholes; siendo los más comercializados el MTBE (metil terbutil

éter) que se produce a partir de isobutileno y metanol, el ETBE (etil terbutil éter) de isobutileno y etanol y el TAME (ter amil metil éter) de isoamilenos y metanol.

La producción de MTBE a partir de isobutileno proporcionan una concentración aproximada de 0.3% peso del total de la gasolina. Al producir TAME en adición a el MTBE puede incrementarse el total de oxígeno en alrededor de 0.6% peso.

Figura 6.3.- Esquema de refinación para la elaboración de gasolina Magna Sin Refinería de Salamanca, Gto.



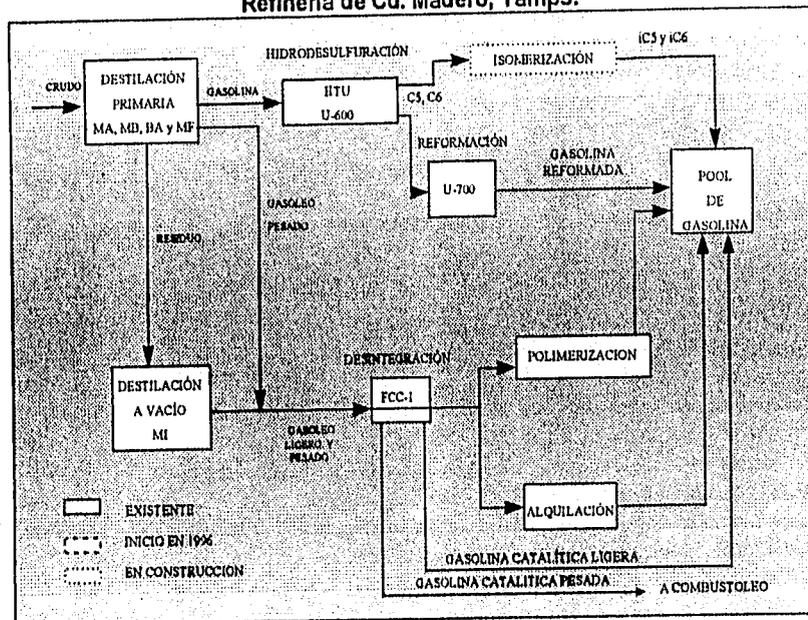
Las unidades de MTBE contempladas en el sistema de refinación es una en cada centro de trabajo y las de TAME sólo en Tula y Salina Cruz, lo que permitirá disponer de compuestos oxigenados para la formulación de gasolinas en las principales ciudades del país (figura 6.3).

d) Gasolina alquilada.

La gasolina obtenida por alquilación deriva de procesos en los cuales los isoalcanos de molécula pequeña (isobutano) se unen con los alquenos de tamaño pequeño, como los butenos, obteniéndose compuestos con alto número de octano y baja presión de vapor reíd; en general el alquilado satisface perfectamente todas las restricciones impuestas por las normas actuales de calidad de una gasolina.

En México existían dos unidades de alquilación; una que está operando en Cd. Madero y otra que se traslado de la ex-refinería de Azcapotzalco a Cadereyta y actualmente se adecua y moderniza para entrar en funcionamiento. A parte de estas dos unidades se están construyendo tres unidades adicionales en las refinerías de Salamanca, Tula y Salina Cruz (figura 6.4).

Figura 6.4.- Esquema de refinación para la elaboración de gasolina Magna Sin Refinería de Cd. Madero, Tamps.



e) Otras unidades

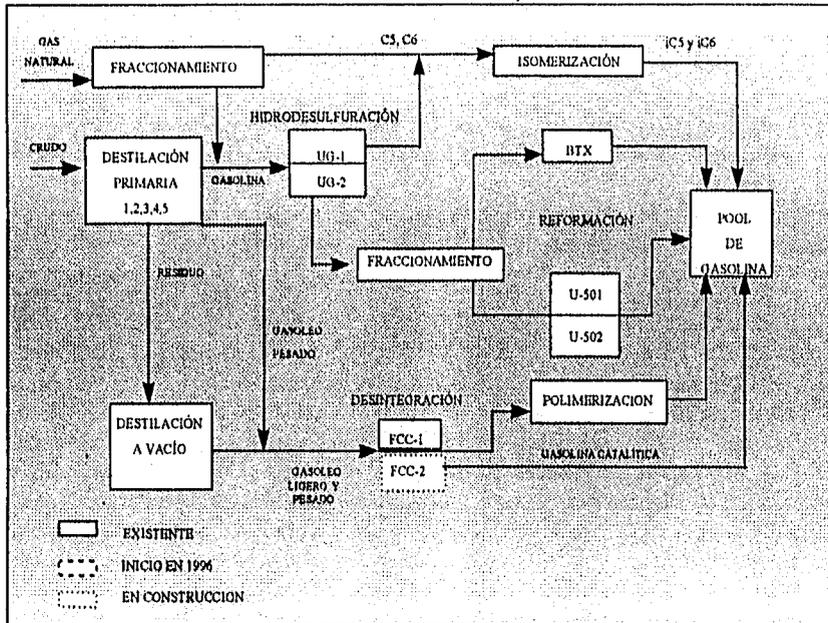
El total de refinerías contará con plantas isomerizadoras de n-pentano y/o n-hexano; en este proceso las cargas son obtenidas de las unidades de desulfuración de naftas amargas, destilados intermedios y del despunte de crudos. Las n-parafinas son convertidas a isómeros ramificados con alto número de octano.

Las plantas reductoras de viscosidad producen cantidades considerables de gasolina (3000 a 5000 BPD); sin embargo, esta corriente por presentar un alto contenido de azufre, olefinas y aromáticos, se mezcla con la gasolina primaria y se desulfura para posteriormente ser procesada en las unidades reformatoras.

Las refinerías de Cd. Madero y Minatitlán cuentan con plantas polimerizadoras de gasolinas, las cuales utilizan olefinas de 3 y 4 átomos de carbón para obtener una

mezcla de alquenos ramificados que se destilan en los limites de la temperatura de ebullición de la gasolina. Esta gasolina tiene, el índice de octano de 96 a 97 unidades de RON y 82 a 84 unidades de MON, y características de mezclado sumamente buenas (figura 6.5).

Figura 6.5.- Esquema de refinación para la elaboración de gasolina Magna Sin Refinería de Minatitlán, Ver.



6.2.- Esquema futuro de refinación (de 1996 al 2000).

Los programas de operación e inversión para 1996 en adelante serán congruentes con lo establecido en el Programa de Desarrollo y Reestructuración del Sector de la Energía 1995-2000. En el cual se contempla una demanda de gasolinas con un crecimiento mínimo durante el periodo 1994-2000, de 1.8% en promedio anual, manteniéndose en un volumen ligeramente superior a los 550 MBD. Sin embargo, la demanda de la gasolina sin plomo Magna Sin continuará aumentando a tasas mayores, estimándose que en el año 2000 su participación en el mercado alcance el 75 por ciento.

La instrumentación de una estrategia para cumplir los requerimientos mencionados del hidrocarburo, supone políticas y acciones orientadas principalmente a dos puntos; el primero es atender al desarrollo del mercado nacional de petrolíferos mediante el suministro de combustibles que satisfagan las

necesidades de los usuarios y consolidar una actitud orientada al reconocimiento de los requerimientos del mercado y el segundo es atender las exigencias derivadas de la normatividad ambiental, mejorando la calidad de los combustibles.

En condiciones de limitación de recursos de inversión, se ha definido una jerarquización estricta de los proyectos de inversión contemplados en este programa, que se han dividido en tres categorías principales.

- Mejora de la calidad de combustibles: Se pondrá en marcha el proyecto de gasolina de alto octanaje (equivalente a la gasolina unleaded premium del mercado de EUA) y se concluirá el programa de retiro definitivo de la gasolina Nova.
- Conversión de residuales
- Incremento de la capacidad de proceso

Para poder llevar a cabo estos programas se requiere la construcción y puesta en marcha de las siguientes unidades:

Mejora de la calidad de combustibles	Conversión de residuales	Incremento de la capacidad de proceso
Alquilación en Salina Cruz, Tula y Salamanca.	Coquizadora en Cadereyta.	Nuevo tren de refinación con coquizadora en Tula o Salina Cruz.
Isomerización en todas las refinerías.	Desulfuradora al vacío de combustóleo en Tula.	
Desintegradora catalítica en Salina Cruz.		
Hidrotratadores de destilados en Salamanca y Cadereyta.		

Con estos proyectos se persigue asegurar la capacidad del sistema para producir destilados de especificaciones más altas, generando más fuentes de octanaje para una mayor producción de gasolina Magna Sin o aumentar la capacidad de hidrodesulfuración que permita elevar la producción de diesel Sin. En segundo término, se busca que las refinerías actuales adquieran una configuración competitiva orientada a la mayor producción de petrolíferos ligeros de mayor valor agregado. Finalmente, la necesidad de adicionar nuevos trenes de refinación depende críticamente del crecimiento de la demanda de productos.

6.3.- Desarrollo del proceso y su integración al esquema de refinación.

La unidad catalítica utilizada en la simulación de proceso se localiza físicamente en las refinerías de Tula, Salina Cruz, Cadereyta y Salamanca. Las dos primeras cuentan con plantas de MTBE, TAME y alquilación con lo cual se dispondrá del esquema completo para la fracción ligera, con 5 y 4 unidades de destilados intermedios respectivamente en las cuales se puede realizar el hidrotreatmento de la fracción pesada; cabe mencionar, que las unidades HDT cuentan con el catalizador utilizado en la etapa experimental, con lo cual los resultados obtenidos a nivel planta piloto son representativos de los niveles de hidrosulfuración esperados a nivel industrial, ya que estos catalizadores fueron diseñados y evaluados en dichas plantas. Las dos refinerías restantes no contarán con la planta de TAME, lo que no limita la aplicabilidad del proceso, ya que los compuestos de 5 átomos de carbón se analizaron integrados en la fracción intermedia y aun así cumplen las especificaciones en cuanto a contenido de olefinas en la gasolina Magna Sin.

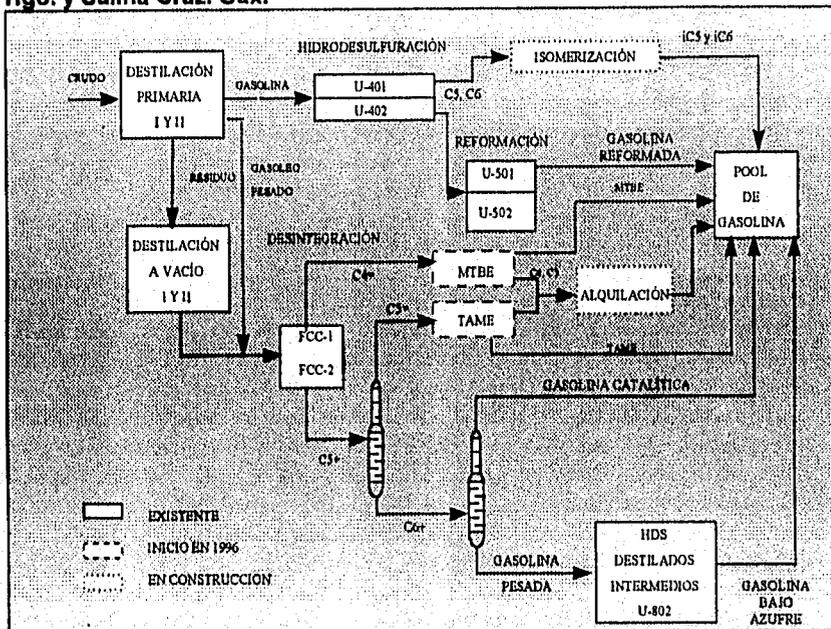
Otro punto a considerar es la capacidad de procesamiento de gasóleos en las unidades catalíticas de las diferentes refinerías: Tula, dispone de dos plantas de FCC con una capacidad nominal de 40,000 BPD cada una y se espera modificarlas para operar con carga de 55,000 BPD de gasóleos; Salina Cruz presenta dos plantas de FCC de igual magnitud que Tula; mientras que Salamanca, Cd. Madero, Minatitlán y Cadereyta sólo tienen una unidad catalítica en cada refinería con una capacidad de 40,000 BPD. Las dos últimas refinerías tienen contemplado la construcción de otra planta de FCC; en el caso de Cadereyta se está instalando y adecuando la unidad catalítica que existía en la ex-refinería de Azcapotzalco. En base al incremento de la producción de gasolina de FCC en el sistema de refinación se hace más atractivo el proceso de fraccionamiento e hidrotreatmento de la gasolina pesada de FCC para incrementar la producción de gasolina Magna Sin en México.

