



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

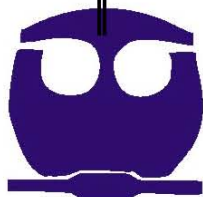
---

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA MODERNIZACIÓN  
DE LA PLANTA CATALÍTICA DE LA REFINERÍA  
“GRAL. LÁZARO CÁRDENAS” EN MINATITLÁN, VER.**

**T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO QUÍMICO  
P R E S E N T A**

**LUIS EDGAR ROQUE VELÁZQUEZ**



**MÉXICO, D.F.**

**2006**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

Jurado asignado:

Presidente	Prof. Joaquín Palacios Alquisira.
Vocal	Prof. Eduardo Flores Palomino.
Secretario	Prof. David González Ramírez.
1er. Suplente	Prof. Ramón Ramírez Martinell.
2º. Suplente	Prof. José Luis Zaragoza Gutiérrez.

Sitio en donde se desarrolló el tema:

**Pemex Refinación.**

Av. Marina Nacional No. 329.

Col. Huasteca. CP. 11311.

Delegación Miguel Hidalgo.



Asesor del tema

Sustentante

---

Ing. David González Ramírez

---

Luis Edgar Roque Velázquez

## *Agradecimientos*

### **A DIOS.**

A mis padres por el apoyo que me han dado hasta ahora, no solo en la escuela sino en todo lo que hago. Porque su apoyo siempre ha sido incondicional. Gracias por todo.

A mis hermanos por la ayuda brindada y por todo lo que hemos vivido juntos.

Al ingeniero David González Ramírez por confiar en mí y por haberme ayudado, orientado y dado su amistad.

A todos los ingenieros de Pemex que me ayudaron incondicionalmente en la realización de este trabajo.

A los profesores que me ayudaron en mi formación como profesionista, con consejos y enseñanzas más allá de lo académico.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por ser parte importante de mi vida.

A todos mis amigos, por haber estado siempre conmigo y haberme dado su amistad incondicional. Por el apoyo y los consejos brindados. Por las experiencias buenas y malas que vivimos juntos. Por estar siempre conmigo cuando los he necesitado.





UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

# ÍNDICE



Notación

1.- Objetivo . . . . .	1
2.- Introducción . . . . .	3
3.- Antecedentes . . . . .	5
3.1 Breve descripción de la Refinería “Gral. Lázaro Cárdenas” de Minatitlán Ver . . . . .	6
3.2 Proceso Catalítico . . . . .	8
3.2.1 Descripción general del proceso catalítico . . . . .	9
3.2.2 Alimentación de la Carga y Reactor . . . . .	11
3.2.3 Separación de Catalizador y Vapores . . . . .	12
3.2.4 Agotador . . . . .	13
3.2.5 Válvula Deslizante de Catalizador Gastado . . . . .	14
3.2.6 Regenerador . . . . .	15
3.2.7 Válvula Deslizante de Catalizador Regenerado . . . . .	16
3.2.8 Sección de Fraccionamiento . . . . .	17
4.- Modernización de la planta Catalítica No. 1 . . . . .	21
4.1 Objetivos de la Modernización . . . . .	23
4.2 En que consistió la modernización . . . . .	24
4.3 Inyectores de carga . . . . .	26
5.- Análisis Económico . . . . .	28
5.1 Aumento Volumétrico Teórico y Balance de Materia . . . . .	29
5.2 Variación de Rendimientos . . . . .	33
5.3 Aumento Volumétrico Real . . . . .	44
5.4 Ganancia Económica . . . . .	45
5.4.1 Aumento de Rendimientos . . . . .	47
5.4.2 Reducción de Gastos de Operación . . . . .	56
5.4.2.1 Consumo de Catalizador . . . . .	59
5.4.3 Aumento del Índice de Octano. . . . .	60
5.5 Análisis de Sensibilidad . . . . .	70
5.6 Parámetros Económicos . . . . .	72
5.6.1 Tiempo de Recuperación de la Inversión . . . . .	74
5.6.2 Valor Presente Neto . . . . .	77
5.6.3 Tasa Interna de Rendimiento . . . . .	79

6.- Análisis de Resultados . . . . .	81
7.- Conclusiones . . . . .	85
8.- Glosario . . . . .	88
9.- Bibliografía . . . . .	94
10.- Anexos . . . . .	97
10.1. Cargas y producciones de la planta <i>FCC</i> . Año 2004 . . . . .	98
10.2 Cargas, producciones y ganancias/perdidas de la planta <i>FCC</i> . Año 2005 . . . . .	100
10.3 Índice de Octano de gasolina de desintegración catalítica . . . . .	106

**TABLAS**

Tabla 1. Gravedad específica . . . . .	29
Tabla 2. Rendimientos máxicos . . . . .	30
Tabla 3. Volumen teórico de los productos . . . . .	32
Tabla 4. Rendimiento volumétrico teórico . . . . .	33
Tabla 5. Cargas y producciones promedio diarias 2004 . . . . .	35
Tabla 6. Rendimientos 2004 . . . . .	37
Tabla 7. Cargas y producciones promedio diarias 2005 . . . . .	37
Tabla 8. Rendimientos 2005 . . . . .	38
Tabla 9. Rendimientos . . . . .	38
Tabla 10. Promedios y varianzas 2004 y 2005. Cargas y producciones . . . . .	41
Tabla 11. Volumen Real de los productos . . . . .	44
Tabla 12. Rendimiento volumétrico Real . . . . .	44
Tabla 13. Precios de los productos de la <i>FCC</i> . . . . .	46
Tabla 14. Ganancia económica por aumento de rendimientos. Caso base . . . . .	53
Tabla 15. Ganancia económica por aumento de rendimientos. Caso 1 . . . . .	54
Tabla 16. Ganancia económica por aumento de rendimientos. Caso 2 . . . . .	55
Tabla 17. Ganancia económica diaria por aumento de rendimientos . . . . .	56
Tabla 18. Ganancia económica anual por aumento de rendimientos . . . . .	56
Tabla 19. Gastos de operación . . . . .	57
Tabla 20 Promedios y varianzas 2004 y 2005. Gastos de Operación . . . . .	58
Tabla 21. Consumo de catalizador . . . . .	59



Tabla 22. RON, MON e Índice de Octano . . . . .	61
Tabla 23. Promedios y varianzas 2004 y 2005. Índice de Octano . . . . .	61
Tabla 24. Precio de gasolinas finales . . . . .	63
Tabla 25. Índice de Octano de gasolinas finales . . . . .	63
Tabla 26. Ganancia económica . . . . .	65
Tabla 27. VPN y TIR . . . . .	74
Tabla 28. Tiempo de recuperación de la inversión en años. Caso base . . . . .	75
Tabla 29. Tiempo de recuperación de la inversión en meses. Caso base . . . . .	75
Tabla 30. Tiempo de recuperación de la inversión en meses. Caso 1 . . . . .	76
Tabla 31. Tiempo de recuperación de la inversión en meses. Caso 2 . . . . .	77
Tabla 32. Parámetros de evaluación económica . . . . .	80
Tabla 33. Resultados económicos . . . . .	84

## GRÁFICAS

Gráfica 1. Carga y producciones de la FCC . . . . .	39
Gráfica 2. Rendimientos de la FCC . . . . .	39
Gráfica 3. Beneficio económico . . . . .	65
Gráfica 4. Ingresos totales de la FCC. Año 2004 y 2005 . . . . .	69
Gráfica 5. Variación de precios. Año 2005 . . . . .	70
Gráfica 6. Variación de gastos de operación. Año 2005 . . . . .	71

## FIGURAS

Fig. 1. Arreglo de la Refinería “Gral. Lázaro Cárdenas” . . . . .	8
Fig. 2. Ruta de los productos de la Planta Catalítica . . . . .	10
Fig. 3. Reactor tubular con inyectores . . . . .	11
Fig. 4. Dispositivo de separación lineal . . . . .	12
Fig. 5. Agotador . . . . .	13
Fig. 6. Válvula deslizante de catalizador gastado . . . . .	14
Fig. 7. Regenerador . . . . .	15
Fig. 8. Válvula deslizante de catalizador regenerado . . . . .	17
Fig. 9. Fraccionador principal . . . . .	20
Fig. 10. Modificaciones a la planta catalítica . . . . .	25
Fig. 11. Inyectores de carga . . . . .	26
Fig. 12. Rendimientos anteriores y actuales de la FCC . . . . .	82

## NOTACIÓN

ACL	Aceite Cíclico Ligero.
AD	Aceite Decantado.
B	Barriles
C <sub>3</sub> /C <sub>3</sub> <sup>=</sup>	Propano – Propileno.
C <sub>4</sub> /C <sub>4</sub> <sup>=</sup>	Butano – Butileno.
COPE	Combustoleo
Dlls	Dólares
FCC	Fluid Cracking Catalytic.
HDS	Hidrodesulfuración.
I.O.	Índice de Octano
LDD	Lineal Disengaging Device. Dispositivo de separación lineal.
LPG	Gas Licuado a Presión.
MBD	Miles de Barriles Diarios
TIR	Tasa Interna de Rendimiento
TRI	Tiempo de Recuperación de la Inversión
UOP	Universal Oil Products.
VPN	Valor Presente Neto.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

# 1. OBJETIVO



**OBJETIVO GENERAL:**

EVALUACIÓN DEL IMPACTO ECONÓMICO DE LA MODERNIZACIÓN DE LA PLANTA CATALÍTICA DE LECHO FLUIDIZADO FCC DE LA REFINERÍA “GRAL. LÁZARO CÁRDENAS” DE MINATITLÁN, VER.

**OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

1. EVALUAR LA VARIACIÓN EN LAS PRODUCCIONES Y RENDIMIENTOS DE LA PLANTA CATALÍTICA DEBIDOS A LA MODERNIZACIÓN DE LA MISMA.
2. EVALUAR EL AUMENTO DEL ÍNDICE DE OCTANO DE LA GASOLINA DE DESINTEGRACIÓN.
3. EVALUAR LA VARIACIÓN EN LOS GASTOS DE OPERACIÓN DE LA PLANTA CATALÍTICA.
4. EVALUAR EL IMPACTO ECONÓMICO CAUSADO POR LA VARIACIÓN DE RENDIMIENTOS.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

## 2. INTRODUCCIÓN



El Sistema Nacional de Refinerías (SNR), ha implementado un proyecto en el que se pretende reconfigurar todas las refinerías del país. La Refinería “Gral. Lázaro Cárdenas” en Minatitlán, Ver. se encuentra en el proceso del proyecto de la reconfiguración de la misma. El propósito de la reconfiguración de las refinerías es el aumento en la capacidad de las mismas, así como transformar el fondo de barril en productos de mayor valor económico con la construcción de nuevas plantas y modernización de las ya existentes, esto con el objeto de poder satisfacer mas ampliamente la demanda de combustibles del país, la cual ha ido aumentando gradualmente.

La demanda de gasolinas ha ido aumentando en los últimos años, de 550 mil a 670 mil barriles diarios en los últimos tres años, ya que se ha visto un incremento importante en los vehículos en las grandes ciudades. Asimismo se requiere también una mayor producción de energéticos para industrias importantes tal como la eléctrica. Una parte importante de estos productos son importados principalmente de Estados Unidos, lo cual incrementa el costo de los mismos.

La planta de desintegración catalítica es una planta diseñada para producir una cantidad importante de gasolinas, así como otros productos que también son importantes, como gas combustible, gas licuado (propano-propileno y butano-butileno), aceites cíclicos, que son utilizados como materia prima para otros procesos o se pueden utilizar también como combustibles. Esta planta produce la gasolina a partir de las corrientes residuales de la destilación atmosférica y de la de vacío, es decir, gasóleos primarios y de alto vacío, y con un rendimiento muy alto, por lo que es de gran ayuda para la generación de gasolinas que ayuden a cubrir la demanda existente.

La planta de desintegración catalítica de Minatitlán Ver. es una planta antigua, y hoy en día se han desarrollado tecnologías que permiten una mayor eficiencia y mayor obtención de los productos deseados. Debido a esto se hicieron cambios en esta planta, con lo que se mejorará el proceso. La modernización de la planta catalítica es un proyecto previo a la reconfiguración mencionada anteriormente.

La inversión en este proyecto es grande, aproximadamente 10 millones de dólares, sin embargo los beneficios esperados también lo son, debido a que los productos obtenidos tienen un valor comercial mucho mayor a la materia prima utilizada. Se espera una recuperación y rentabilidad suficiente para justificar la modernización de esta.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

### **3. ANTECEDENTES**



### **3.1 BREVE DESCRIPCIÓN DE LA REFINERÍA.**

La Refinería “Gral. Lázaro Cárdenas” de Minatitlán, Veracruz, se alimenta con una mezcla de petróleo: 30% de crudo Maya y 70% de crudo Istmo.

El petróleo crudo se alimenta a las torres de destilación atmosférica, las cuales separan el petróleo en los siguientes componentes:

- Gas Amargo.
- Gasolina primaria.
- Turbosina primaria.
- Gasoleo primario.
- Kerosina primaria.
- Residuo primario.

El residuo de la destilación atmosférica se envía a la destilación al vacío, que es un proceso en el que por la disminución de la presión se logra una mejor separación de los componentes ligeros del petróleo. En esta destilación se obtienen como productos:

- Gasoleo ligero.
- Gasoleo pesado.
- Residuo de vacío.

Estos productos contienen como principal impureza el azufre en forma de diversos componentes, el cual es eliminado de estas corrientes por medio de un proceso llamado hidrodesulfuración, en el cual el azufre es retirado de estas corrientes en forma de  $H_2S$  para posteriormente recuperarlo.

Los gasóleos (ligero y pesado de vacío), son mezclados junto con el gasoleo atmosférico y se alimentan a la unidad de desintegración catalítica *FCC*, la cual convierte la alimentación en productos de mayor valor:



- Gases de hidrocarburos ligeros.
- Olefinas y parafinas ligeras.
- Gasolina de desintegración.
- Nafta pesada.
- Aceite Cíclico Ligero.
- Aceite Decantado.
- Producto de Fondos del Fraccionador.

La gasolina obtenida en la destilación atmosférica se manda al proceso de Reformación, en el cual ocurren reacciones que forman compuestos que le dan a la gasolina un alto octano.

También se agregan procesos como la síntesis de éteres e isomerización de pentanos-hexanos, balanceados de tal forma que la mezcla resultante cumpla con la especificación establecida.

En el proceso llamado Blending, se mezclan las diferentes gasolinas que se obtienen en los diferentes procesos de la refinería, y se obtienen las gasolinas finales (Gasolina Pemex Magna).

En la refinería de Minatitlán se obtienen los siguientes productos:

- LPG.
- Gasolina Pemex Magna.
- Pemex Diesel.
- Turbosina.
- Combustoleo
- Otros (Ciclohexano, Isobutano, Propileno).

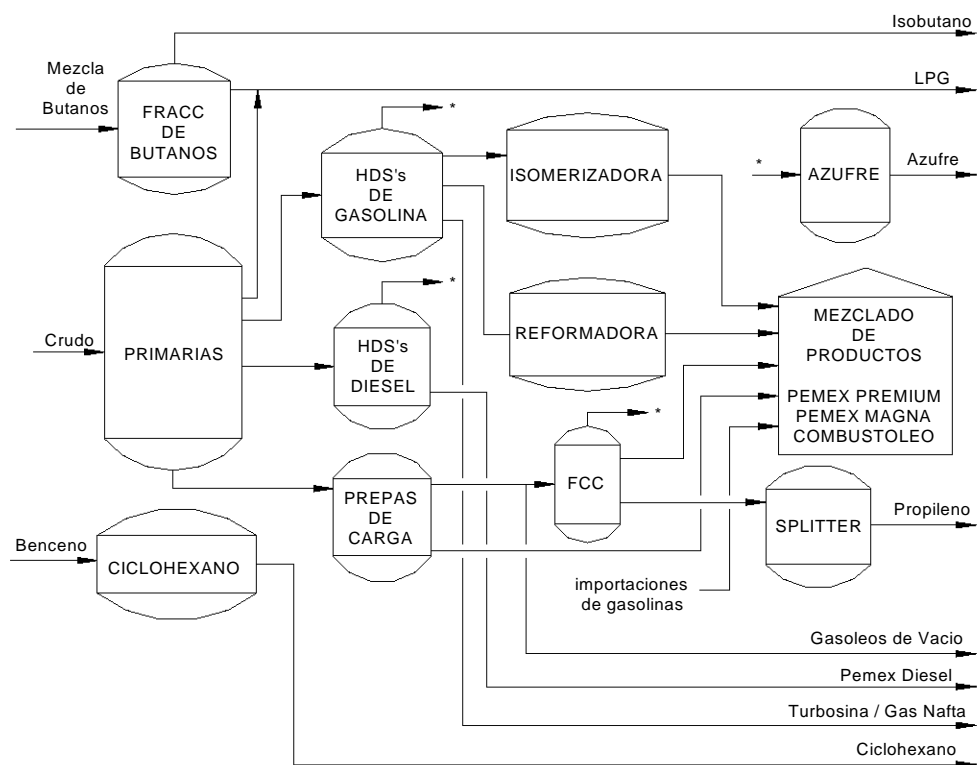


Figura No. 1 Arreglo de la Refinería "Gral. Lázaro Cárdenas".

### 3.2 PROCESO CATALÍTICO.

Dentro del proceso de desintegración catalítica, existen ciertas variables que son importantes mencionar, debido a que estas variables se utilizarán en el análisis económico.

Estas variables son:

- Carga a la planta catalítica.
- Producciones de los hidrocarburos obtenidos en la planta.
- Índice de Octano de la Gasolina de Desintegración Catalítica.
- Gastos de Operación.

### ***3.2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO CATALÍTICO.***

El proceso de desintegración necesita de altas temperaturas (arriba de 500 °C) para convertir hidrocarburos pesados en productos más ligeros y de mayor valor agregado. Esto se obtiene térmica o catalíticamente. El proceso catalítico ha desplazado casi completamente al proceso térmico, debido a la ventaja de que la reacción de desintegración se efectúa a temperaturas y presiones menores produciendo al mismo tiempo, gasolina de mayor octano, gases más estables y menos productos residuales pesados.

El proceso de desintegración catalítica emplea un catalizador en forma de esferas muy pequeñas que se comporta como fluido cuando se mueve con los vapores de los hidrocarburos. El Catalizador circula continuamente de la zona de reacción a la de regeneración. La planta catalítica consta de dos secciones: sección catalítica y sección de fraccionamiento, las cuales operan juntas, de manera integrada. La sección catalítica consta del reactor y el regenerador, los que, junto con el tubo elevador y las bajantes forman el circuito de circulación del catalizador. El catalizador circula ascendiendo por el tubo elevador al reactor, baja por el agotador al regenerador y por medio de las bajantes del regenerador regresa al tubo elevador.

Las corrientes de recirculado y carga fresca, llamadas carga combinada, entran a la planta por la base del tubo elevador donde se vaporizan y calientan a la temperatura del reactor, por el catalizador caliente. La mezcla de vapores de aceite y catalizador sube por el tubo elevador y entra al reactor. La desintegración de los gasóleos comienza inmediatamente que entra en contacto con el catalizador y continua hasta que los vapores se separan del catalizador en el reactor. Los productos de la desintegración, en fase vapor, continúan por la línea de vapores del reactor y van a la fraccionadora.

El carbón se deposita en el catalizador circulante en la zona de reacción. El catalizador ahora gastado fluye del reactor al regenerador, en donde se quema el carbón. El calor de combustión eleva la temperatura del catalizador de 593 – 704 °C siendo la mayor parte de este calor transferido a la carga en el tubo elevador.

En la sección de fraccionamiento los vapores del reactor se destilan; el gasoleo de recirculación regresa al tubo elevador para una nueva desintegración, y los productos, aceites cíclicos de desintegración, gasolina estabilizada y gas húmedo, salen de la planta. La gasolina estabilizada y el gas húmedo, se bombean y comprimen respectivamente a la planta de concentración de gas para una nueva separación (eliminar el azufre de estas corrientes).