Caso de la refinería de Tula y Salina Cruz.

Como ya se mencionó anteriormente, estas refinerías cuentan actualmente con dos unidades catalíticas de desintegración de gasóleos en lecho fluido, una planta de MTBE y otra de TAME, y está en construcción la unidad de alquilación. Su capacidad de hidrosulfuración de destilados intermedios es superior a los requerimientos actuales de producción, ya que cuentan con cuatro HDS operando a menor capacidad de la de diseño (20000 vs. 25000 BPD), y en el caso de Tula entrará en operación una quinta unidad HDS para Diesel-Sin que permitirá disponer de mayor capacidad de procesamiento de destilados intermedios.

Por lo anterior es factible aplicar el esquema de proceso en las refineries de Tula y Salina Cruz de acuerdo a la figura 6.6, en donde la gasolina proveniente de las unidades FCC pasa a la torre desbutanizadora donde por el domo se obtienen compuestos de 4 átomos de carbón para ser utilizados en la planta de MTBE y por el fondo C5+ carga a la torre despentanizadora, en la cual por el domo obtenemos compuestos de 5 átomos de carbón para producir TAME y por el fondo gasolina despentanizada que se envía a la torre separadora que por el domo obtiene gasolina ligera con menos de 600 ppm en peso de azufre total y elevado octano y por el fondo una gasolina pesada con alto contenido de azufre que se envía a hidrotatar en la unidad U-802 para obtener un producto con menos de 200 ppm en peso de azufre total. La unidad U-802 de cada centro de trabajo se selecciono debido a que presenta un menor factor de servicio en las dos refineries.

Figura 6.6.- Aplicación del esquema de proceso en las refineries de Tula Hgo. y Salina Cruz. Oax.



Caso de la refinería de Cadereyta y Minatitlán.

Estos dos centros de trabajo contemplan la construcción de unidades complementarias de FCC en sus esquemas de refinación, siendo el caso de Cadereyta el más avanzado en la construcción y puesta en marcha de la FCC-2, y al mismo tiempo se están diseñando unidades de hidrosulfuración de naftas y

una adecuación en el fraccionamiento de la nafta pesada para modificar la temperatura final de ebullición (TFE), ya que actualmente presenta más de 240 ° C y se requiere disminuir a niveles inferiores de 230 °C, para posteriormente hidrotreatarla a las condiciones optimas obtenidas en la parte experimental. Por lo anterior el esquema de proceso se puede aplicar con mínimos costos de inversión, y su tiempo de aplicación en esta refinería seria inmediato.

La refinería de Salamanca se esta orientando a la mayor producción de gasolina reformada de alto octano como se observa en el esquema de refinación (figura 6.3); sin embargo, la planta catalitica existente puede mejorar la calidad de la gasolina producida al implementarse el esquema de proceso; consistente en una separadora de gasolina ligera de elevado octano y bajo contenido de azufre y por el fondo una gasolina pesada con alta concentración de contaminantes para ser hidrotreatada en la unidad U-4 que tiene disponibilidad de procesamiento actualmente y así cumplir con las limitantes de azufre requeridas por las normas futuras de calidad ecológica.

Beneficios.

Si el desarrollo tecnológico es implementado en los diferentes centros de refinación se obtendrán beneficios tales como :

a) Incremento en la producción de gasolina sin plomo en el sistema de refinación en más de 20% volumen, lo que permitirá cumplir con el compromiso de sustitución total de la gasolina Nova en el país.

b) Disminución de las importaciones de componentes necesarios para elaborar combustibles limpios.

c) Mayor porcentaje de utilización de la gasolina de FCC en la elaboración de gasolina ecológica.

d) Incremento del margen de rentabilidad de las refinerías por la elaboración de productos de mayor valor agregado.

Conclusiones

Uno de los principales objetivos de la tesis es la de definir un proceso innovador para la formulación de una gasolina que cumpla las especificaciones futuras de calidad impuestas por agencias gubernamentales de protección ambiental, utilizando la mayor cantidad posible de gasolina catalítica. En base a esta premisa se concluye lo siguiente :

La mayor concentración de compuestos de azufre, nitrógeno y aromáticos se encuentran localizados en la fracción pesada de la gasolina de FCC, mientras que las olefinas se ubican en mayor proporción en el corte ligero comprendido de la TIE al 30% volumen de la misma. Debido a esto, es factible fraccionar a la gasolina en diversos cortes para separar a los contaminantes presentes y poder eliminarlos en procesos posteriores al de desintegración catalítica.

El fraccionamiento de la gasolina de FCC se realizó en tres cortes principales, los cuales se seleccionaron de acuerdo a la mayor concentración de los contaminantes presentes en cada fracción.

- Un corte comprendido de la temperatura inicial de ebullición (TIE) al 30% volumen, al cual se le llamó fracción ligera; éste por ser rico en olefinas de bajo peso molecular se utilizan en la elaboración de MTBE, TAME y gasolina alquilada. Los productos obtenidos de estos procesos, permiten incrementar el índice de octano y el contenido de oxígeno; así como, disminuir el porcentaje de olefinas, aromáticos totales y la presión de vapor que son limitantes en la reformulación de gasolinas.

- La fracción intermedia comprendida de la TIE al 80% volumen, que presentó un contenido de azufre total de 720 ppm en peso, que al ser integrada a la reformulación de gasolinas ecológicas permite obtener un producto con menos de 300 ppm en peso de azufre total, olefinas y aromáticos de 10 y 30% volumen respectivamente; con lo cual, se cumplirán las especificaciones futuras en México de una gasolina sin plomo.
- La fracción pesada comprendida del 80% volumen a la temperatura final de ebullición, que por presentar un alto contenido de azufre (8000 ppm en peso) y aromáticos totales (78.2%), se requiere someterla a un hidrotreamiento catalítico a condiciones severas de operación para obtener un producto con menos de 200 ppm-peso de azufre total y manteniendo el octano característico de esta fracción $((R+M)/2=85)$. El producto hidrodesulfurado al integrarse al total de la gasolina de FCC permite formular un combustible con 204 ppm en peso de azufre total, olefinas de 6% volumen y aromáticos de 30% volumen, cumpliendo así las especificaciones para una gasolina Magna Sin.

El catalizador a base de Cobalto - Molibdeno presentó una menor pérdida en el octano y un porcentaje de hidrodesulfuración mayor al 90% en comparación con el de Níquel - Molibdeno; las condiciones de operación óptimas encontradas a nivel planta piloto son de 54 Kg/cm² de presión, relación hidrógeno - hidrocarburo de 2000 ft³/b, espacio - velocidad de 2 h⁻¹** y temperatura de reacción de 340° C.

La opción de instalar una torre despentanizadora de 7.5 pies de diámetro, 50 platos reales y una altura total de 115 pies; seguida de una fraccionadora de gasolina ligera y pesada de 10.5 y 12 pies de diámetro superior e inferior, 60 pies

** Espacio-velocidad (LHSV).- Se define como la relación de flujo de carga a cantidad de catalizador. Su unidad de medida es el inverso del tiempo en horas (1/h).

de altura y con 30 platos reales ; se considera como el diseño de proceso óptimo, ya que se obtienen butanos con una composición del 99% mol, recuperación de pentanos de 99% con pureza de 98.3% mol, que nos permiten elaborar compuestos éterificados de 4 y 5 átomos de carbono y gasolina alquilada de alto octano con mayor rendimiento y calidad de producto. Así como, separar la gasolina despentanizada en dos fracciones sin afectar la operación de la unidad FCC ; en una fracción ligera de gasolina con concentración de azufre de 720 ppm en peso y número de octano de investigación y de motor de 91.6 y 78.4 unidades respectivamente y otra fracción pesada que al ser hidrotratada disminuye su contenido de azufre a 60 ppm en peso de azufre total, lo que permite obtener una gasolina de FCC integrada con 600 ppm de azufre total, RON de 90 y MON de 80 unidades.

Para la implementación de la tecnología a nivel industrial se encontraron dos esquemas de proceso factibles de aplicación : el primero que contempla la elaboración de compuestos éterificados en el sistema de refinación, que requiere de dos columnas ; la primera torre en donde se separan los compuestos de 5 átomos de carbono del total de la gasolina y posteriormente una fraccionadora de gasolina ligera y pesada con una eficiencia mayor del 90% volumen en la recuperación del corte pesado. El segundo esquema no contempla la producción de compuestos oxigenados de 5 átomos de carbono, por lo cual sólo se requiere de la torre fraccionadora de gasolinas. En ambos casos el corte pesado es hidrotratado para obtener un producto desulfurado con menos de 200 ppm en peso de azufre total.

Por todo lo anterior el fraccionamiento de la gasolina de FCC y el posterior hidrotratamiento de un corte selectivo permite utilizar en mayor proporción a la corriente catalítica en la elaboración de gasolina Magna Sin con menos de 300 ppm en peso de azufre total y cumpliendo con todas las especificaciones de éste energético.

Bibliografía

- (1) Leal Santa Ana, A. "Perspectivas para la Reformulación de los combustibles en el sistema de refinerías de Petróleos Mexicanos"; Reunión anual a nivel de expertos (RANE) PAIPA, Colombia. Pág. 1 (1992).
- (2) "Balance Nacional de Energía 1993", SEMIP
- (3) Leal Santa Ana; A.; Op. Cit. Pág. 6
- (4) Martínez J., A.; "Fabricación de Gasolinas"; Ingeniería Química, (Dic. 1990) Pág. 49
- (5) Martínez J., A.; Op. Cit. Pág. 50 y 53
- (6) Dougan, T., J.; y Goytisolo, J., A.; "The role of the Fluid Catalytic Cracking (FCC) process in reformulating gasoline"; Presented at the 1990 National Conference on Octane and Reformulated Fuels; March 27-29, (1990) San Antonio, Texas. Pág.1-3
- (7) Martínez J., A.; Op. Cit. Pág. 51
- (8) Leal Santa Ana; Op. Cit. Pág. 13, 20 y 25(G-8)
- (9) Martínez J., A.; Op. Cit. Pág. 52
- (10) Data Book, Oil and Gas Journal, (1989)
- (11) Wilson J.,W.; "The Effect of Common European Markets on the North American Petroleum Refining Industry"; Presented at the 1990 NPRA; San Antonio Texas; AM-90-08 Pág.11-13
- (12) Amos A., A., y Owen, H. ; "Innovative Improvements Highlight FCC's Past and Future"; Oil and Gas Journal; (Jan 8, 1990); Pág. 33-41
- (13) Venuto P.,B., y Habib E.,T.; "Fluid Catalytic Cracking with Zeolite Catalysts"; Chemical Industries; Ed. Heinz Heinemann; Vol. 1; Pág.. 93-125
- (14) Wojciechowski B.,W.; y Corna A.; "Catalytic Cracking"; Chemical Industries; Ed. Heinz Heinemann; Vol. 25 Págs.5-39
- (15) Amos A., A.; Op. Cit. Págs. 40-58

(16) Superintendencia General de procesos, "Proceso de Desintegración Catalítica"; REFINERIA MIGUEL HIDALGO (1988).

(17) The M.W. Kellogg Co.; "Advanced FCC Process Technology for the 90'S"; FCC technical seminar for Kellogg FCC units; 28 de febrero al 1 de marzo de 1991; México, D.F.

(18) Martínez J., A.; Op. Cit. Pág. 53

(19) Engelhard Co.; "Road Improvement Octane"; FCC technical seminar for Kellogg FCC units; 28 de febrero al 1 de marzo de 1991; México, D.F.

(20) Sarli M.,S.; Fletcher D.,L.; Hilbert T., L.; Karsner G.,G.; y Shih S.,S.; "OctGain, a new unique gasoline desulfurization process"; National Petroleum Refiners Association; 1994 NPRA; AM-94-39; Pág. 12, 14 y 15

(21) Superintendencia general de procesos, Ref. "MIGUEL HIDALGO" ; Op. Cit. Pág. 79

(22) Petróleos Mexicanos ; "ANUARIO ESTADISTICO DE PEMEX" 1994

(23) Montaña Y.,J.; Ahumada B.,A.; "La Gasolina: ayer, hoy y mañana"; Revista del Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos; Vol. 19 (1991)

(24) Pérez A.,A.; "Obtención de crudo sintético, una alternativa para el mejoramiento de crudos pesados"; Primer simposium ESQIE; del 29 de Septiembre al 1 de Octubre de 1993.