Se obtiene también del domo de la fraccionadora, por medio de un absorbedor, el propano-propileno y el butano-butileno, que sirven como materia prima para la Industria petroquímica o bien como combustible (LPG).

Los productos finales de la planta de desintegración catalítica tienen diferentes destinos, en la siguiente figura se muestra la ruta que siguen:

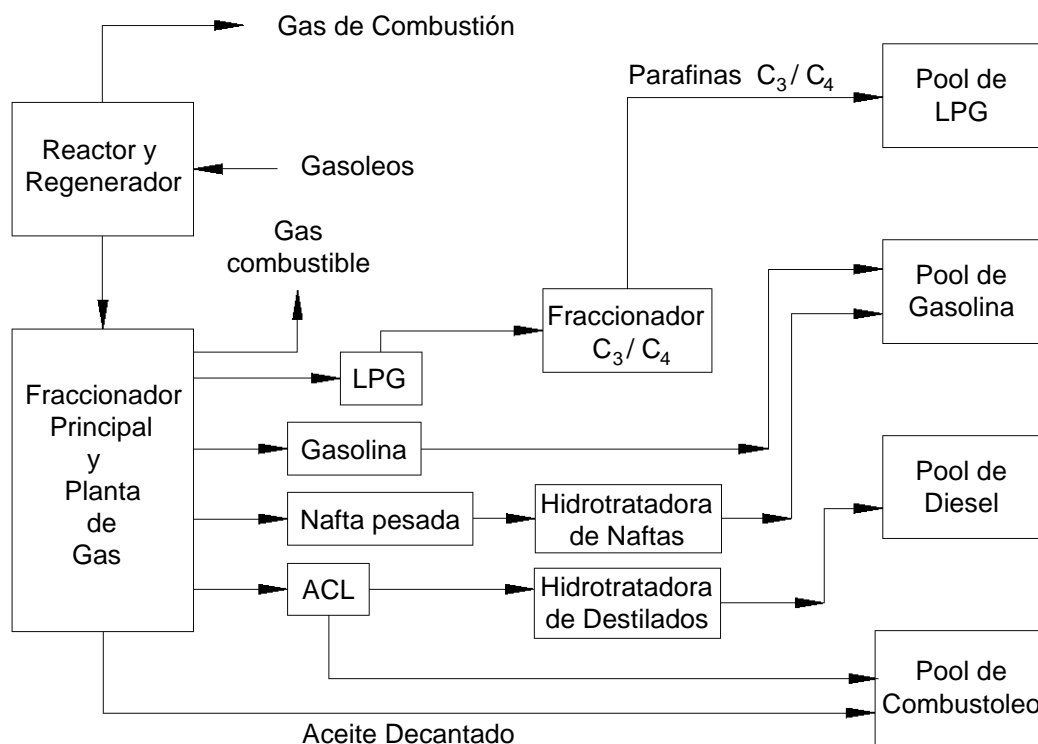


Figura No. 2 Ruta de los productos de la Planta Catalítica

### 3.2.2 ALIMENTACIÓN DE LA CARGA Y REACTOR.

El reactor tubular (Riser) es un tubo vertical, el cual es de acero al carbón recubierto con refractario.

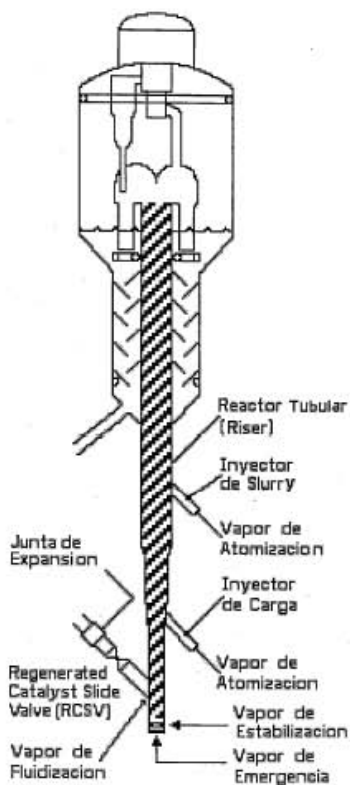


Figura No. 3 Reactor tubular con inyectores.

La carga fresca es inyectada a través de cuatro inyectores de carga, los cuales

En la Y del reactor tubular se agrega vapor de estabilización para evitar turbulencias y patrones de flujo del catalizador. Esto mediante un anillo distribuidor. El vapor de fluidización y el vapor de estabilización permiten que el catalizador llegue a la zona de inyección de carga.

están posicionados radialmente aproximadamente 10 ft sobre la base del reactor tubular. Catalizador y carga son mezclados 10 ft sobre la base del reactor, que es en donde se encuentran los inyectores.

La alimentación deberá ser dividida entre los inyectores de carga. Los inyectores usan vapor de dispersión para atomizar la carga al reactor. El aceite es atomizado por los inyectores y alimentado como un espreado en forma de abanico sobre la fase densa del catalizador regenerado caliente proveniente del regenerador. Hay un inyector de residuos o fondos localizado arriba de los inyectores de carga fresca, y este recibe de forma intermitente el residuo proveniente del retrolavado de los filtros de fondos.

### 3.2.3 SEPARACIÓN DE CATALIZADOR Y VAPORES.

El catalizador es rápidamente separado de la mezcla de los hidrocarburos / vapor de agua en el dispositivo de separación *LDD* (*Lineal Disengaging Device*) al final del reactor tubular. Una separación rápida es necesaria para que eviten que continúen reacciones no deseadas las cuales producen Gas a costa de la Gasolina.

Efectos inerciales forzan al catalizador contra las paredes del *LDD* y posteriormente hacia abajo dentro de las piernas de descenso del catalizador del *LDD*. Los hidrocarburos desintegrados y el vapor de agua junto con pequeñas cantidades de arrastradas de catalizador dejan el *LDD* a través de los tubos de gas, los cuales están dirigidos a la cámara del reactor.

Los vapores del agotador entran a la cámara del reactor vía un espacio entre los tubos de gas y la cámara del reactor.

Los vapores de hidrocarburos y catalizador arrastrado pasan a través de cuatro ciclones de alta eficiencia de una etapa para completar la separación de catalizador de los hidrocarburos, hasta aquí minimizando la cantidad de catalizador perdido hacia el fraccionador principal. Los ciclones están directamente acoplados a la cámara del reactor. Las piernas de descenso del catalizador terminan en el lecho del catalizador y tienen válvulas de flujo lento selladas en el catalizador para asegurar un sello positivo. Los productos de la reacción, inertes, vapor de agua y una mínima cantidad de catalizador fluyen al

fraccionador Principal. La pequeña cantidad de catalizador contenida en los vapores provenientes del reactor es llevada fuera del fraccionador por el producto de los fondos (*Slurry*).

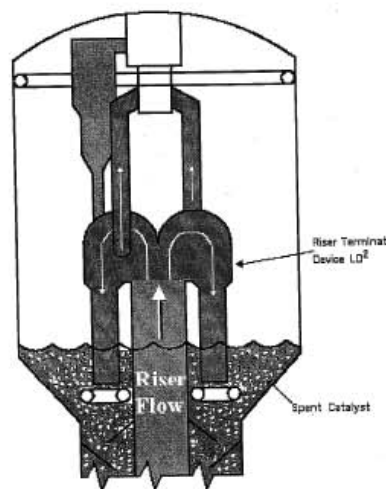


Figura No. 4 Dispositivo de Separación Lineal.

### 3.2.4 AGOTADOR.

El catalizador gastado es agotado con vapor en dos etapas; el catalizador gastado entra al recipiente del agotador/reactor proveniente de las piernas de descenso de catalizador del *LDD* y es inmediatamente puesto en contacto con el vapor de preagotamiento. Los anillos de vapor de preagotamiento están localizados justo por debajo de las piernas de descenso de catalizador del *LDD*.

Sin un rápido agotamiento, los hidrocarburos volátiles absorbidos dentro del catalizador podrían de otra manera reaccionar para formar coque mientras el catalizador fluye dentro del agotador.

El flujo de vapor a los anillos de pre-agotamiento es controlado por válvulas locales operadas manualmente.

El agotador utiliza seis baffles tipo disco y seis del tipo dona. Se adiciona refractario a las paredes del agotador para aislar estas del catalizador caliente, dando como resultado un diseño tipo “pared fría”. Los baffles están inclinados en un ángulo de 45°.

El anillo de vapor principal en el agotador, fluidiza el lecho de catalizador, desplaza los hidrocarburos arrastrados y agota los hidrocarburos absorbidos por el catalizador antes de que este entre a regeneración. El coque remanente en el catalizador es quemado en el regenerador.

El catalizador gastado deja el agotador justo por debajo del anillo principal del vapor de agotamiento.

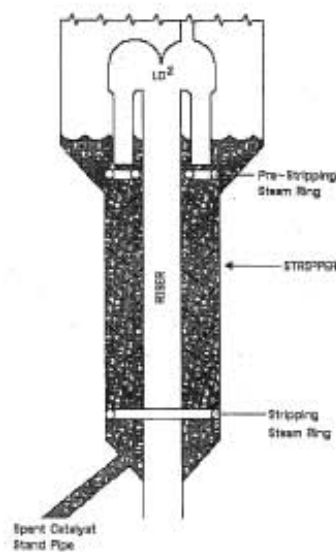


Figura No. 5 Agotador.

3.2.5 VÁLVULA DESLIZANTE DE CATALIZADOR GASTADO

La válvula deslizante de catalizador gastado controla el nivel de catalizador en el agotador mediante la modulación de flujo de catalizador gastado del agotador al regenerador. El nivel de catalizador en el agotador es medido por instrumentos de presión diferencial que envían una señal al controlador que ajusta la posición de la válvula deslizante del catalizador gastado.

Un nivel mínimo es requerido en el agotador del catalizador para asegurar la remoción de hidrocarburos del catalizador y mantener el sello requerido de las piernas de descenso del catalizador del LDD en el lecho del catalizador. El máximo nivel en el agotador/reactor no debe de excederse o los ciclones del reactor podrían resultar inundados dando como resultado un espontáneo y probablemente mayor relevo de catalizador al fraccionador principal.