(25) "U.S. REFINERY MARGINS STAGNANT"; Energy Détente; Vol. XIII; núm. 5; March 30, 1992; Pág. 11-20

(26) Wilson J.,W.; Op. Cit. Pág. 14-16

(27) Wollaston E.,G.; Forsythe W., L.; and Vasalos I.,A.; "Sulfur Distribution in FCCU Products"; presented at 36th Midyear API Refining Division Meeting, San Francisco. Oil and Gas Journal, Vol. 69, Aug. 2, (1971), Pág. 64

(28) PEMEX-Refinación ; "Características de las corrientes de proceso", unidad FCC, Salina Cruz, Oax., (1993)

(29) PEMEX-Refinación ; "Características de las corrientes de proceso", unidad FCC, Salamanca Gto., (1993)

(30) PEMEX-Refinación ; "Características de las corrientes de proceso", unidad FCC, Cd. Madero, Tamp. (1993)

- (31) PEMEX-Refinación ; "Características de las corrientes de proceso", unidad FCC, Cadereyta, N.L. (1993)
- (32) Huling G.,P.; y McKinney J.,D.; "FEED-SULFUR DISTRIBUTION IN FCC PRODUCT"; The Oil and Gas Journal; May 19, 1975; Pág. 77-78
- (33) Huling G.,P.; Op. Cit.; Pág. 83
- (34) Wollaston E., G.; Op. Cit. Pág. 69
- (35) Wollaston E.,G.; Op. Cit. Pág. 67
- (36) Superintendencia General de Procesos, REFINERIA MIGUEL HIDALGO; Op. Cit. Pág. 79
- (37) Langarica C.,J.,M.; Camacho S.,E.; "PROCESAMIENTO DE GASOLEOS HIDROTRATADOS EN UNIDADES FCC"; FCC technical seminar for Kellogg FCC units; 28 de febrero al 1 de marzo de 1991; México, D.F. Pág. 1-3,7-9
- (38) Campagna R.,J.; Krishna A.,S.; and Yanik S.,J.; "RESEARCH AND DEVELOPMENT DIRECTED AT RESID CRACKING"; Oil and Gas Journal, (Oct. 1983); Pág. 128-134
- (39) Keyworth D.,A.; Asim M.,Y.;and Reid T.; "COMBINING FLUID CAT CRACKING WITH HYDROTREATING AND EXTRACTIVE DISTILLATION TO OPTIMIZE THE QUALITY OF GASOLINE, DIESEL AND JET FUELS PRODUCTS"; Presented at the 1990 NPRA; March 25-27, San Antonio, Texas; AM-90-13
- (40) Engelhard; "FEEDSTOCK CRACKABILITY"; FCC technical seminar for Kellogg FCC units; 28 de febrero al 1 de marzo de 1991; México, D.F. Cap. 6
- (41) Dowsett J.,W.; Jones J.,R.; "THREE VARIABLES INFLUENCE STEAM CRACKER GASOLINE"; The Oil and Gas Journal, (Mar. 26, 1979). Pág. 97-108
- (42) Superintendencia General de Procesos, REFINERIA MIGUEL HIDALGO; Op. Cit. Pág. 19-40
- (43) Glendinning R.,J.; McQuiston H.,L.; and Chan T.,Y.; "IMPLEMENT NEW ADVANCES IN FCC PROCESS TECHNOLOGY"; Fuel Reformulation; (March/April, 1995). Pág. 45-53
- (44) Biswas J.; and Maxwell I.,E.; "OCTANE ENHANCEMENT IN FLUID CATALYTIC CRACKING BY OPERATION IN THE OVERCRACKING REGIME"; American Chemical Society; (Sep. 1989); Pág. 780-787

- (45) Keyworth D.,A.; Nierman J.; O'Connor P.; NPRA Annual Meeting.; San Antonio, Tx. (Marzo 1987). AM-87-62
- (46) Venuto P.,B.; y Landis P.,S.; Adv. Cat., 18,303 (1968), Pág. 501-524
- (47) Breck D.,W.; y Flanigen E.,M.; "Molecular Sieves"; Soc. Chem. Ind.; London, (1968); Pág. 47-53
- (48) Weekman V.,W.; Ind. Eng. Chem. Proc. Rev. Dev., 3;385 (1969)
- (49) John T.,M.; y Wojciechowski B.,W.; J. Cat.; 37, (1975) Pág. 348-358
- (50) Scherzer J.; y McArthur D.,P.; Ind. Eng. Chem. Res.; 27 (1988) Pág. 1571
- (51) Gates B.,C.; Katzer J.,R.; y Schuit G.,C.; "Chemistry of Catalytic Processes", Ed. Mc. Graw Hill, New York, 1979
- (52) Brouwer D.,M.; y Oelderik J.,M.; Recl. Trav. Chem. Pays-Bas; 87 (1968) ; Pág. 721-821
- (53) Barlett P.,D.; Condon F.,E.; y Schneider A.; J. Amer. Chem. Soc.; 66 (1944); Pág. 1531-36
- (54) Scherzer J.; ACS Symposium Series; (1984); Pág. 248, 157-162
- (55) Kerr G.,T.; J. Phys. Chem. 71 (1967); Pág. 4155-67
- (56) Kerr G.,T.; Adv. Chem. Ser.; (1973); Pág. 121 y 219
- (57) Scherzer J.; Ritter R.,E.; Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev.; 17 (1978); Pág. 219-226
- (58) NOM-086-ECOL-1994; "Calidad ecológica de los combustibles fósiles líquidos y gaseosos que se usan en las fuentes fijas y móviles", Secretaría de Desarrollo Social (1994).
- (59) Reilly, K. W.; "Clean fuels and clean cars will provide cleaner air", Fuels Reformulation, Vol. 1, No. 2 (1990), Pág. 18-21.
- (60) Anaya, D. A.; "La contaminación su prevención y control", Revista del IMIQ, Julio - Agosto (1991), Pág. 21-28.
- (61) Ojeda, R. M.; Ortiz, P. C.; "Medidas para la prevención y control de la contaminación atmosférica en grandes urbes". Revista del IMIQ, Año XXXI (1991) Vol. 16, Pág. 39-41.

(62) Unzelman, H. G.; "The Fuel Revolution", Fuel Reformulation, Vol. 2, No. 2 (1991), Pág. 32-50.

(63) PEMEX; "Memorias de Labores", (1994), Pág. 158-162.

(64) Chase, J. P.; Galvez, B. B.; "Processes for blending Ethers-TAME and MTBE", Gulf Canadá (1990), Pág. 52-65.

(65) Jean; Cosyns, E.; "Maximising reformulated gasoline production"; Institut Francais du Pétrole. National Conference on Octane and Reformulated Fuels, Mar. (1990), Pág. 71-74.

(66) Leal Santa Ana; Op. Cit. Pág. 19-21

(67) Petróleos Mexicanos ; "Informe anual 1994"

(68) Petróleos Mexicanos ; "Memorias de Labores 1995"

(69) Pemex-Refinación ; "Programa Operativo Anual, 1994"

(70) Venuto; Habib; Op. Cit. Pág. 19-25.

(71) PEMEX-Refinación; "Características de las corrientes de proceso", unidad FCC, Refinería Miguel Hidalgo, Tula, Hgo. (1993).

(72) Wilson, J. W.; Op. Cit. Pág. 15-17.

(73) Sarli, M. S.; Fletcher, D. L.; Op. Cit. Pág. 1-19.

(74) Pérez A. A.; Gómez B. C.; "Identificación de hidrocarburos y su efecto en la calidad de la gasolina de FCC.", presentado en el XXXIII Convención Nacional del IMIQ, Villahermosa Tab., Nov. (1993), Pág. 1-4.

(75) American Petroleum Institute; "Technical Data Book Petroleum Refining", (1991) Tomo I, Pág. I-22-I-48.

(76) American Petroleum Institute; "Technical Data Book Petroleum Refining", (1991) Tomo I, Pág. I-67-I-92.

(77) Estevao dos Santos, M. A.; "Options for increasing the octane of the gasoline pool", B. Técn. PETROBRAS, Río de Janeiro, 32(3), Jul./ Sept. (1989), Pág. 119-136.

(78) Keeson, W. H.; Genis, O.; "Olefin utilization and oxigenate production", (1992) NPRA, New Orleans, Louisiana, AM-92-26, Pág. 1-26.

(79) Petróleos Mexicanos; "Catálogo de precios interorganismos", precios del 10 al 31 de Marzo de 1996.

(80) Petróleos Mexicanos ; "Memorias de Labores 1995"

(81) Secretaria de energía ; "Programa de desarrollo y Reestructuración del sector de la Energía 1995-2000".

(82) Chase, J. P. ; Gálvez, B. B. ; "Processes for blending Ethers-TAME and MTBE" ; Gulf Canadá (1990), Pág. 52-65.

(83) Chase, J. P.; Gálvez, B. B.; "Processes for Blending Ethers", Gulf Canadá (1991), Pág. 3-8.

(84) Cosgns, J.; Nocca, L. J.; "Ultimate C₄/C₆ Olefin processing scheme for maximizing reformulated gasolines production", (1991) NPRA, San Antonio, Texas, AM-91-50 Pág. 1-32.

(85) Hammershaimb, H. O.; Kelly, A. P.; "C₆ Olefin Processing Options", (1991) NPRA, San Antonio, Texas, AM-91-17, Pág. 1-10.

Anexos.

Anexo 1

Definición de Tecnología y de innovación tecnológica.

La ciencia es vista como algo dirigido hacia el conocimiento, mientras que la tecnología esta encaminada al uso de los conocimientos. La magnitud del logro en la ciencia sólo puede juzgarse por otros científicos de la misma área; mientras que el nivel del éxito en la tecnología es juzgado finalmente por el mercado, el que considera a la tecnología como un factor de producción de naturaleza cualitativa. Se trata de un eslabón entre la población económicamente activa y los recursos de capital. La tecnología se acumula, se transforma y evoluciona por la permanente transmisión de conocimientos. De generación en generación se transmiten conocimientos de producción, resultantes del extraordinario desarrollo de recursos de capital cada vez más avanzados y sofisticados, los sistemas económicos exigen un desarrollo paralelo de la tecnología aplicada.

La tecnología es inherente a la cualificación de los recursos humanos. El saber hacer imprime características muy variadas a determinado conjunto de población económicamente activa. Las naciones desarrolladas no sólo cuentan con una base extraordinaria de recursos de capital acumulados, sino con recursos humanos preparados para operar el complejo aparato productivo del sistema. Las economías insuficientemente desarrolladas no sólo presentan acervos de capital poco eficaces y subestimados, sino también recursos humanos técnicamente imprevistos. En cierta forma, el proceso de creación, perfeccionamiento y acumulación de capital, camina paralelamente con el desarrollo de la tecnología. Son, por decirlo así, dos engranes que se ajustan. El movimiento de uno de ellos está necesariamente vinculado al movimiento del otro.

Una innovación técnica es una actividad compleja que procede desde la concepción de una idea nueva hasta la solución de un problema y luego al aprovechamiento real de un nuevo bien de valor social o económico. La pauta del cambio tecnológico ha hecho de la innovación un concepto clave en la sociedad de hoy. A cualquier firma, empresa, industria o nación le compete la introducción de procesos y productos nuevos y mejores. A la innovación se le reconoce como un factor que contribuye al crecimiento económico y beneficios sociales, pero es también esencial para sobrevivir en el mundo de la competencia.

La innovación, en su definición más simple, es la introducción exitosa de algo nuevo, y la introducción exitosa puede ser aún más importante que el hecho de que este "algo" sea realmente nuevo. El progreso técnico se basa en esta clase de innovación. El proceso de innovación se considera como una cadena de etapas sucesivas desde la investigación básica a los resultados de la investigación, luego al trabajo de desarrollo técnico, a nuevos productos, procesos y métodos y, por tanto, al crecimiento económico.

Este concepto sugiere que los nuevos conocimientos conducen más o menos automáticamente a nuevos productos útiles. Si esto fuera cierto, se debe esperar una íntima dependencia entre el esfuerzo de las actividades de investigación y desarrollo, por un lado, y los resultados de los avances técnicos, por otro. La investigación y el desarrollo aparecen como una condición muchas veces necesaria, pero en sí misma insuficiente, para la invención, la innovación y el crecimiento económico, y las condiciones económicas en una industria y sus perspectivas determinan notablemente las inversiones en actividades de investigación.

En forma más precisa, se define a la innovación como la generación, aceptación e implantación de nuevos procesos, productos o servicios por primera vez dentro de una estructura organizacional. El proceso de innovación consiste de las siguientes fases, que pueden traslaparse:

- La generación, la primera fase de la innovación, es la producción de ideas para mejorar la eficiencia de una empresa;
- La aceptación o aprobación, la segunda fase, es el proceso de evaluar y filtrar las ideas generadas para sugerir lo que debe implantarse, y
- La implantación es el proceso de reconfigurar realmente el sistema basándose en las ideas aceptadas.

Las innovaciones alteran la configuración del sistema dentro del cual se implantan y el incentivo de innovar reside principalmente en las expectativas de la ganancia, y, por otra parte, sólo una empresa con una sólida posición económica puede proveer los medios para un esfuerzo de investigación.

El efecto inicial esperado de la innovación es una reducción del costo total unitario, porque se considera que el precio de los factores es el mismo antes y después de que se haya adoptado la innovación. De hecho, se supone que la reducción anticipada en el costo total unitario es la motivación básica para adoptar la innovación.

Si se considera la innovación tecnológica como la introducción en la economía de un proceso o producto nuevo o significativamente mejorado a través de la aplicación de la moderna tecnología, entonces la esencia de tal innovación la constituyen el costo y un cambio cualitativo. Los gobiernos y las empresas están gastando considerable energía y recursos en intentos para organizar eficientemente el proceso de innovación y para dirigirlo hacia la obtención de resultados útiles, refiriéndose lo útil a innovaciones que producen los cambios cualitativos que valen lo que cuestan.

La retroalimentación de una etapa del proceso de investigación y desarrollo puede ayudar en la formulación en otras etapas; el aprendizaje debe aparecer de manera que un concepto innovador pueda confirmarse como técnicamente factible y deseado por el consumidor. La naturaleza cualitativa de las innovaciones puramente de proceso permite medirla fácil y cuantitativamente en términos de las reducciones de costo en la entrega de un producto final idéntico. Por el contrario, la naturaleza cualitativa de las innovaciones de producto es mucho más complicada, especialmente porque los objetivos originales de la innovación pueden convertirse en secundarios para otras aplicaciones que se descubran después de que la innovación se haya difundido ampliamente.

El proceso de diseño es siempre una exploración hacia lo desconocido. Obviamente, su éxito depende de la existencia de un cierto mecanismo selectivo. Hay, por supuesto, muchas fuentes de selección en la resolución de problemas de ingeniería y el conocimiento científico puro es uno de ellos. Sin embargo, la fuente más importante de selección en tal esfuerzo es la experiencia acumulada de naturaleza práctica. Pero, a pesar del mejor esfuerzo posible hecho en el diseño, un prototipo previo a la producción está plagado muchas veces de defectos. La identificación y remedio de estos defectos están, a su vez, condicionados a la acumulación de experiencia en pruebas de funcionamiento. En general, la innovación tecnológica depende de la adquisición de conocimientos a través de un proceso sistemáticamente organizado de tanteos.

El desarrollo de una tecnología es función de su tamaño. Se acepta que la disponibilidad de nuevas técnicas abre nuevos caminos para el cambio en el tamaño de los equipos. De acuerdo con esto, la innovación tecnológica es una causa de los cambios de escala. En la industria, una compañía debe asimilar del exterior las innovaciones tecnológicas y, con frecuencia, iniciar esas innovaciones desde su interior. Lo que no puede hacer si quiere sobrevivir en una economía competitiva es hacer caso omiso de las innovaciones tecnológicas. Si una empresa no busca productos menos costosos o nuevos y con aplicaciones más amplias, es seguro que la competencia lo hará. Una empresa que no innove o no responda a los cambios desaparecerá. El objetivo de la investigación y el desarrollo permitirá la supervivencia de la compañía existente y su expansión mediante procedimientos de desarrollo, evaluación de productos, o una innovación más radical, antes de que la competencia ataque.

El cambio fomenta las innovaciones tecnológicas. Por supuesto, el cambio es también el resultado inevitable de una innovación tecnológica. No obstante, la innovación no sólo tiene lugar como respuesta directa a los cambios producidos hacia el exterior de una empresa, sino que también puede iniciarse dentro de ésta o realizarse como respuesta directa a otra innovación.

Pueden distinguirse dos etapas distintas en la innovación. En la etapa de investigación, las innovaciones se descubren, inventan y exploran. Este comienzo de una innovación puede verse estimulado por el cambio, o fomentarse independientemente de cualquier cambio. Luego, las ideas, descubrimientos o inventos pueden aplicarse con alguna intención económica o social específica. La primera etapa es la investigación ; la segunda, el desarrollo.

El cambio tecnológico es el avance de la tecnología ; tal avance toma la forma muchas veces de nuevos métodos de producir productos existentes, nuevos diseños que hacen posible la producción de bienes con substanciales características nuevas y nuevas técnicas de organización, mercadotecnia y administración. Joseph A. Schumpeter, economista contemporáneo definió el cambio tecnológico como sinónimo de innovación, explicándola en términos de sus efectos sobre los requerimientos de materia prima. "Ahora definiremos más rigurosamente -dice- la innovación por medio de la función producción que describe la forma en la cual la cantidad de factores cambia. Si, en lugar de la cantidad de factores, variamos la forma de la función, tenemos una innovación". También consideró el estado estacionario como un proceso en continua repetición de las mismas cosas en los campos de la producción y del consumo. Es decir, que una vez que la competencia empuja al sistema económico hacia la posición de máximo rendimiento se logra una configuración que se repite infinitas veces en un ciclo siempre idéntico a sí mismo. Esto originó que en el mundo de la producción se estimara que la gestión de la unidad productiva de la empresa se reduce a una gestión rutinaria que produce siempre los mismos tipos y las mismas cantidades de bienes y que combina también en igual forma los factores de la producción.

De acuerdo con este autor, la ruptura del mundo estacionario origina un proceso de desarrollo y, por lo que se refiere al campo de la producción, tal ruptura acontece cuando cambian profundamente los anacrónicos sistemas productivos. El mismo clasifica los cambios, a los que genéricamente llama "innovaciones", de la siguiente manera :

- Introducción de nuevos bienes no familiares para los consumidores, o de una nueva calidad de cierto bien ;
- Introducción de un nuevo método de producción en cierto sector del mercado y que no se deriva totalmente de algún descubrimiento científico y que puede consistir simplemente en una forma de tratar una mercancía ;
- La apertura de un mercado para una industria determinada cuyos productos no habían tenido acceso al mercado, independientemente de que tal mercado halla existido anteriormente ;
- La conquista de una nueva fuente de materias primas o de productos semiacabados, independiente también de que tal fuente existiera o hubiera sido de nueva creación, y

- Establecimiento de una nueva organización industrial, como la creación o apertura de un monopolio.

Schumpeter llamó acto empresarial a la introducción de una innovación en el sistema económico, y empresario al autor de tal acto. Según lo anterior, la empresa y el empresario son inexistentes en el estado estacionario y, en cambio, son significativos en el desarrollo económico. La distinción entre empresario y director de una empresa es fundamental, aunque pueden coexistir en una misma persona u órgano. Al primero correspondería introducir un nuevo proceso para la producción de un bien y al segundo la adquisición de la materia prima necesaria para el proceso productivo.¹

¹ Schumpeter, Joseph A., "Business Cycles"; McGraw-Hill, Inc., Nueva York, (1939).

Schumpeter, Joseph A., "Capitalism, Socialism and Democracy", Harper and Row Publishers, Nueva York, (1942).

Mansfield, E., "The Economics of Technological Change". W.W. Norton and Co. ; Nueva York (1968).

Anexo 2

Descripción de la metodología para la innovación tecnológica.

El proceso de innovación es un conjunto de actividades sistemáticas emprendidas con el objeto de crear y comercializar la nueva tecnología.

A lo largo de todas las etapas por las que atraviesa este proceso, desde su inicio hasta su comercialización, se debe juzgar si la innovación será útil, eficiente en costo, atractiva para el cliente, competitiva y rentable.

El modelo de innovación tecnológica de los procesos industriales consistente de cada una de las siguientes fases :

- Identificación de una necesidad,
- Descripción de la idea,
- Análisis del problema,
- Propuesta de solución,
- Desarrollo de tecnología y
- Desarrollo del proceso.

Las necesidades que imprescindiblemente hay que satisfacer, incluso para hacer posible las formas más simples de vida, se llaman necesidades vitales, entre las que se encuentran la alimentación, el alojamiento, el vestido, etc. Por otra parte, con el avance de la civilización y paralelamente a ésta, el hombre muestra una tendencia a refinar incesantemente el catálogo de sus deseos, tendencia que encauza la innovación. En consecuencia, a las necesidades vitales se suman además las culturales y, por último, las suntuarias, las que nos hacen desear lo superfluo, lo caprichoso o lo opulento.

El número y variedad de las necesidades humanas son casi infinitas, lo que hace que el problema no resida tanto en las necesidades en sí como en el interrogante sobre el modo y medio para satisfacer todas esas demandas.

A todo aquello que puede satisfacer una necesidad humana se le llama bien, pudiendo ser éste una mercancía, un servicio o un derecho. Si dispusiéramos de toda clase de bienes en superabundancia, no sería necesario ni trabajar ni economizar. Por lo tanto, la ausencia de esa superabundancia de bienes, es decir, la escasez de bienes, constituye la verdadera base del quehacer económico.

1.- Identificación de una necesidad.

El desarrollo de todo proceso químico se inicia con el planteamiento del problema original en forma vaga y general, por ejemplo, la necesidad de producir un producto, o de la eliminación de una fuente de contaminación. El ingeniero de proceso intervendrá para convertir el problema primitivo en una serie de problemas cada vez más específicos que pueden resolverse mediante el empleo de los conocimientos disponibles. El origen de cualquier proyecto industrial arranca del reconocimiento o identificación de una necesidad y la generación de ideas para su satisfacción.

De manera similar, las innovaciones comienzan con una nueva idea que involucran la factibilidad técnica y demanda correspondientes. En este instante del tiempo, se cuenta con un estado actual o inventario del conocimiento tecnológico, del que el innovador es consciente y en el cual basa su propia estimación de la factibilidad técnica. Simultáneamente con lo anterior, existe un estado actual de aprovechamiento social y económico, en el cual el innovador puede reconocer una demanda existente, o bien potencial.

La conjunción disyuntiva es aquí singularmente importante porque hay una gran diferencia entre reconocer una demanda existente y reconocer una demanda potencial. Muchas veces se crea una invención para la cual no hay una demanda inmediata. Una empresa puede intentar generar demanda recurriendo a la publicidad, promoción y demostraciones; sin embargo, muchas invenciones se han encontrado adelantadas a su tiempo.

La demanda depende de los juicios que el consumidor tiene acerca del valor de un nuevo bien con relación a su costo. El problema original de la identificación de una necesidad puede comenzar con ésta y con la búsqueda de medios para satisfacerla; o con una sustancia y la búsqueda de sus usos, o usos más amplios para su aplicación. La sustancia puede haber sido descubierta accidentalmente, mientras se estaba buscando algo más, como en el caso del Nylon. O una sustancia puede sugerir insistentemente cierto uso, pero puede necesitar su análisis y síntesis antes de que se logren aplicaciones importantes, como fue el caso con el desarrollo del hule, a partir del látex, mismo que se convirtió en el principal sostén de la industria, especialmente la del transporte.

2.- Descripción de la idea.

Dado un problema, la idea para su solución puede venir con el destello del genio; pero hay más evidencias de la clase de genio que consiste de competencia técnica, más trabajo persistente sobre la sucesión de problemas de los cuales se compone el problema original. La clave puede residir en reconocer la ocasión para la aplicación de algún anterior resultado de la investigación básica. O el conocimiento que se necesita puede ser el que sólo la reciente investigación básica puede proveer ; en cuyo caso, nadie puede predecir si la respuesta será favorable, o no.

Después de la identificación de la necesidad, la siguiente etapa es la formulación o descripción de la idea. Para la innovación, la idea consiste en la fusión de una demanda reconocida y la factibilidad técnica reconocida en un concepto de diseño.