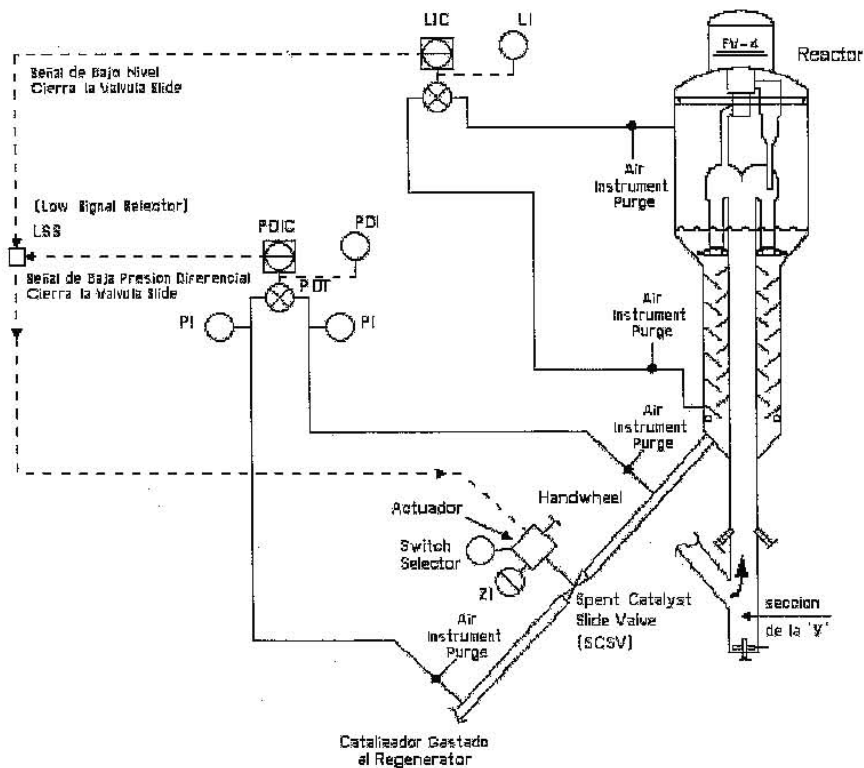


Figura No. 6 Válvula Deslizante de Catalizador Gastado.



Una circulación suave y homogénea del catalizador es vital para una operación exitosa de la unidad FCC, y es lograda mediante una adecuada aereación y fluidización del catalizador en las líneas de transferencia así como un control en el balance de las presiones de la unidad.

Un circuito de paro de emergencia cerrará las válvulas deslizantes de catalizador automáticamente en caso de pérdida de alimentación de carga fresca o aire de combustión.

### 3.2.6 REGENERADOR.

El catalizador gastado proveniente del agotador es distribuido justo por arriba de los anillos de distribución del aire de combustión y el catalizador es regenerado con un flujo de aire bajo una completa combustión hasta menos de 0.05% de carbón. El catalizador es extraído del regenerador justo por debajo del nivel del lecho del catalizador. Muy poco monóxido de carbono es producido y el exceso de oxígeno es mantenido mediante el control de flujo del aire de combustión para una eficiente y completa combustión.

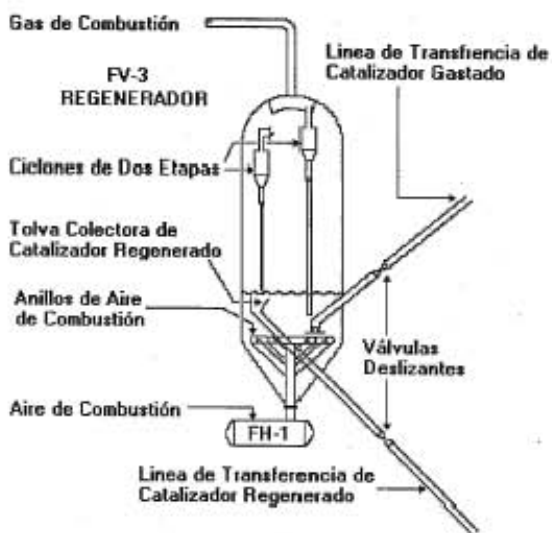


Figura No. 7 Regenerador

Seis ciclones de alta eficiencia de dos etapas son empleados en el regenerador para limitar las pérdidas de catalizador

desde el regenerador. Las piernas de descenso de catalizador están enterradas dentro del lecho del catalizador.

El gas de combustión sale de los ciclones a la cámara del regenerador y posteriormente fluyen a la línea del gas de combustión del domo del regenerador. El nivel en el regenerador no es controlado en forma directa, pero depende de extracciones o adiciones periódicas que sean necesarias para mantener el nivel en la región normal de operación.

El regenerador es un recipiente de acero al carbón recubierto con un material llamado refractario tipo concreto, el cual es aplicado en soportes en forma hexagonal y soldados en la pared del regenerador. Este recubrimiento es necesario para proteger la pared del recipiente de las altas temperaturas a las cuales el regenerador es operado y mantenerlas por debajo de los 350 °C en todo momento debido al material de acero al carbón seleccionado. Distintos grados y espesores son aplicados, dependiendo del servicio. En general, 4” de espesor son usadas en el regenerador cuando el recubrimiento es de vital importancia (aceros al carbón).

Las conexiones de instrumentos son insertadas a través del refractario. Los termoposos, los cuales son utilizados para medir la temperatura del gas y catalizador, tienen una superficie endurecida con cobalto-cromo para su protección de las condiciones abrasivas. Los instrumentos están también protegidos con vapor, gas o purga de aire, pues pueden fácilmente taparse con el catalizador.

### ***3.2.7 VÁLVULA DESLIZANTE DE CATALIZADOR REGENERADO***

El catalizador regenerado caliente a una temperatura aproximada de 700 °C a 750 °C fluye del regenerador a través de una tolva de extracción de catalizador localizada justo por debajo del nivel normal del lecho de catalizador. El catalizador se deaeréa desde la densidad del lecho de catalizador del regenerador hasta la densidad en la línea del catalizador regenerado, mientras que el catalizador fluye a través de la tolva. Este diseño asegura un flujo suave y homogéneo del catalizador hacia abajo de la línea de transferencia de catalizador regenerado.

Válvulas de aereación localizadas por debajo de la línea de transferencia de catalizador regenerado se utilizan para reaerear el catalizador y reemplazar el volumen de gas perdido debido a la compresión del catalizador.



Las secciones principales son las siguientes:

Fondo de la torre fraccionadora: La circulación de lodos (Slurry) condensa el producto de fondos de los vapores de hidrocarburos y limpia los vapores de las pequeñas cantidades de catalizador arrastrado. Además genera vapor de 285 psig y precalienta la corriente de carga fresca. El lodo es después enfriado hasta 250 °C contra agua de alimentación a calderas. La corriente se divide en dos: el “Slurry producto”, que va a un filtro para remover el catalizador; y el “Slurry de Recirculación”, el cual retorna como flujo de lavado a la parte superior de los platos de cuatro pasos tipo mampara en la sección de lavado del fraccionador principal. Una corriente de lodo frío es adicionada en el fondo del fraccionador para mantener la temperatura en 360 °C. Vapor de 50 psig es adicionado en el fondo del fraccionador para inhibir la formación de coque.

Sección de Aceite Decantado: La sección de lavado enfría los vapores ascendentes con recirculación de AD. Esta sección de lavado esta compuesta por una sección de empaque estructurado. La circulación del AD es extraída en un plato tipo chimenea y es bombeado para proporcionar calor a la columna desbutanizadora por medio del rehervidor de la misma. De la descarga de las bombas se tiene la posibilidad de recircular AD al reactor. Una vez que el AD es enfriado hasta 220 °C, regresa al fraccionador para condensar los vapores ascendentes de los hidrocarburos. La sección de reflujo de AD consiste de un lecho de empaque estructurado de alta eficiencia.

Sección de Aceite Cíclico Ligero: La corriente de ACL es extraída de un plato tipo chimenea y a su vez esta corriente es dividida en varias subcorrientes. La primera entra a un agotador, en donde los ligeros son retirados del ACL usando vapor de 50 psig, los cuales son regresados a la torre fraccionadora por encima del plato tipo chimenea. El ACL producto es utilizado para precalentar la corriente de carga fresca y después es mandado a almacenamiento (una pequeña corriente de ACL producto se utiliza como aceite de sello o “Flushing Oil”). Otra corriente es dividida en dos, la primera es enviada al rehervidor de la columna despropanizadora; la segunda corriente se usa para suministrar calor a la columna Stripper, precalentar la carga fresca y precalentar agua de alimentación a calderas. Esta

corriente es dividida en dos y una parte se junta con la recirculación proveniente de los fondos de la despropanizadora y regresan a la torre fraccionadora a una temperatura de 150 °C. La segunda corriente es enfriada a 40 °C y enviada al coalescedor de aceite esponja en donde se retira el exceso de agua. Después es enviado al absorbedor de aceite esponja en donde absorbe de la corriente de gas del domo del acumulador de reflujo del absorbedor primario, los hidrocarburos propano (C3) y mas pesados, para dejar un gas libre de LPG. Esta corriente de aceite esponja rico es enviado de nuevo a la torre fraccionadora principal.

Sección de Nafta Pesada: El fraccionamiento entre el ACL y la Nafta pesada se efectúa en la sección empacada, por debajo del plato tipo chimenea, en donde se extrae tanto la circulación como el producto de la Nafta Pesada. La extracción de Nafta pesada se divide en dos corrientes: La primer corriente es utilizada para precalentar la alimentación a la debutanizadora, después es enfriada por un intercambiador de calor y después por un soloaire antes de regresar a la torre fraccionadora. La segunda corriente entra a un agotador, en donde se inyecta vapor de 50 psig para eliminar los productos ligeros de la Nafta pesada, los cuales son recirculados a la torre fraccionadora justo arriba del plato de extracción. La Nafta producto es enfriado por dos cambiadores de calor antes de ser enviado a almacenamiento.