Este es un acto verdaderamente creativo en el que la asociación de ambos elementos es esencial. Si lo que se considera es un avance técnico solo, ello puede o no resultar en una solución, dependiendo de la factibilidad técnica en el estado actual del conocimiento.

El concepto de diseño abarca solamente la identificación y formulación de un problema al que se asignan recursos para trabajar sobre él. Comienza con el reconocimiento de una necesidad y la definición de un problema, continúa hasta la concepción de una idea que tiene a satisfacer esta necesidad. Procede con un programa de análisis, dirigido hacia la investigación y desarrollo y conduce a la construcción y evaluación de un prototipo. Concluye con la multiplicación y distribución efectivas de un producto o sistemas de manera que la necesidad original puede satisfacer dondequiera que exista.

El producto usual del esfuerzo de la ingeniería es un servicio, cuya materialización es una plantilla (planos, especificaciones y dibujos) para construir un objeto o para producir o duplicar objetos que satisfagan una necesidad específica.

Después de lograr la fusión del reconocimiento de la demanda con el de la factibilidad en el concepto de diseño, se debe hacer una evaluación de la idea antes de que la empresa pueda decidir comprometer recursos para la siguiente etapa de la resolución del problema.

El diseño es un proceso creativo por el que se concibe una solución innovadora a un problema. El diseño sucede cuando se ha encontrado una respuesta posible a una necesidad presente o futura o a un deseo del público o de la industria. Si se esperara que un producto no satisficiera una necesidad o deseo, no habría razón para producirlo, ni, por tanto, para el diseño. Una empresa no fabricará algo que no pueda venderse con una ganancia.

Con frecuencia, una necesidad o deseo pueden satisfacerse con una sustancia que actualmente existe en el mercado, pero se considera que, potencialmente, un nuevo producto cumplirá mejor cierta función, costará menos, o requerirá menos tiempo y esfuerzo.

3.- Análisis del problema.

La fuerza de una organización depende de su capacidad para cambiar. Los cambios pueden hacerse obligatorios debido a factores tanto internos como externos a la organización.

La investigación y el desarrollo, desde el punto de vista funcional, se ocupan de la iniciación y la aplicación del cambio. Puesto que la fuerza de una organización reside en su capacidad de cambio, los grupos de investigación y desarrollo desempeñan un papel clave en la determinación del futuro de las empresas. Esto resulta especialmente cierto en el caso de corporaciones con base tecnológica.

Sin embargo, los grupos de investigación en la industria no sólo inician las innovaciones, sino que, además, las asimilan. Los grupos de investigación de mercados se mantienen al tanto de los desarrollos de nuevos productos o nuevas demandas de los consumidores. Por consiguiente, estos grupos asimilan las innovaciones del exterior y las transmiten a sus empresas. Así pues, la difusión de las innovaciones es otro aspecto importante de la investigación.

Una razón para llevar a cabo una investigación es evitar un cambio total que destruya el mercado de un producto. Esto puede hacerse mejorando el producto, encontrándole nuevos usos, o reduciendo sus costos al mejorar los métodos de producción.

La investigación también se hace para encontrar nuevas sustancias que satisfagan las necesidades del público y de la industria. Una vez que un nuevo producto se convierte en una buena perspectiva o se descubre un nuevo método para producir un producto existente, se desarrolla un diseño preliminar del proceso correspondiente. A partir de éste, se estima el costo de construcción y de operación de la instalación industrial. Este diseño preliminar se compara luego con todas las alternativas posibles. Sólo si aparece como la mejor de todas las

alternativas, si tiene potencial para producir buenas utilidades y si se dispone de capital, se dará el visto bueno para continuar con la planeación y construcción de la planta.

Una clasificación muy generalizada de la investigación se basa en su objetivo final; dentro de esta clasificación, la investigación se considera fundamental o básica, y aplicada. La investigación básica es investigación libre, no comprometida, impulsada por la curiosidad y dirigida principalmente a la extensión de los límites del conocimiento. La investigación aplicada, por el contrario, es investigación comprometida, impulsada por motivos derivados de una ventaja comercial y dirigida principalmente a la definición tecnológica de un producto con perspectivas comerciales y del desarrollo del proceso para fabricarlo.

Los proyectos de desarrollo están vinculados al mejoramiento de los actuales métodos de producción, o a la determinación de la mejor forma de producir un nuevo producto. En el medio industrial, la investigación también puede clasificarse en defensiva y ofensiva. Esta clasificación coincide con los objetivos de los nuevos proyectos industriales: la investigación defensiva apoya los productos y procesos existentes, mientras que la investigación ofensiva está dirigida hacia el desarrollo de nuevos procesos y productos.

El desarrollo engloba las actividades concernientes a la escalación de modelos de laboratorio en plantas de tamaño comercial, la búsqueda de nuevos y mejores materiales, y la de nuevos equipos y máquinas capaces de funcionar bajo tolerancias, presiones y temperaturas más grandes y de procesar nuevas formas.

La investigación básica desemboca en el estado actual del conocimiento y emplea científicos y otros ingredientes para desarrollar hipótesis, teorías y trabajos de investigación, formando todo esto los nuevos postulados acerca del mundo natural. El trabajo inventivo usa los mismos ingredientes que la investigación básica, además de la producción de investigación básica para dar "un flujo de prototipos de artículos que nunca antes se habían hecho o de procesos que nunca antes se habían usado". El trabajo de desarrollo se define para emplear invenciones en unión de ingenieros, dibujantes, materiales, energía y otros para convertir un conjunto de instrucciones necesarias para construir plantas con nuevas características de valor comercial. Finalmente, la etapa de innovación utiliza el conjunto de instrucciones para transformar los recursos de una firma ordinaria de construcción en una nueva clase de planta. Esta etapa es comercial en el sentido de que aparecen nuevos precios y nuevas transacciones tienen lugar.

Las innovaciones potenciales se promueven asignando personal creativo y experimentado para trabajar estrechamente con científicos. Cuando se identifica una innovación prometedora, se hace una investigación adicional para establecer su factibilidad.

Una vez que se ha concebido una innovación potencial, con frecuencia existe la tendencia a iniciar inmediatamente un programa experimental. Esto es natural; la gente involucrada es técnica, y goza haciendo trabajo técnico. La experiencia ha enseñado, sin embargo, que existen otras implicaciones significativas en los descubrimientos que pueden proponerse en base a hipótesis y evaluarse sobre el papel con uno o dos experimentos críticos, antes de lanzar un extenso programa experimental. Es extremadamente importante evitar la asignación prematura de recursos a la tecnología que, aunque sea técnicamente sólida, puede tener una baja probabilidad de éxito comercial.

Una vez que el grupo de Investigación ha desarrollado un nuevo proceso, se procede a estimar el costo de la planta propuesta y los costos de producción de los competidores. El proceso propuesto deberá desecharse a menos que tenga una ventaja económica sobre el proceso actual.

4.- Propuesta de solución.

Durante la etapa de la descripción de la idea, precisamente al mencionar lo relativo a la conceptualización del proyecto o del diseño conceptual, se destacó que aquí se trata solamente de identificar y formular un problema al que vale la pena asignar recursos.

Lo que sigue del análisis del problema es la etapa de su resolución, o sea, la implantación del proyecto. En algunos casos la información necesaria para su resolución está al alcance fácilmente y forma parte del estado actual del conocimiento; en otros, se requiere una intensa actividad de investigación, desarrollo e inventiva durante la cual surgen generalmente los problemas no anticipados, teniéndose que ponderar nuevas soluciones y alternativas. Y, en muchos casos, los obstáculos se vuelven tan grandes que no se puede encontrar una solución. Muchos proyectos se abandonan, o deben darse por terminados, antes de llegarse al fin originalmente previsto.

Si la actividad de resolución del problema termina en un éxito, se encuentra la solución con frecuencia bajo la forma de una invención y este conocimiento pasa a integrar el acervo técnico de la sociedad una vez que tal logro del conocimiento se protege mediante patentes. Como alternativa, el problema puede resolverse por la adopción de una invención. En este caso, el cambio técnico producido es, simplemente, una innovación por adopción o, por imitación.

El tener identificada la tecnología de un proyecto definido, según las características de aquélla, permite definir las tendencias tecnológicas del sector analizado y promover los recursos necesarios para que la adquisición de la tecnología se haga siguiendo un procedimiento adecuado. Los caminos para obtener tecnología son : compra, adaptación e invención.

La solución mediante la invención del proceso es el paso que resulta de seguir en una empresa el correspondiente al de investigación, desarrollo, experimentación y cálculo, actividades que culminan en la etapa del proceso de innovación llamada de generación de tecnología.

Cuando se decide sobre la implantación de un proyecto industrial, surgen, a nivel de los intereses del país, dos alternativas siguientes : desarrollar una tecnología nacional que satisfaga la necesidad de tal o cual producto, o importar la tecnología requerida. Para un proyecto específico, se deberán evaluar cuidadosamente las ventajas y desventajas implicadas en ambas alternativas de acuerdo con las condiciones prevalecientes a fin de tener la decisión más acertada.

5.- Desarrollo de tecnología.

Cuando se considera la situación de varias industrias con relación a las necesidades de nueva tecnología y nuevos productos y de su dependencia de la investigación y desarrollo propios, surge la cuestión de si hay algún denominador común que represente las grandes diferencias en estructuras y objetivos de las empresas. Lo que hay de común es la necesidad y el valor de la propia investigación contra la adquisición de tecnología o de investigación de terceros.

Hay tres elementos principales en el proceso innovador de la firma industrial : la investigación propia, el desarrollo del producto o del proceso como resultado de aquélla, y la adquisición de resultados tecnológicos o de investigación de terceros como una consecuencia de la transferencia de tecnología. La transferencia de tecnología se describe como la generación o uso de información científica o tecnológica y su reevaluación o implantación.

Mientras que la investigación y desarrollo dan énfasis al trabajo creativo de laboratorio, la transferencia de tecnología se enfoca al aprovechamiento o explotación de la investigación previa. Las ventajas resultantes de la adquisición de tecnología son obvias : baja posibilidad de fracaso, la cooperación y créditos con terceros son fáciles de obtener, gastos bajos en investigación y desarrollo, forma efectiva de diversificar a corto y medio plazo y fácil adaptación de la oferta a la demanda en diferentes mercados.

La pregunta ¿es más barato comprar un proceso que desarrollar uno propio? tiene una respuesta que depende de en qué etapa del desarrollo de un nuevo proceso o producto se desea entrar al mercado con una planta comercial.

Ocasionalmente, se ha llegado a tener la oportunidad de adquirir bajo licencia una invención que se acomoda a las propias capacidades para un posterior desarrollo. Sin embargo, cuando surge tal oportunidad, se puede adquirir solamente la idea básica en desarrollo, la cual requerirá una inversión considerable en más investigación y desarrollo hasta llevarla a su explotación comercial.

6.- Desarrollo del proceso.

Como ya se mencionó anteriormente, en la primera etapa de un desarrollo innovador se adelanta una idea, la que se elabora mediante experimentos exploratorios y estudios de mercado. A medida que se van elaborando los estudios de investigación y de factibilidad económica, la participación del grupo de ingeniería va creciendo hasta el establecimiento de la fase del diseño conceptual del proceso. Toda esta actividad es parte de lo que se llama desarrollo del proceso, cuyo objetivo es preparar la innovación potencial para su aplicación comercial tan rápida y económicamente como sea posible y con un nivel aceptable de riesgo. Se requiere, por parte de quienes administran los esfuerzos de investigación y desarrollo, un análisis considerable respaldado por investigadores e ingenieros competentes y experimentados para escoger la mejor vía hacia una innovación particular.

La vía óptima requiere de un cuidadoso diseño del programa. Un buen programa de desarrollo consiste de una serie de actividades que se traslapan, con mucha flexibilidad para acomodar cambios. Estas actividades incluyen investigación de laboratorio, operación de plantas piloto, estudios de ingeniería y evaluaciones económicas.

Cuando la evaluación del desarrollo del proceso llega a un punto donde la decisión es seguir adelante, siendo positivos todos los indicadores del éxito futuro, se emprende una bien definida fase del diseño preliminar del proceso por el grupo de investigación y desarrollo, o por el de ingeniería, grupo que buscará aquella combinación de condiciones que conducirá a producir el máximo al costo mínimo.

El diseño preliminar del proceso es un paso clave en la evolución total del proceso, y sus resultados, en términos económicos, determinan si el proyecto sigue adelante y si se va a construir la planta. Un diseño excesivamente conservador puede llevar a una imagen económica desfavorable. Un diseño excesivamente optimista puede conducir a penalizaciones posteriores en costos adicionales de capital, costos inesperados de elaboración y, muy probablemente,

a un proceso no competitivo económicamente. Finalmente, los descuidos e inexactitudes en el diseño pueden desembocar en el peor de todos los destinos: una planta que no podrá ser operada siquiera para satisfacer las especificaciones originales del producto.

Los resultados del diseño preliminar van en un documento que sirve para sustentar la solicitud de recursos económicos y se basa en una disyuntiva entre la exactitud técnica, el costo del trabajo hecho y la presión del tiempo para llegar a la producción comercial. La decisión de la empresa para la asignación de fondos de capital lleva al diseño final del proceso, que es la ingeniería de detalle, en la que hay poca flexibilidad para alterar las condiciones de proceso ya establecidas.

7.- Desarrollo de Ingeniería Básica.

Esta fase del proceso innovador tiene como propósito la obtención de la tecnología de un proceso que permita llevar a cabo un diseño competitivo del mismo. Esta actividad de desarrollo comprende tres etapas principales: exploratoria, de desarrollo y complementaria. En la primera se determina experimentalmente, a escala de banco de laboratorio y con un estudio económico, la viabilidad o factibilidad del proyecto; en la segunda, se experimenta a escala de banco o de planta piloto para obtener los datos necesarios que lleven a una evaluación económica precisa; finalmente, en la última fase se obtiene la información adicional para proceder al diseño y a la optimización del proceso.¹

¹ Gabor, D. ; "Innovations : Scientific, Technological, and Social". Colección Science and Engineering Policy. Oxford University Press, Londres, (1970).

Giral B. ; J. ; "Manual para Desarrollo, Transferencia y Adaptación de Tecnología Química Apropriada"; Facultad de Química de la UNAM, México, D.F. (1974).

Santiago B. ; A. ; "Investigación, invención, Innovación " ; UNAM, México, D.F. (1985).

Anexo 3.

Influencia del desarrollo tecnológico en el crecimiento económico de las sociedades modernas.

El cambio tecnológico es concebido como un proceso social caracterizado por interrelaciones complejas de causa y efecto, con las transformaciones culturales. De ahí se interfieren las dificultades y resistencias a las innovaciones tecnológicas, en cuanto la sociedad no este preparada para incorporar y asimilar sus efectos en el tejido social.

Los impactos de los cambios tecnológicos no pueden ser aislados al margen de otras esferas del desarrollo social. Las dimensiones económicas no pueden ser separadas de las sociales y hay un conjunto de influencias reciprocas que interactuan entre los que se encuentran las tradiciones, la cultura, las aspiraciones y los valores que ejercen impactos profundos sobre las fuerzas económicas, con serias implicaciones en la formulación de políticas generales y específicas.

En consecuencia, una propuesta de desarrollo requiere la formulación de políticas y programas de ciencia y tecnología, que atiendan las necesidades de todos y no solamente de una minoría; en todos los lugares y no solamente en algunas regiones privilegiadas por la concentración de inversiones privadas y públicas y un proceso continuo y no cíclico de prosperidad y recesión.

Las tendencias de las innovaciones tecnológicas se pueden contemplar en dos puntos globales, donde :

- Los gobiernos de los países industrializados reconocen el papel central de la ciencia y la tecnología en la transformación del desarrollo económico y social.
- La difusión del progreso técnico a través de las sociedades representa un desafío a los sistemas tradicionales de administración; siendo así preciso un nuevo estilo administrativo a fin de maximizar los beneficios potenciales.

Los avances tecnológicos han estado siempre limitados por la necesidad de realizar grandes inversiones para poder lograrlos; por esta razón y a pesar de un continuo aumento en productividad y utilidades, en los años que siguieron a la segunda guerra mundial, cantidades cada vez mayores fueron canalizados al almacenamiento de oro y monedas ó aplicadas a la especulación financiera, privando con esto a los sectores productivos de las inversiones necesarias para la reposición de máquinas y equipos.¹

¹ I - Adelman, I. : "Theories of Economic Growth and Development" ;Stanford University Press, Stanford, California. (1961).

Por esto, se buscó que las nuevas innovaciones tecnológicas presentaran cualidades diferentes: como la utilización de menos energía y menos materia prima, generando un aumento en la producción y una disminución del empleo. Los altos costos de investigación y desarrollo y la reposición de maquinarias y equipos obsoletos inducen a las principales empresas a diferir, tanto como sea posible, la innovación tecnológica, mientras se busca el reembolso de las inversiones realizadas en tecnologías convencionales. Solamente cuando la difusión de una tecnología nueva y su adopción por la mayoría de las empresas competidoras amenaza reducir los márgenes de utilidad, los principales oligopolios se empeñan en financiar proyectos de investigación y desarrollo (IyD) y aceptan todos los riesgos e incertidumbres.

Las actividades sistemáticas de IyD se convierten en una condición indispensable para la sobrevivencia de empresas que ocupan una situación de liderazgo en los mercados oligopólicos. Para superar las crisis contemporáneas, no será necesario solamente nuevos créditos para la formación de capital, sino la inducción de un nuevo ciclo consumidor. De este modo, los procesos de innovación deben ser acompañados y complementados por una serie de productos cuyos efectos sobre empleos, salarios, renta y demanda proporcionen una nueva era de expansión del sistema económico.

En mercados de competencia perfecta, cada empresa es tan pequeña que cualquier decisión que tome, de aumentar ó disminuir la producción o los precios, no afecta a las demás empresas competidoras, sin embargo, ese equilibrio es alterado en forma de nuevos productos o procesos. En hipótesis, el nuevo proceso permitirá producir los mismos artículos en condiciones más ventajosas y costos más bajos. En consecuencia la empresa innovadora aumentará su productividad y reducirá sus costos. En cuanto a las demás, que continúan operando con la tecnología convencional, permanecerán en el nivel anterior de productividad y costos.

En cada momento y espacio histórico la forma material de la tecnología representa una combinación de determinados niveles de centralización del poder y de aspiraciones hacia la autonomía, estableciendo también los límites de su aprovechamiento por el sistema productivo de la sociedad. De esta forma, las prácticas tecnológicas concretas reflejan las contradicciones políticas entre la dinámica de la economía y las aspiraciones de la masa de los trabajadores. Esta contradicción, también establece los límites y el alcance de la tecnología como instrumento de cambio social. A pesar de los impactos en el sistema productivo, la concepción de la tecnología como único factor determinante de la transformación es falaz. Su desarrollo, selección, incorporación y uso obedecen esencialmente a criterios económicos y políticos. Sería ingenuidad, pretender alterar el balance del poder por opciones tecnológicas, las que dependen de las decisiones de aquellos que tienen el poder. Visto desde este ángulo, la selección de tecnologías y la protección de medio ambiente constituyen solamente banderas de lucha, con

vistas a la concientización y movilización de las masas de los productores, para conquistar el derecho de decidir y dirigir su propio destino. En último término, el desarrollo no depende sólo del volumen de recursos disponibles, si no de quién los controla.

El desarrollo tecnológico se contempla sobre dos escenarios: el primero que es un escenario pesimista en el cual se mantienen ó se aceleran las tendencias que conducen hacia un sistema en el cual el acceso tecnológico hacia los países industrializados se hace aún más difícil. Sus resultados serían desastrosos para la seguridad económica mundial. Sin embargo, de no producirse cambios en la política prevaleciente, es posible que dicho escenario sea real. El segundo es un escenario optimista, en el cual el sistema tecnológico internacional se vuelve más abierto y accesible para los países no industrializados. Para esto sería necesario modificar las políticas gubernamentales y las estrategias corporativas de los países miembros de la OCDE (Organización de Desarrollo y Cooperación Económica). Visto desde una perspectiva de largo plazo, dichos cambios ocasionarían beneficios importantes tanto para los países miembros, como para los países con economías de reciente industrialización.

Los intereses a largo plazo de los países de la OCDE hacen que sea necesario generar, en el mayor número posible de países en desarrollo, una demanda adecuada de tecnologías avanzadas con sus respectivos bienes de capital. Los esfuerzos de los países en desarrollo por fortalecer sus capacidades tecnológicas no deben considerarse como opuestos a los intereses de la OCDE. Ello podría ser un mecanismo importante para contrarrestar la disminución de la demanda a la que seguramente se verán expuestos en los próximos años, la mayoría de las industrias de alta tecnología de la OCDE.

La inversión en la creación de capacidades científicas y tecnológicas no se aviene del todo con la severidad metodológica del análisis costo-beneficio. Si nos remitimos a la investigación básica, la imposibilidad de calcular el retorno de las inversiones realizadas es particularmente grande. Sin embargo, poco a poco algunas investigaciones han ido dando cuenta de la relación entre las inversiones en ciencia y tecnología y el desempeño económico de empresas y países; esto con datos e interpretaciones que no dejan lugar a dudas. Los países que hoy en día pueden mostrarse como exitosos desde el punto de vista económico son aquellos que han logrado fortalecer su capacidad de innovación, vale decir, su capacidad para generar conocimientos y llevarlos al mercado. Las estadísticas sugieren que en esas sociedades la inversión en información y conocimiento es la fuente fundamental de la productividad en las economías modernas.

Las fuerzas del mercado no conducen a una óptima asignación de los recursos que se precisan para el desarrollo de innovaciones. Esto obedece a varias razones, entre las que cabe señalar las siguientes:

- Las actividades de investigación y desarrollo son inciertas y, por tanto, la inversión en ellos siempre tiene un nivel de alto riesgo.
- Los resultados obtenidos por las actividades de I+D son difíciles de apropiar por parte de quien hace la inversión para generarlas.
- Las actividades de I+D están asociadas a inversiones que están caracterizadas por ser indivisibles en el sentido económico de la expresión.

En términos un poco esquemáticos cabe distinguir, a este respecto, entre el modelo lineal de la innovación y el modelo no lineal de ésta. De acuerdo con este la innovación es el resultado de un proceso secuencial que comienza en el laboratorio científico, posiblemente en un descubrimiento básico, y termina, tras haber quemado diversas etapas de investigación aplicada, creación de prototipos, estudios de mercado, etc.; en la utilización comercial del conocimiento. Este enfoque ha tenido una marcada influencia en el diseño de políticas públicas que enfatizan el rol de los laboratorios científicos como fuente de desarrollo tecnológico.

La visión teórica anterior ha sido desmentida por numerosos estudios, la innovación no es sólo el producto directo del conocimiento salido del laboratorio, sino el resultado de un conjunto de conocimientos muy diversos, originados en distintos lugares de acuerdo a un proceso multidireccional en donde la retroalimentación entre diversas fases, agentes y formas de conocimiento representan la clave. Por tanto, el modelo no lineal postula una interpretación menos mecánica, en la que el proceso de innovación es ubicado dentro de una complicada división del trabajo, en la cual intervienen centros de investigación científica, tecnológica, firmas consultoras y de ingeniería, empresas de bienes de consumo, fabricantes de equipo, etc. pudiéndose iniciar a partir de cualquiera de ellos.

En resumen, a los países latinoamericanos les cabe definir una nueva estrategia de desarrollo, económicamente viable, socialmente equitativa y ecológicamente sustentable, a fin de aprovechar las ventajas de oportunidades ofrecidas en la transición del paradigma tecnoeconómico y en la consecuente reestructuración de la economía internacional.

Al mismo tiempo, es preciso desarrollar y poner en práctica mecanismos constitucionales y formas de organización política que permitan controlar las ocupaciones negativas y los obstáculos provenientes de estructuras sociales resistentes y adversas a las transformaciones derivadas de opciones políticas y tecnologías alternativas.²

2.- Brooks : H. ; "National Science Policy and Technological Innovation, The Positive Sum Strategy" : National Academy Press, Washington, D.C. (1986).

Anexo 4.- Distribución de hidrocarburos en los minicortes y en las fracciones seleccionadas de la gasolina de FCC.