Sistema del Domo del Fraccionador: Los vapores del domo del fraccionador consisten de una mezcla de Nafta Ligera, vapores de hidrocarburos, vapor de agua y gases inertes provenientes del reactor. Se inyecta agua de lavado y los vapores son condensados parcialmente en el condensador y en el sistema de intercambiadores. La mezcla resultante es separada en un acumulador de reflujo. La Nafta Ligera se separa en dos corrientes: La primer corriente se recircula a la torre fraccionadora. La segunda corriente sale como producto. El agua amarga es bombeada hacia límite de baterías. El gas húmedo del acumulador alimenta al compresor de gas húmedo, del cual la descarga se combina con una corriente de los fondos del absorbedor primario y vapores del domo del agotador. Esta corriente es enfriada y enviada a un tanque separador, en donde se obtendrán vapores (que irán al absorbedor primario), y gasolina inestabilizada como producto final.

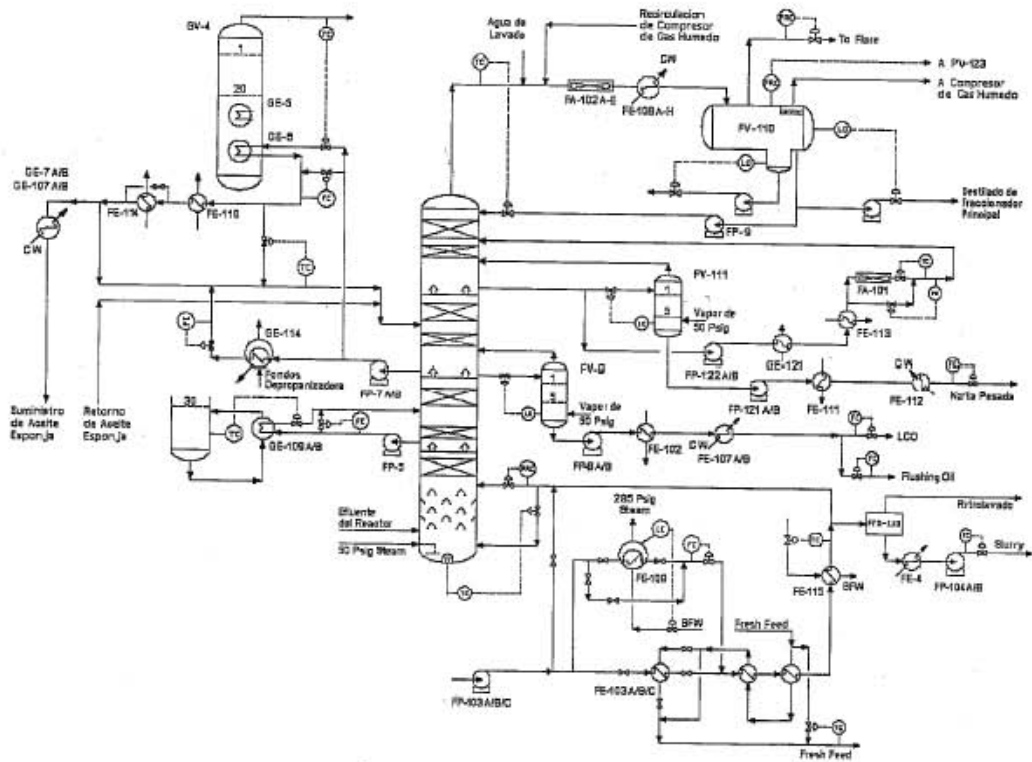


Figura No. 9 Fraccionador Principal



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

# 4. MODERNIZACIÓN DE LA PLANTA CATALÍTICA



Para su instalación en la refinería “Gral. Lázaro Cárdenas” de Minatitlán Ver. la planta de desintegración catalítica de Lecho Fluidizado (*Fluid Catalytic Cracking – FCC*) fue diseñada en 1964 con tecnología UOP. En 1965 la *Lummus Company* comenzó su construcción y en 1967 inició operaciones. Su capacidad de diseño fue de 24 MBD, llegando a alcanzar en operación la capacidad de 28 MBD.

En 1998 se cambió el arreglo de agua de enfriamiento a los condensadores del domo de la Fraccionadora principal, los cuales eran alimentados en serie, quedando en paralelo y con ello permitió incrementar la carga hasta 28 MBD como parte de un programa de mejoramiento operativo (MDO), esto es, se incrementó la eficiencia de la planta por un mejor sistema de condensación.

En 1999 la compañía Stone & Webster elaboró el paquete de ingeniería básica para la modernización de esta unidad. En el año 2003 la compañía ICA-Fluor Daniel desarrolló el paquete de ingeniería de detalle.

Los trabajos de la modernización de la planta Catalítica *FCC*, se llevaron a cabo en el periodo de Octubre a Diciembre del año 2004.

Se decidió modernizar la planta catalítica debido a que actualmente se han desarrollado avances tecnológicos que permiten obtener mejores rendimientos de los productos con mayor valor agregado, de los cuales es posible obtener mayores beneficios económicos.

El proyecto de la modernización de la planta catalítica de la refinería de Minatitlán, es parte de un macroproyecto que el Sistema Nacional de Refinerías implementó con el propósito fundamental de implantar un nuevo esquema, consistente en incrementar la producción de petrolíferos y la cobertura de la demanda nacional de hidrocarburos en cantidad y calidad ecológica internacional.



La modernización de la planta catalítica es el inicio de la reconfiguración de la refinería de Minatitlán, la que iniciara en el año 2006. En esta reconfiguración se construirán nuevas plantas, se modernizaran algunas de las ya existentes y con esto se espera aumentar su capacidad de procesamiento de petróleo crudo y mejorar la calidad de los productos ahí producidos.

Actualmente la demanda de gasolina, en cantidad y calidad, para satisfacer las necesidades del mercado nacional, son cada día mayores; con base a lo anterior se llevo a cabo a fines del año 2004, la rehabilitación y modernización de la planta catalítica de la refinería de Minatitlán.

#### ***4.1 OBJETIVOS DE LA MODERNIZACIÓN.***

La modernización de la *FCC* tiene los siguientes objetivos:

- Aumento en el rendimiento de los productos de mayor valor agregado, tales como la gasolina y los gases licuados ( $C_3$ 's y  $C_4$ 's).
- Disminución en el rendimiento de los productos de menor valor agregado, como son el aceite cíclico ligero (diluente) y aceite decantado.
- Aumento en el Índice de Octano de la Gasolina de Desintegración Catalítica

#### ***4.2 EN QUE CONSISTIÓ LA MODERNIZACIÓN.***

En la modernización de la planta catalítica se hicieron cambios y modificaciones en varias secciones de la planta, estos se pueden resumir de forma general en los siguientes puntos:

1. Se sustituyó el tubo levantador (*Riser*) por uno del tipo pared fría con boquillas de alta eficiencia generación “G”, boquilla de inyección de *Slurry* y el anillo de vapor de levantamiento.
2. Se adiciono un interlock para desvió de la carga a la fraccionadora y cierre de entrada al *Riser*.
3. Se sustituyeron los internos del reactor FV-4 (placa de choque, plato de separación, ciclones y cámara plena) por un dispositivo de separación lineal (*LDD*), los tubos de vapor a la cámara interna “Y”, 4 ciclones de alta eficiencia y sus piernas de sello, la cámara plena, el empacado de la zona de agotamiento y los distribuidores de vapor de preagotamiento y agotamiento.
4. Se sustituyó la bajante del catalizador agotado por una línea de transferencia del tipo pared fría.
5. Se sustituyó el distribuidor de aire en el regenerador FV-3 por dos anillos distribuidores de aire.
6. Se sustituyeron los platos internos de la torre fraccionadora FV-7, por empaque estructural de alta eficiencia que incluye además un corte de Nafta Pesada que se enviara a hidrotatamiento.
7. Se sustituyeron los cambiadores de calor FE-2 y FE-3 – A/B/C y las bombas de carga BA-619-A/B por equipos nuevos para manejar los nuevos requerimientos de presión.

En la siguiente figura se muestran algunas de las secciones de la planta catalítica en las que se invirtió. El número corresponde a los puntos anteriormente mencionados.

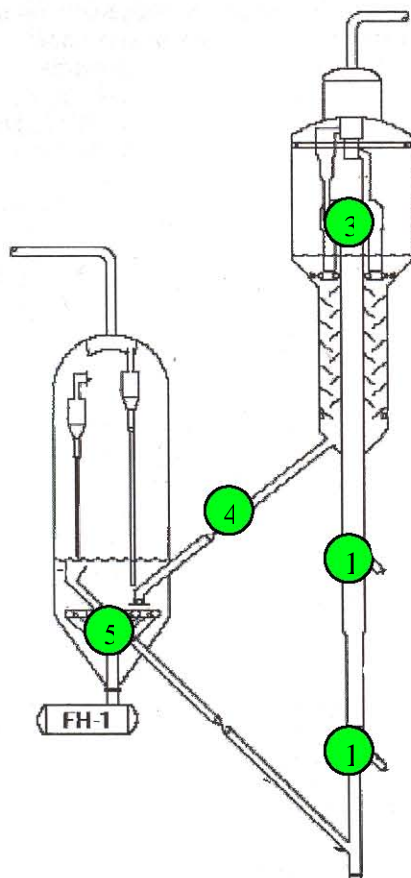


Figura No. 10. Modificaciones a la planta catalítica.

Los puntos 2, 6, y 7 no se muestran pues se refieren a la sección de fraccionamiento y a la alimentación a la planta.

### 4.3 INYECTORES DE CARGA.

De todas las modificaciones realizadas, los inyectores de carga son los más relevantes, pues estos son los que ocasionan una mayor producción de los hidrocarburos de mayor valor agregado, como son las gasolinas y los gases licuados, y menor producción de aceites cíclicos.

El principio de los inyectores es el de atomizar la carga al reactor en minúsculas gotas y con esto obtener un área superficial muy grande. Esto asegura una rápida transferencia de calor con el catalizador regenerado caliente, promoviéndose con esto una vaporización muy rápida de la alimentación.

Lo anterior incrementa las reacciones de desintegración en la fase vapor y minimiza las reacciones de coquización en la fase líquida.