Anexo 4.1.- Distribución de hidrocarburos en los minicortes de la gasolina de FCC

COMPONENTES FRACCIÓN, VOL.	CARGA	MINI CORTES CADA 10 %VOL.DE LA GASOLINA DE FCC									
		TIE-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-TFE
ISOBUTANO	0.46	5.51	0.38	0.04							
B-1+ID=	0.89	10.52	0.68	0.00							
BUTANO	1.86	4.86	0.31	0.00							
TRANSBUTENO-2	1.13	10.38	0.70	0.02	0.03						
CISBUTENO-2	0.99	8.91	0.65	0.00							
3METILBUTENO-1	0.29	2.96		0.00							
ISOPENTANO	7.46	36.06	22.14	1.30							
1-PENTENO	0.85	4.62	4.95	0.43							
2METILBUTENO-1	1.47	6.71	9.69	1.00							
NPENTANO	0.99	1.82	7.73	1.35							
ISOPRENO	0.04	0.15	0.29	0.04							
TRANSPENTENO	2.14	3.45	17.21	3.55	0.04						
1-PENTYNE	0.02	0.30	0.15	0.09							
CISPENTENO	1.14	1.58	9.29	2.14	0.02						
2METILBUTENO-2	2.76	2.28	21.72	7.12	0.11						
TRANS13PENTADIENO	0.07	0.04	0.00	0.22							
CIS13PENTADIENO	0.02	0.06	0.51	0.30							
22DIMETILBUTANO	0.05		0.20	0.30			0.02				
CICLOPENTENO	0.36	0.04	1.90	2.05	0.08						
CICLOPENTANO	0.13		0.27	1.02	0.07	0.02					
23DIMETILBUTANO	0.57		0.07	4.58	0.95						
2METILPENTANO	2.69		0.13	21.18	5.83	0.14					
3METILPENTANO	1.67			10.90	5.77	0.21					
HEXENO	6.14		0.19	33.49	29.79	1.87					
NIEXANO	1.06			2.73	5.52	0.37					
22DIMETILPENTENO	0.98			2.19	7.02	0.75					
METILCICLOPENTANO	1.40			2.57	9.89	1.41					
24DIMETILPENTANO	0.46			0.24	3.38	0.97	0.08				
223TRIMETILPENTANO	0.06			0.11	0.46	0.08					
BENCENO	1.09			0.91	8.98	2.42	0.01				
33DIMETILPENTANO	0.07					0.30					

Anexo 4.1.- Distribución de hidrocarburos en los minicortes de la gasolina de FCC

COMPONENTES	FRACCIÓN, VOL.	CARGA	MINI CORTES CADA 10 % VOL. DE LA GASOLINA DE FCC																	
			TIE-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-TFE								
2METILHEXANO	2.01					5.91	12.34	0.29												
11DIMETILCICLOPENTANO	0.13					0.72	0.56													
3METILHEXANO	1.34					2.73	9.31	0.33												
CIS13DIMETILCICLOPENTANO	0.51					1.18	3.45	0.16												
TRANS13DMCICLOPENTANO	0.42					0.81	3.04	0.15												
T12DMCICLOPENTANO	0.22					0.39		0.08												
11EPTENO	5.31			0.13		8.75	33.75	4.08												
11EPTANO	0.49	0.04				0.10	12.48	0.63												
METILCICLOHEXANO	0.99	0.02				0.09		5.62	2.67											
22DIMETILHEXANO	0.10						0.37	0.44												
ETILCICLOPENTANO	0.30						1.24	1.19												
25DIMETILHEXANO	0.31						0.77	1.68												
24DIMETILHEXANO	0.26						0.44	1.58												
TC124TRIMETILCICLOPENTANO	0.20						0.27	1.26												
33DIMETILHEXANO	0.02						0.03	0.11												
TC134TMETILCICLOPENTANO	0.10							0.68												
234 TRIMETILPENTANO	0.57						1.40	3.16												
TOLUENO	1.79	0.02				0.02	4.31	14.86	0.27											
CT124TMETILCICLOPENTANO	0.27						0.03	2.09												
23DIMETILHEPTENO	0.27						0.06	2.15	0.12											
2METILHEPTANO	0.89	0.02					0.50	7.37	0.67											
4METILHEPTANO	0.33						0.02	2.76	0.28											
34DIMETILHEXANO	0.16						0.02	1.39												
3METILHEPTANO	1.03	0.02					0.02	10.50	1.32											
CIS 13DIMETILCICLOHEXANO	0.24							0.78	0.33											
TRANS14DMCICLOHEXANO	0.10							0.25	0.21											
2244TETRAMETILPENTANO	0.43							3.40	0.91											
C1E2MCICLOPENTANO	0.29							1.95	0.62											
T1E2MCICLOPENTANO	0.17							1.37	0.41											
T12DMCICLOHEXANO	0.24							1.86	0.59											
CC123TMCICLOHEXANO	0.08																			
OCTENO	1.16							10.74	2.95											
NOCTANO	0.87								5.12	3.67										
C8N	0.21								1.17	0.99										
244TRIMETILHEXANO	0.29							2.17	0.91											
1C3CICLOPENTANO	0.20							0.95	1.01											
2METILAETILHEXANO	0.13							0.65	0.74											
CIS1E1L2METILOPENTANO	0.13							0.41	0.87											
22DIMETILHEPTANO	0.06							0.15	0.46											
C12DIMETILCICLOHEXANO	0.17							0.19	1.37											
NC3CICLOPENTANO	0.24							0.39	1.95											
26DIMETILHEPTANO	0.10							0.04	0.87											
35DIMETILHEPTANO	0.38							0.07	3.04	0.09										

Anexo 4.1.- Distribución de hidrocarburos en los minicortes de la gasolina de FCC

COMPONENTES	CARGA	MINI CORTES CADA 10 % VOL. DE LA GASOLINA DE FCC									
		TI-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-TFF
233TRIMETILHEXANO	0.07						0.03	0.57			
33-DIMETILHEPTENO	0.07							0.57			
3METILJETILHEXANO	0.10							0.85			
ETILBENCENO	0.79						0.43	7.80	0.24		
234-TRIMETILHEXENO	0.09							0.61	0.07		
METAXILENO	2.30						0.32	19.81	1.97		
PARXILENO	0.58						0.14	7.12	0.69		
34DMC7	0.05							0.41			
23DIMETILJETILPENTANO	0.21							1.99	0.16		
4METILOCTANO	0.36							2.48	0.42		
2METILOCTANO	0.53						0.02	3.72	0.81		
3ETILHEPTANO	0.12							0.79	0.19		
3METILOCTANO	0.59						0.02	3.44	1.10		
ORTOXILENO	1.07						0.09	8.48	3.57		
CC124TMCICLOHEXANO	0.07							0.46	0.30		
1M2CICLOPENTANO	0.18								0.59		
C1E3METILCICLOHEXANO	0.26						0.02	1.31	1.04		
T1E4M(CICLOHEXANO	0.10							0.43	0.46		
1C4CICLOPENTANO	0.20						0.02	0.79	0.97		
NONENO	0.71						0.35	5.44	0.88		
N-NONANO	0.14						0.01	0.48	0.75		
NC9	0.32						0.04	0.65	2.06		
C10-	0.25						0.01	0.28	0.90	0.26	
T1E3M(CICLOHEXANO	0.15						0.02	0.27	1.01		
1M1E(CICLOHEXANO	0.08								0.53		
1C3BENCENO	0.09						0.01	0.14	0.71		
C10P	0.08								0.59		
SEC4BUTILCICLOPENTANO	0.06							0.08	0.49		
1C3CICLOHEXANO	0.04							0.09	0.36		
22DMOCTANO	0.10						0.02		0.85		
C10P	0.19						0.03		1.59		
35DMOCTANO	0.08						0.01		0.71		
NC3CICLOHEXANO	0.06						0.02		0.55		
C9N	0.11								0.89		
NC4CICLOPENTANO	0.18								1.28		
26DMOCTANO	0.01								0.32		
33DMOCTANO	0.51						0.02		0.76		
NC3BENCENO	0.01								3.26		
METOLUENO	1.30						0.26	0.08	12.26	0.45	
PARAETIL.TOLUENO	0.44						0.09		4.30	0.19	
135TRIMETILBENCENO	0.55						0.12	0.05	5.50	0.48	
5METILC9	0.18						0.03		1.44	0.09	
4EC8	0.26						0.04		2.14	0.12	
4MC9	0.81						0.05		2.51	0.15	
ORTOTOLUENO	0.07						0.08		3.89	0.43	

Anexo 4.1.- Distribución de hidrocarburos en los minicortes de la gasolina de FCC

COMPONENTES FRACCIÓN, VOL.	CARGA	MINI CORTES CADA 10% VOL. DE LA GASOLINA DE FCC									
		10-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-TFE
3MC9	0.43						0.10		4.14	0.45	
124TRIMETH.BENCENO	1.73								13.74	4.48	
TERC4CICLOHEXANO	0.06								0.45	0.17	
1C4BENCENO	0.04								0.27	0.21	
NC10	0.34								1.72	1.17	
123TMBENCENO	0.46								2.08	3.47	
1M1C4C3BENCENO	0.11								0.07		
C10N	0.08								0.05	0.63	
13DEBENCENO	0.21								0.12	1.84	
1M3C3BENCENO	0.49								0.23	4.74	
NC4BENCENO	0.37						0.05		0.07	3.66	
13DM5EBENCENO	0.48						0.14		0.10	4.29	
12DEBENCENO	0.13								0.10	0.96	
1M2C3BENCENO	0.19									1.89	
4MC10	0.26									1.30	
14DM2EBENCENO	0.37									1.98	
13DM4EBENCENO	0.40									3.58	
12DM4EBENCENO	0.21									4.01	
1M4TERC4BENCENO	0.76									8.89	
13DM2EBENCENO	0.09									1.07	
C12P	1.79									8.88	
C11A	1.20									8.18	
12DM3EBENCENO	0.17									1.81	
NC11	0.31									2.45	
C11-	0.07									0.72	
1245TETMBENCENO	0.24									2.39	
1235TETMBENCENO	0.32									3.13	
PENTIL.BENCENO	0.31									1.84	
13DM5TERC4BENCENO	0.26									0.75	
NC12	0.36										
PESADOS	8.23					1.23	5.51	5.99	10.01	15.88	
TOTAL	99.64	100.41	99.16	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.70	0.00

Anexo 4.2.- Distribución de hidrocarburos en las fracciones de la gasolina de FCC

COMPONENTES	FRACCION % VOLUMEN								
	LIGERA				INTERMEDIA				PESADA
	TIE-20	TIE-30	TIE-40	TIE-50	10-80	20-80	30-80	40-80	80-TFE
ISOBUTANO	0.23	0.04	0.04	0.48					
B-1 + IB-	0.62	0.34	0.32	0.91					
BUTANO NORMAL	0.4	0.41	0.38	1.89	0.01				
TRANSBUTENO-2	0.94	1.03	0.98	1.2	0.03				
CIS BUTENO-2	0.98	1.13	1.12	0.89	0.03				
3 METIL BUTENO-1	1	1.04	0.75	0.37	0.06				
ISOPENTANO	23.48	20.67	16.33	7.52	4.08	1.1			0.02
1-PENTENO	4.28	3.52	2.31	1.15	0.48	0.13			
2 METIL BUTENO	7.82	6.26	4.06	2.03	0.94	0.8			
N-PENTANO	5.6	4.12	2.63	1.32	0.97	0.17			
ISOPRENO	0.23	0.17	0.11	0.06	0.03	0.03			
TRANS PENTENO	12.28	8.96	5.87	2.89	2.11	0.19			
1-PENTINO	0.11	0.1	0.06	0.03	0.01	0.01			
CIS PENTENO	6.76	4.86	3.17	1.56	1.12	0.12			
2 METIL BUTENO-2	16.53	11.79	7.67	3.77	3.54	0.46			
TRANS 1,3 PENTADIENO	0.40	0.29	0.19	0.09	0.09	0.02			
CIS 1,3 PENTADIENO	0.14	0.10	0.07	0.04	0.03	0.01	0.01	0.01	
2,2 DM BUTANO	0.26	0.20	0.13	0.06	0.07	0.03	0.07		
CICLOPENTENO	2.01	1.56	1.02	0.51	0.54	0.17			
CICLOPENTANO	0.60	0.52	0.35	0.18	0.19	0.10			
2,3 DM BUTANO	1.44	2.09	1.50	0.76	0.83	0.72			
2 METIL PENTANO	5.42	2.15	7.01	3.34	3.85	3.71	0.46		
3 METIL PENTANO	0.87	4.70	4.33	2.13	2.40	2.60	0.56		
HEXENO	5.99	13.64	16.34	8.23	9.15	10.13	3.87	0.04	
N-HEXANO	0.16	1.05	2.50	1.24	1.12	1.33	0.77		
2,2 DIMETIL PENTENO	0.10	0.72	2.53	1.23	1.41	1.65	1.23	0.03	
METIL CICLOPENTANO	0.13	0.87	3.51	1.78	1.98	2.32	1.89	0.07	
2,4 DIMETIL PENTANO	0.01	0.08	1.09	0.61	0.65	0.76	0.80	0.08	
2,2,3 TRIMETIL PENTANO	0.01	0.04	0.15	0.11	0.11	0.13	0.12	0.05	
BENCENO	0.01	0.32	0.94	1.39	1.77	2.07	2.11	0.20	
3,3 DIMETIL PENTANO	0.07		0.13	0.09	0.10	0.11	0.13	0.04	
CICLOHEXANO		0.01	0.21	0.14	0.13	0.17	0.18	0.04	
2 METIL HEXANO		0.03	2.65	2.63	2.74	3.22	3.75	2.25	
1,1 DIMETIL CICLOPENTANO			0.26	0.18	0.19	0.22	0.26	0.07	
3 METIL HEXANO		0.02	1.36	1.74	1.81	2.13	2.48	1.87	
CIS 1,3 DM CICLOPENTANO			0.56	0.55	0.71	0.83	0.97	0.70	
TRANS 1,3 DM CICLOPENTANO			0.40	0.57	0.67	0.67	0.79	0.62	
3 ETIL PENTANO		0.01	0.31	0.48	0.50	0.59	0.68	0.56	
T 1,3 DM CICLOPENTANO			0.20	0.09	0.10	0.11	0.13	0.10	
2,2,4 TRIETIL PENTANO			0.25	0.45	0.43	0.52	0.61	0.55	
HEPTENO C7-		0.07	3.82	6.48	6.68	8.29	9.74	8.84	
N-HEPTANO	0.04	0.06	0.09	0.98	1.05	1.12	0.86	1.02	