En reacciones de desintegración catalítica en fase vapor, la importancia de maximizar la vaporización en el menor tiempo es crítica. Unas gotas de aceite de mayor tamaño permanecen en fase líquida por mayor tiempo y pueden envolver las partículas del catalizador bloqueando en forma muy efectiva el área superficial activa del catalizador. Una vaporización lenta de la alimentación promueve la formación de coque, gas y aceite decantado a costa de la producción de la gasolina.

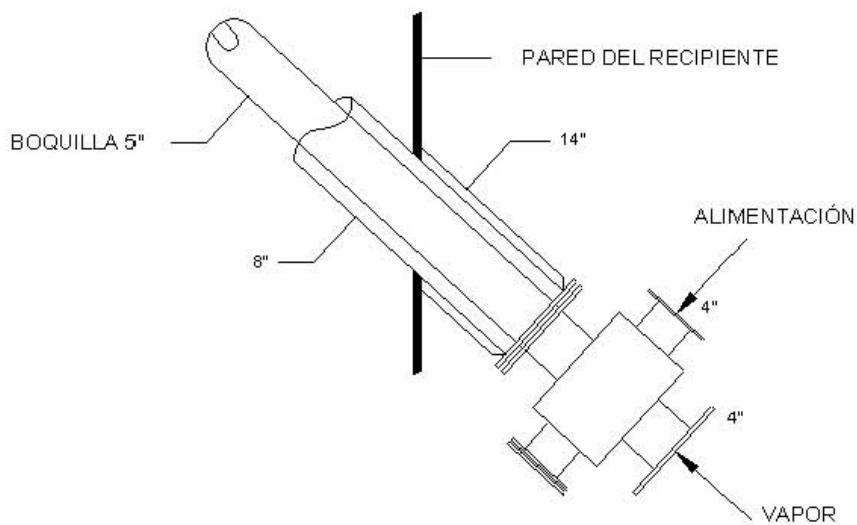


Figura No. 11. Inyectores de Carga

Una distribución uniforme de la alimentación y una vaporización rápida también tiene otros beneficios. El efecto tipo venturi del sistema de inyección de la alimentación, da como resultado una mas eficiente y uniforme aceleración del catalizador en su trayectoria vertical ascendente.

Los nuevos inyectores de carga atomizan el aceite de la alimentación utilizando una acción cortante en una placa de choque diseñada especialmente para este efecto. Cuando la energía del impacto es trasladada a movimiento turbulento sobre la placa de choque, el vapor de alta velocidad corta el aceite en partículas muy pequeñas formando una niebla muy fina.

La punta de la boquilla esta diseñada para descargar dos cortinas de la alimentación, ya atomizada, en forma de cuña que se despliegan en abanico desde la punta de la boquilla en cierto ángulo. La acción de la boquilla de inyección de la carga fresca suministra una uniforme cobertura de la sección transversal del Riser sin golpear sus paredes.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

# 5. ANÁLISIS ECONÓMICO



**5.1 AUMENTO VOLUMÉTRICO TEÓRICO Y BALANCE DE MATERIA.**

En una reacción de desintegración catalítica, la cual es objeto del estudio, existe un aumento volumétrico. Es decir, se alimenta un volumen inicial, sin embargo, a la salida del fraccionador el volumen resultante es mayor.

Este aumento se debe a la diferencia de los pesos específicos de los productos comparados con el peso específico de la alimentación. Esto ocasiona que los volúmenes molares de cada producto sean diferentes al de la alimentación. La suma de los volúmenes de los productos es mayor al volumen de la alimentación.

Sin embargo, aunque los volúmenes de alimentación y productos no sean iguales, la masa debe permanecer constante. Debido a esto es necesario hacer un balance de materia en este proceso catalítico para comprobar que el balance sea correcto; con el balance de materia podemos obtener el aumento volumétrico correspondiente.

Para realizar el balance de materia seguimos estos pasos:

- 1) Obtenemos la gravedad específica de la alimentación y de los productos:

<b>Producto</b>	<b>Gravedad específica* (g/cm<sup>3</sup>)</b>
Gasóleos de alimentación	0.9209
Gas amargo	0.0025
Propano-propileno	0.5205
Butano-butileno	0.6028
Gasolina de desintegración	0.7654
Aceite Cíclico ligero	0.9524
Aceite Decantado	1.0832

Tabla No. 1 Gravedad específica.

\* Condiciones estándar 1 atm. y 0°C.

- 2) Los rendimientos esperados con la modernización de la planta catalítica son los siguientes:

<b>Producto</b>	<b>% masa</b>
Gas amargo	4.12
Propano – propileno	6.40
Butano – butileno	9.73
Gasolina de desintegración	49.39
Aceite cíclico ligero	17.89
Aceite Decantado	7.33
Coque	5.14
<b>Total</b>	<b>100</b>

Tabla No. 2 Rendimientos máxicos.

- 3) Obtenemos la masa de la alimentación y con este valor obtenemos la masa de los productos, convirtiendo este valor a volumen mediante la fórmula:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Donde:

$\rho$  = densidad

m = masa

V = volumen

Los cálculos son realizados a condiciones estándar, pues la alimentación teórica (27.5 MBD) esta reportada a tales condiciones.

**Gasóleos de alimentación: 27,500 Barriles**

$$27500B \cdot \left(159 \frac{L}{B}\right) \cdot \left(1000 \frac{cm^3}{L}\right) \cdot \left(0.9209 \frac{g}{cm^3}\right) \cdot \left(\frac{1Kg}{1000g}\right) \cdot \left(\frac{1Ton}{1000Kg}\right)$$

Masa de los gasóleos de alimentación: 4026.63 Toneladas



**- Propano – Propileno:**

$$4026.63\text{Ton} \cdot 0.064 = 257.70\text{Ton}$$

Masa de propano - propileno: 257.70 Toneladas

$$257.70\text{Ton} \cdot \left(1000 \frac{\text{Kg}}{\text{Ton}}\right) \cdot \left(1000 \frac{\text{g}}{\text{Kg}}\right) \cdot \left(\frac{\text{cm}^3}{0.5205\text{g}}\right) \cdot \left(\frac{\text{l}}{1000\text{cm}^3}\right) \cdot \left(\frac{\text{B}}{159\text{l}}\right) \cdot \left(\frac{\text{MB}}{1000\text{B}}\right)$$

Volumen de propano – propileno: 3.11 MB

**- Butano - butileno:**

$$4026.63\text{Ton} \cdot 0.0973 = 390.58\text{Ton}$$

Masa de butano - butileno: 390.58 Toneladas

$$390.58\text{Ton} \cdot \left(1000 \frac{\text{Kg}}{\text{Ton}}\right) \cdot \left(1000 \frac{\text{g}}{\text{Kg}}\right) \cdot \left(\frac{\text{cm}^3}{0.6028\text{g}}\right) \cdot \left(\frac{\text{l}}{1000\text{cm}^3}\right) \cdot \left(\frac{\text{B}}{159\text{l}}\right)$$

Volumen de butano – butileno: 4.07 MB

**- Gasolina de desintegración:**

$$4026.63\text{Ton} \cdot 0.4939 = 1988.75\text{Ton}$$

Masa de gasolina de desintegración: 1988.75 Toneladas

$$1988.75\text{Ton} \cdot \left(1000 \frac{\text{Kg}}{\text{Ton}}\right) \cdot \left(1000 \frac{\text{g}}{\text{Kg}}\right) \cdot \left(\frac{\text{cm}^3}{0.7654\text{g}}\right) \cdot \left(\frac{\text{l}}{1000\text{cm}^3}\right) \cdot \left(\frac{\text{B}}{159\text{l}}\right)$$

Volumen de gasolina de desintegración: 16.34 MB

- *Aceite cíclico ligero:*

$$4026.63\text{Ton} \cdot 0.1789 = 720.36\text{Ton}$$

Masa de aceite cíclico ligero: 720.36 Toneladas

$$720.36\text{Ton} \cdot \left(1000 \frac{\text{Kg}}{\text{Ton}}\right) \cdot \left(1000 \frac{\text{g}}{\text{Kg}}\right) \cdot \left(\frac{\text{cm}^3}{0.9524\text{g}}\right) \cdot \left(\frac{\text{l}}{1000\text{cm}^3}\right) \cdot \left(\frac{\text{B}}{159\text{l}}\right)$$

Volumen de aceite cíclico ligero: 4.76 MB

- *Aceite decantado:*

$$4026.63\text{Ton} \cdot 0.0733 = 295.15\text{Ton}$$

Masa de aceite decantado: 295.15 Toneladas

$$295.15\text{Ton} \cdot \left(1000 \frac{\text{Kg}}{\text{Ton}}\right) \cdot \left(1000 \frac{\text{g}}{\text{Kg}}\right) \cdot \left(\frac{\text{cm}^3}{1.0832\text{g}}\right) \cdot \left(\frac{\text{l}}{1000\text{cm}^3}\right) \cdot \left(\frac{\text{B}}{159\text{l}}\right)$$

Volumen de aceite decantado: 1.71 MB

Resumiendo los resultados anteriores:

Producto	Volumen Teórico. Miles de Barriles Diarios (MBD)	
	Alimentación	Salida
Gasóleos de Vacío	27.50	
Propano – propileno		3.11
Butano – butileno		4.07
Gasolina de desintegración		16.34
Aceite cíclico ligero		4.76
Aceite decantado		1.71
<b>Total</b>	<b>27.50</b>	<b>29.99</b>

Tabla No. 3 Volumen teórico de los productos.

- 4) Podemos observar en la tabla anterior que el volumen total a la salida de la FCC es de 29.9 MBD, Siendo que la alimentación es de 27.5 MBD. Esto nos indica que hay un aumento en el volumen.

Si obtenemos los rendimientos volumétricos de estos productos obtenemos la siguiente tabla:

Siendo la alimentación de 27.5 MBD

<b>Producto</b>	<b>% Volumen</b>
Propano – propileno	11.31
Butano – butileno	14.80
Gasolina de desintegración	59.42
Aceite cíclico ligero	17.31
Aceite decantado	6.22
<b>Total</b>	<b>109.06</b>

Tabla No. 4 Rendimiento volumétrico teórico.

Con esta tabla podemos ver que el aumento en el volumen es de **9.06 %** con respecto a la alimentación. Cabe mencionar que este aumento volumétrico es teórico o propuesto por la compañía.

## **5.2 VARIACIÓN DE RENDIMIENTOS**

La planta FCC antes de la modernización tenía rendimientos diferentes a los actuales, esto debido a que la eficiencia en el reactor era menor, había menor producción de ligeros o de productos de alto valor agregado (gasolina, propano-propileno y butano-butileno) y mayor producción de pesados o de bajo valor agregado (aceite cíclico ligero, aceite decantado) que la producción actual. Asimismo había mayor producción de coque.

Con la modernización de la *FCC* la eficiencia aumento, lo que quiere decir que al haber un mejor espreado de la alimentación, se logra una mejor reacción, orientada hacia la obtención de productos más valiosos.

La variación en los rendimientos nos indicará cual es el aumento o disminución en las producciones finales.

Para obtener el aumento en los rendimientos fue necesario obtener una referencia de los mismos para el año 2004 y poder compararlos con los actuales.

1) Cargas y producciones de la planta catalítica para el año 2004.

Estos datos son reportados en el Sistema Integral de Producción (SIP) de Pemex Refinación. Dicho sistema es una base de datos, en la cual se almacenan diariamente todas las cargas, producciones, movimientos y existencias de todos los productos del Sistema Nacional de Refinerías (SNR), lo que permite tener acceso diario a la información necesaria de cualquier producto, cualquier refinería y cualquier planta de proceso.

Se buscaron los datos reportados de la *FCC* de la Refinería “Gral. Lázaro Cárdenas”, tanto de sus producciones como de la carga que recibe. Se obtuvieron los datos históricos del año 2004. Cabe mencionar que los datos de este año solo están reportados hasta el día 22 de Octubre, día en que suspende operaciones la planta catalítica para iniciar su modernización, ya que así estaba planeado. La planta, ya modernizada, inició operaciones el día 28 de Diciembre del 2004, pero no fue sino hasta el día 31 de Diciembre cuando se estabilizó la operación de esta, es decir, alcanzó la carga y producciones del nuevo diseño.

Se obtuvo un promedio diario para cada mes de la carga y producciones de la *FCC*, para así obtener un promedio diario anual que nos sirva como referencia para comparar las producciones y la carga del año 2005.

Cargas y producciones promedio diarias (MBD)										
	2004									
CARGA	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sep.	Prom.
Gasóleos de vacío	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.9	28.3	27.0	27.8
PRODUCTOS										
Gas amargo (m <sup>3</sup> )	201.4	200.1	212.3	222.2	220.3	223.3	225.2	229.1	219.8	217.1
Propano-Propileno	2.0	2.0	2.0	1.8	1.9	1.7	1.7	1.7	1.7	1.8
Butano-Butileno	3.1	3.1	3.2	3.1	3.1	2.9	2.9	3.3	3.1	3.1
Gasolina desintegración	16.8	16.7	16.7	16.6	15.5	16.0	16.3	16.5	16.1	16.4
Aceite cíclico ligero	4.6	4.3	4.1	4.3	4.8	4.9	4.7	4.9	4.5	4.6
Aceite decantado	1.8	2.0	2.1	2.7	3.1	2.6	2.6	2.5	2.2	2.4
Coque (Ton)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

Tabla No. 5 Cargas y producciones promedio diarias 2004.

- 2) Con las cargas y producciones reportadas podemos obtener un rendimiento de los productos obtenidos. Estos datos de rendimiento son relevantes pues podemos ver, de una manera más clara, cual es la eficiencia de la desintegración.

El rendimiento obtenido lo reportamos como % en volumen, ya que los productos se manejan en volumen (B/D), no en masa.

Para el mes de **Septiembre del 2004** obtenemos los rendimientos de la siguiente manera:

- Para obtener el rendimiento de Propano-Propileno.

Dividimos el volumen del Propano-Propileno entre el volumen de la carga para así obtener el rendimiento.

$$R = \frac{1.66}{27.03} \times 100 = 6.15\%$$

- Para obtener el rendimiento de Butano-Butileno.

Dividimos el volumen del Butano-Butileno entre el volumen de la carga para así obtener el rendimiento.

$$R = \frac{3.09}{27.03} \times 100 = 11.45\%$$

- Para obtener el rendimiento de la Gasolina de Desintegración Catalítica.

Dividimos el volumen de la Gasolina entre el volumen de la carga para así obtener el rendimiento.

$$R = \frac{16.09}{27.03} \times 100 = 59.53\%$$

- Para obtener el rendimiento del Aceite Cíclico Ligero.

Dividimos el volumen del ACL entre el volumen de la carga para así obtener el rendimiento.

$$R = \frac{4.48}{27.03} \times 100 = 16.56\%$$

- Para obtener el rendimiento del Aceite Decantado.

Dividimos el volumen del AD entre el volumen de la carga para así obtener el rendimiento.

$$R = \frac{2.24}{27.03} \times 100 = 8.29\%$$

- 3) De esta manera obtenemos los rendimientos promedio para cada mes y así podemos tener un promedio anual del 2004, que nos sirve como referencia para comparar la mejora del proceso, misma que se presenta en la siguiente tabla:

RENDIMIENTOS %	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sep.	Prom.
Propano-Propileno	7.12	7.30	7.09	6.47	6.71	6.24	6.25	5.88	6.15	<b>6.58</b>
Butano-Butileno	11.13	11.12	11.66	10.97	11.19	10.56	10.45	11.54	11.45	<b>11.12</b>
Gasolina desintegración	60.29	60.22	59.99	59.88	55.72	57.34	58.66	58.24	59.53	<b>58.87</b>
Aceite cíclico ligero	16.43	15.51	14.66	15.29	17.20	17.71	16.94	17.24	16.56	<b>16.39</b>
Aceite decantado	6.50	7.22	7.55	9.70	11.18	9.46	9.45	8.84	8.29	<b>8.69</b>

Tabla No. 6 Rendimientos 2004

4) De igual manera obtenemos la carga y las producciones para el año 2005.

Cargas y producciones promedio diarias (MBD)												
	2005											
CARGA	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Prom.
Gasóleos de vacío	28.56	29.6	29.4	29.3	28.4	29.1	29.1	29.3	28.7	28.2	29.5	<b>29.02</b>
PRODUCTOS												
Gas amargo (m <sup>3</sup> )	224.81	225.9	234.8	225.2	230.6	232.2	228.7	230.6	226.5	215.2	224.0	<b>227.15</b>
Propano-Propileno	2.16	2.1	2.2	2.4	2.2	2.4	2.4	2.4	2.2	2.1	1.9	<b>2.21</b>
Butano-Butileno	3.22	3.2	3.3	3.1	3.4	3.7	3.7	3.6	3.4	3.5	3.1	<b>3.39</b>
Gasolina desintegración	17.53	18.0	17.4	17.5	17.1	17.4	17.4	17.7	17.3	17.1	17.8	<b>17.49</b>
Aceite cíclico ligero	4.15	4.9	4.7	4.5	4.7	4.7	4.5	5.1	4.9	4.3	4.5	<b>4.63</b>
Aceite decantado	2.29	2.8	3.6	3.6	2.4	2.1	2.5	1.9	2.3	2.6	3.6	<b>2.71</b>
Coque (Ton)	0.18	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	<b>0.19</b>

Tabla No. 7 Cargas y producciones promedio diarias 2005.

5) Obtenemos los rendimientos promedio diarios mensuales y después obtenemos un promedio diario hasta el mes de Noviembre de 2005.

Para el cálculo de los rendimientos se realiza el mismo procedimiento que se utilizó para el cálculo de rendimientos del año 2004, es decir, dividiendo el volumen de los productos entre el volumen de la carga, esto para obtener un porcentaje en volumen que nos indique cual es el rendimiento de cada producto.

RENDIMIENTOS	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Prom.
Propano-Propileno	7.57	6.98	7.45	8.05	7.62	8.33	8.31	8.05	7.66	7.30	6.31	7.60
Butano-Butileno	11.28	10.75	11.16	10.59	11.99	12.84	12.67	12.40	11.92	12.56	10.44	11.69
Gasolina desintegración	61.36	60.77	59.35	59.91	60.21	60.02	59.65	60.43	60.32	60.47	60.29	60.25
Aceite cíclico ligero	14.52	16.45	15.92	15.43	16.56	16.07	15.52	17.40	17.01	15.41	15.30	15.96
Aceite decantado	7.98	9.60	12.20	12.22	8.39	7.35	8.63	6.61	7.77	9.22	12.30	9.30

Tabla No. 8 Rendimientos 2005.

- 6) Con estos datos podemos calcular una diferencia de rendimientos para observar como es que el proceso mejoro.

RENDIMIENTOS	2004	2005	Diferencia
Propano-Propileno	6.58	7.60	+ 1.02
Butano-Butileno	11.12	11.69	+ 0.57
Gasolina desintegración	58.87	60.25	+ 1.38
Aceite cíclico ligero	16.39	15.96	- 0.43
Aceite decantado	8.69	9.30	+ 0.61

Tabla No. 9 Tabla de Rendimientos.

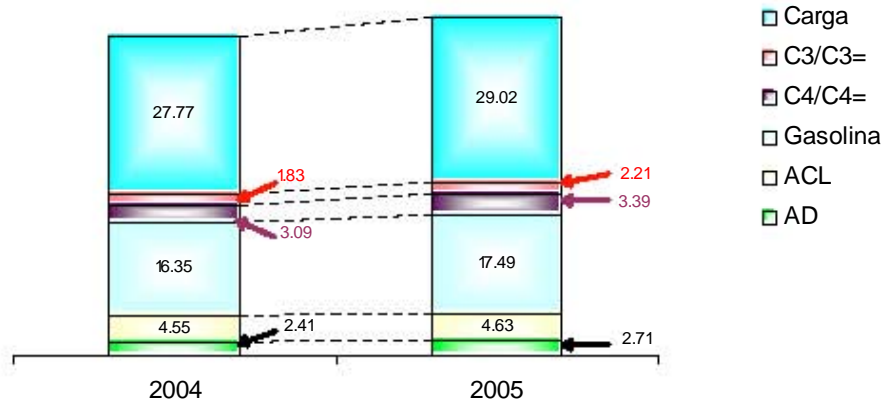
Estos valores nos indican que la FCC, debido a la modernización que se le hizo, produce más propano-propileno, más butano-butileno, más gasolina de desintegración catalítica, menos aceite cíclico ligero y más aceite decantado.