Anexo 4.2.- Distribución de hidrocarburos en las fracciones de la gasolina de FCC

COMPONENTES	FRACCION % VOLUMEN								
	LIGERA			INTERMEDIA				PESADA	
	TIE-20	TIE-30	TIE-40	TIE-80	10-80	20-80	30-80	40-80	80-TFE
METIL CICLOHEXANO	0.02	0.02	0.08	1.21	1.25	1.49	1.73	2.20	
2,2 DIMETIL HEXANO			0.18	0.13	0.13	0.16	0.18	0.23	
ETIL CICLOPENTANO			0.01	0.38	0.39	0.46	0.54	0.68	
2,5 DIMETIL HEXANO				0.41	0.43	0.50	0.60	0.75	
2,4 DIMETIL HEXANO				0.34	0.35	0.41	0.48	0.61	
TC1,2,4 TM CICLOPENTANO				0.25	0.26	0.30	0.36	0.45	
3,3 DIMETIL HEXANO				0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	
TC 1,3,4 TM CICLOPENTANO				0.14	0.14	0.16	0.19	0.23	
2,3,4 TRIMETIL PENTANO				0.66	0.69	0.97	1.15	1.46	
TOLUENO	0.02	0.01	0.03	2.07	3.15	3.68	4.36	5.49	
CT 1,2,4 TM CICLOPENTANO				0.35	0.36	0.42	0.50	0.63	
2,3 DIMETIL HEPTANO				0.34	0.36	0.42	0.49	0.62	
2 METIL HEPTANO	0.02			1.09	1.12	1.33	1.56	1.96	
4 METIL HEPTANO				0.42	0.44	0.51	0.60	0.75	
3,4 DIMETIL HEXANO				0.20	0.21	0.24	0.29	0.34	
3 METIL HEPTANO	0.02			1.20	1.23	1.47	1.72	2.17	
CIS 1,3 DM CICLOHEXANO				0.36	0.36	0.42	0.50	0.62	
TRANS 1,4 DM CICLOHEXANO				0.13	0.13	0.16	0.19	0.23	
2,2,4,4 TETRAM PENTANO				0.54	0.55	0.64	0.76	0.95	
CIE2M CICLOPENTANO				0.37	0.38	0.45	0.53	0.67	
TIE2M CICLOPENTANO				0.21	0.21	0.25	0.30	0.37	
TIE3M CICLOPENTANO				0.31	0.38	0.40	0.40	0.55	
TI,2 DM CICLOHEXANO				0.34	0.32	0.13	0.44	0.58	
CCI,2,3 TM CICLOHEXANO				0.14	0.13	0.14	0.17	0.20	
OCTENO C8-				1.79	1.86	2.17	2.60	3.24	
N-OCTANO				1.09	1.09	1.32	1.52	1.91	
NAFTENO C8				0.27	0.28	0.32	0.38	0.48	
2,4,4 TRIMETIL HEXANO				0.37	0.37	0.44	0.52	0.65	
IC3 CICLOPENTANO				0.25	0.25	0.29	0.35	0.43	
2 METIL-4 ETIL HEXANO				0.16	0.17	0.19	0.24	0.29	
2,3,5 TRIMETIL HEXANO				0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	
CIS 1 E, 2M CICLOPENTANO				0.16	0.17	0.19	0.23	0.29	
2,2 DIMETIL HEPTANO				0.08	0.08	0.09	0.11	0.14	
2,2 DIMETIL 3 ETIL PENTANO				0.07	0.08	0.09	0.11	0.13	
C1,2 DM CICLOHEXANO				0.21	0.21	0.25	0.30	0.37	
N-C3 CICLOPENTANO				0.04	0.34	0.37	0.42	0.52	
2,6 DM HEPTANO				0.30	0.13	0.15	0.18	0.21	
3,5 DM HEPTANO				0.35	0.46	0.54	0.64	0.79	
2,3,3 TRIMETIL HEXANO				0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	
3,3 DM HEPTANO				0.05	0.08	0.10	0.12	0.35	
3 M 3 E HEXANO				0.05	0.13	0.15	0.18	0.22	
ETIL BENCENO				0.96	1.07	1.29	1.51	2.04	
2,3,4 TRIMETIL HEXENO				0.04	0.10	0.12	0.14	0.18	
METAXILENO				3.05	3.02	3.63	4.29	5.54	

Anexo 4.2.- Distribución de hidrocarburos en las fracciones de la gasolina de FCC

COMPONENTES	FRACCION % VOLUMEN								PESADA 80-TFE
	LIGERA			INTERMEDIA					
	TIE-20	TIE-30	TIE-40	TIE-80	10-80	20-80	30-80	40-80	
PARAXILENO				1.08	1.10	1.26	1.46	1.72	
3,4 DM C7				0.06	0.06	0.07	0.09	0.10	
NAFTENOS C9				0.65	0.03	0.04	0.05	0.05	
2,3 DM 3E PENTANO				0.19	0.24	0.29	0.35	0.43	
4 METIL OCTANO				0.39	0.40	0.49	0.57	0.72	
2 METIL OCTANO				0.62	0.63	0.75	0.88	1.10	
3 ETIL HEPTANO				0.13	0.14	0.17	0.20	0.24	
3 METIL OCTANO				0.63	0.63	0.76	0.89	1.12	
ORTOXILENO				1.67	1.64	1.95	2.31	2.90	
CC 1,2,4 TM CICLOHEXANO				0.09	0.11	0.12	0.15	0.17	
1M 2C3 CICLOPENTANO				0.21	0.21	0.25	0.30	0.36	
C1E3M CICLOHEXANO				0.31	0.33	0.39	0.46	0.56	
T1E4M CICLOHEXANO				0.12	0.11	0.15	0.18	0.21	
1C4 CICLOPENTANO				0.24	0.25	0.29	0.35	0.43	
NONENO C9-				0.65	0.87	1.02	1.22	1.47	
N-NONANO				0.17	0.30	0.20	0.53	0.66	
NAFTENO C9				0.17	0.17	0.49	0.53	0.59	
C10-				0.26	0.27	0.37	0.44	0.38	0.14
T1E3M CICLOHEXANO				0.21	0.18	0.21	0.25	0.31	
1M1E CICLOHEXANO				0.18	0.09	0.10	0.12	0.15	
1C3 BENCENO				0.11	0.12	0.13	0.17	0.20	
C10P				0.19	0.33	0.37	0.47	0.50	
SEC4B CICLOPENTANO				0.09	0.08	0.09	0.12	0.13	
1C3 CICLOHEXANO				0.08	0.06	0.06	0.08	0.08	
2,2 DM OCTANO				0.12	0.13	0.15	0.18	0.20	
3,3 DM OCTANO				0.10	0.11	0.12	0.15	0.16	
NC3 CICLOHEXANO				0.08	0.08	0.00	0.11	0.13	
NC4 CICLOPENTANO				0.18	0.18	0.22	0.26	0.28	
2,6 DM OCTANO				0.06	0.01	0.02	0.04	0.06	
3,3 DM OCTANO				0.13	0.14	0.16	0.19	0.17	0.01
NC3 BENCENO				0.46	0.46	0.54	0.66	0.78	
META E TOLUENO				1.73	1.85	2.04	2.46	3.08	0.15
PARA E TOLUENO				0.61	0.62	0.72	0.87	1.08	0.09
1,3,5 TRIMETIL BENCENO				0.76	0.83	0.97	1.17	1.48	0.29
5 METIL C9				0.20	0.22	0.25	0.32	0.36	0.03
4E C8				0.30	0.32	0.36	0.45	0.53	0.06
4M C9				0.33	0.37	0.43	0.53	0.58	0.07
ORTO E TOLUENO				0.55	0.60	0.69	0.84	1.59	0.34
3 M C9				0.44	0.64	0.70	0.73	0.89	0.35
1,2,4 TRIMETIL BENCENO				1.31	2.49	2.90	3.50	4.59	3.65
TERC4 CICLOHEXANO				0.04	0.09	0.08	0.12	0.14	0.14
1C4 CICLOHEXANO				0.05	0.09	0.07	0.12	0.14	0.15
NAFTENOS C10				0.11	0.21	0.32	0.47	0.57	0.30

Anexo 4.2.- Distribución de hidrocarburos en las fracciones de la gasolina de FCC

COMPONENTES	FRACCION % VOLUMEN									
	LIGERA			INTERMEDIA						PESADA
	TIE-20	TIE-30	TIE-40	TIE-80	10-80	20-80	30-80	40-80	80-TFE	
IC4 BENCENO				0.02	0.07	0.05	0.09	0.11	0.04	
N-C10				0.11	0.41	0.46	0.56	0.70	0.93	
1,2,3 TM BENCENO				0.15	0.69	0.73	0.97	1.23	2.30	
C11P				0.12	0.91	0.84	1.10	1.41	3.94	
SECBUTIL.CICLOHEXANO				0.01	0.11	0.01	0.15	0.28	0.41	
1M IC4 C3 BENCENO				0.11	0.12	0.11	0.16	0.14	0.51	
NAFTENO C10				0.34	0.11	0.12	0.18	0.20		
1,3 DE BENCENO				1.37	0.17	0.19	0.25	0.31		
1M 3C3 BENCENO					0.34	0.38	0.48	0.61	2.33	
N-C4 BENCENO					0.22	0.24	0.32	0.40	1.98	
1,3 DM 5E BENCENO					0.25	0.29	0.36	0.46	2.38	
1,2 DE BENCENO					0.08	0.07	0.11	0.14	0.55	
1M 2C3 BENCENO					0.08	0.08	0.11	0.14	1.00	
4M C10					0.05	0.06	0.08	0.10	1.18	
1,4 DM 2E BENCENO					0.05	0.06	0.15	0.19	1.84	
1,3 DM 4E BENCENO					0.11	0.12	0.09	0.11	2.22	
1,2 DM 4E BENCENO					0.06	0.07	0.06	0.07	0.94	
1M 4TERC4 BENCENO					0.15	0.04	0.17	0.22	4.04	
1,3 DM 2E BENCENO					0.01	0.14	0.01	0.01	0.42	
C12P					0.01	0.01	0.01	0.01	12.35	
AROMATICOS C11						0.01		0.01	8.90	
1,3 DM 3E BENCENO						0.01		0.01	1.02	
N-C11						0.02		0.01	1.39	
C11-									0.34	
1,2,4,5 TETM BENCENO									1.40	
1,2,3,5 TETM BENCENO									1.88	
C12P									1.42	
PENTIL BENCENO									1.84	
1,3 DM 5 TERC4 BENCENO									1.23	
C11A										
N-C12									1.66	
PESADOS					2.41	1.34	4.79	4.53	34.28	
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	