Al observar los rendimientos podemos notar que se obtuvo un aumento en la producción de los hidrocarburos deseados y a la vez se logro disminuir la producción de los hidrocarburos con un menor valor agregado.



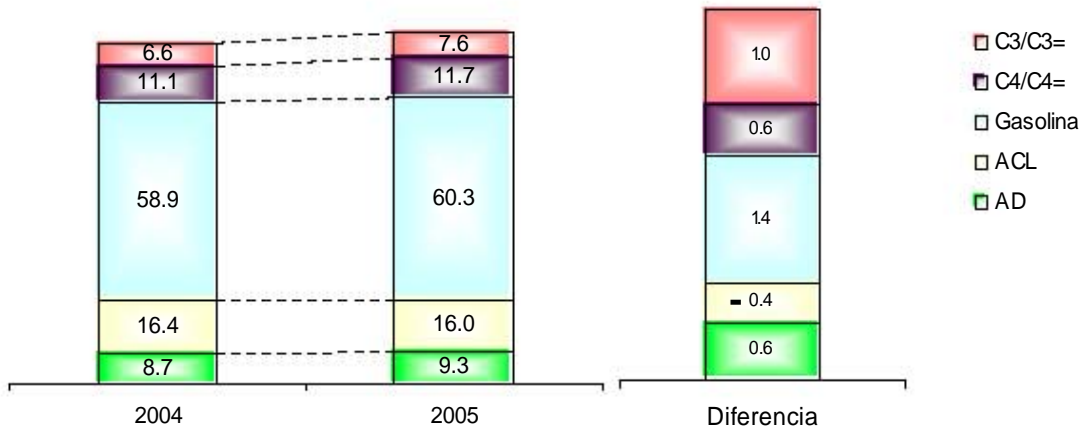
De manera gráfica:

**Carga y producciones FCC, MBD**



Grafica No. 1 Carga y producciones de la FCC.

**Rendimientos FCC, % vol.**



Grafica No. 2 Rendimientos de la FCC.

Cabe mencionar que el promedio de cargas y producciones del año 2004 no es equivalente estadísticamente al promedio del año 2005.

Esto debido a que se compararon promedios, y esto implica que hay un margen de error entre ambos datos.

Es decir, para el año 2004 se utilizaron datos reportados hasta el mes de Septiembre, mientras que para el año 2005 los datos son hasta el mes de Noviembre.

Es necesario mencionar que la diferencia en las cargas y producciones entre los dos años puede ser no significativa. Debido a esto debemos realizar pruebas estadísticas para demostrar que en verdad hay una variación entre ambos casos y que no son valores causados por variaciones o fluctuaciones en la operación de la planta.

Para la realización de estas pruebas realizamos los siguientes pasos:

1. Creamos una hipótesis que muestre que la diferencia entre los promedios de ambos años es cero.

$$H_0: \bar{X}_{2005} - \bar{X}_{2004} = 0$$

Donde:  $\bar{X}$  es el promedio del año indicado.

Esta hipótesis nos dice que la diferencia entre los promedios estadísticos de ambos años en realidad son iguales y la diferencia observada no es significativa, es decir, la diferencia de promedios se debe a variaciones en la carga y las producciones.

2. Comprobamos que la hipótesis es verdadera. Para esto utilizamos la siguiente formula:

$$Z = \frac{(\bar{X}_{2005} - \bar{X}_{2004}) - 0}{\sqrt{\frac{\sigma_{2005}^2}{n_{2005}} + \frac{\sigma_{2004}^2}{n_{2004}}}}$$

Donde:  $\sigma^2$  es la varianza de los datos del año correspondiente.

$n$  es el numero de datos reportados para cada año.

Si  $Z > z_{\alpha/2}$  entonces se rechaza la hipótesis  $H_0$ .

$$z_{\alpha/2} = 1.96$$

A continuación se muestra una tabla con los valores promedio y varianzas de cada hidrocarburo para ambos años.

	2004		2005	
	VARIANZAS	PROMEDIOS	VARIANZAS	PROMEDIOS
Carga	0.9062	27.77	3.5393	29.01
Gas	185.68	217.14	234.76	227.16
Propano	0.0337	1.83	0.1111	2.21
Butano	0.0518	3.09	0.1889	3.39
Gasolina	0.5108	16.35	1.3353	17.48
ACL	0.2340	4.55	0.2299	4.63
AD	0.3770	2.41	0.7068	2.71

Tabla No. 10 Promedios y varianzas 2004 y 2005. Cargas y producciones.

El número de datos ( $n$ ) es de **274** para el año 2004 y de **334** para el año 2005

- *Gasóleos de vacío (carga a la planta).*

$$Z = \frac{(29.01 - 27.77)}{\sqrt{\frac{3.53}{334} + \frac{0.90}{274}}} = 10.53$$

$$Z = 10.53 > 1.96$$

Se rechaza la hipótesis  $H_0$ , por lo tanto la diferencia entre la carga a la planta SÍ es diferente entre ambos años.

- *Gas amargo de desintegración catalítica.*

$$Z = \frac{(227.16 - 217.14)}{\sqrt{\frac{234.76}{334} + \frac{185.68}{274}}} = 8.59$$

$$Z = 8.59 > 1.96$$

Se rechaza la hipótesis Ho, por lo tanto la diferencia entre la producción de gas amargo de desintegración catalítica SÍ es diferente entre ambos años.

- *Propano - propileno.*

$$Z = \frac{(2.21 - 1.83)}{\sqrt{\frac{0.11}{334} + \frac{0.03}{274}}} = 17.83$$

$$Z = 17.83 > 1.96$$

Se rechaza la hipótesis Ho, por lo tanto la diferencia entre la producción de propano - propileno SÍ es diferente entre ambos años.

- *Butano - butileno.*

$$Z = \frac{(3.39 - 3.09)}{\sqrt{\frac{0.18}{334} + \frac{0.05}{274}}} = 10.95$$

$$Z = 10.95 > 1.96$$

Se rechaza la hipótesis Ho, por lo tanto la diferencia entre la producción de butano - butileno SÍ es diferente entre ambos años.

- *Gasolina de desintegración catalítica.*

$$Z = \frac{(17.48 - 16.35)}{\sqrt{\frac{1.33}{334} + \frac{0.51}{274}}} = 14.81$$

$$Z = 14.81 > 1.96$$

Se rechaza la hipótesis  $H_0$ , por lo tanto la diferencia entre la producción de gasolina de desintegración catalítica SÍ es diferente entre ambos años.

- *Aceite Cíclico ligero.*

$$Z = \frac{(4.63 - 4.55)}{\sqrt{\frac{0.22}{334} + \frac{0.23}{274}}} = 1.89$$

$$Z = 1.89 < 1.96$$

En este caso podemos observar que el valor  $Z$  es menor que 1.96, lo que quiere decir que se acepta la hipótesis  $H_0$ . La producción de aceite cíclico ligero para el año 2005 no es la misma que para el año 2004 pero la diferencia no es constante ni significativa.

- *Aceite decantado.*

$$Z = \frac{(2.71 - 2.41)}{\sqrt{\frac{0.70}{334} + \frac{0.37}{274}}} = 4.91$$

$$Z = 4.91 > 1.96$$

Se rechaza la hipótesis  $H_0$ , por lo tanto la diferencia entre la producción de aceite decantado SÍ es diferente entre ambos años.

Como conclusión de las pruebas estadísticas podemos decir que el aumento en la carga y las producciones (excepto el ACL) en verdad cambiaron con la modernización de la planta catalítica. No son debidas a variaciones en la operación sino a una mejor reacción de desintegración.

En el caso del ACL se puede concluir que la producción disminuyó pero no en un grado suficientemente alto para atribuirse por completo a los cambios realizados en la planta.

### 5.3 AUMENTO VOLUMÉTRICO REAL.

Calculamos el aumento volumétrico real de la FCC.

Con las producciones actuales de cada producto de la FCC podemos obtener el volumen a la salida de la planta y compararlo con el volumen a la entrada de la misma.

Producto	Volumen Real (MBD)	
	Alimentación	Salida
Gasóleos de Vacío	28.97	
Propano – propileno		2.24
Butano – butileno		3.42
Gasolina de desintegración		17.46
Aceite cíclico ligero		4.64
Aceite decantado		2.62
<b>Total</b>	<b>28.97</b>	<b>30.38</b>

Tabla No. 11 Volumen Real de los Productos.

Calculamos el aumento volumétrico en porcentaje:

Producto	% Volumen
Propano – propileno	7.7
Butano – butileno	11.8
Gasolina de desintegración	60.3
Aceite cíclico ligero	16.0
Aceite decantado	9.0
<b>Total</b>	<b>104.8</b>

Tabla No. 12 Rendimiento Volumétrico Real.

El aumento volumétrico real es de aproximadamente es **5 %** contra el rendimiento teórico que es de **9 %**. Este valor también tiene implícito un margen de error, pues para obtenerlo se sumaron los *promedios* de las producciones.

#### **5.4 GANANCIA ECONÓMICA**

Para el análisis de la ganancia económica tomaremos en cuenta varios aspectos:

- a) Ganancia por aumento de rendimientos
- b) Reducción de gastos de operación
- c) Aumento del Índice de Octano de la gasolina de desintegración.

Dentro del aumento de rendimientos debemos tomar en cuenta que el precio de los petrolíferos varía día con día. Debido a esto no es posible hacer un balance diario, sin embargo se tomará un promedio de estos precios mensualmente.

Para llevar a cabo el análisis económico en cuestión, se tomó como fuente el Catálogo de Precios para Resultados de Operación, documento que contiene los costos de los mismos para todos los productos generados en el SNR, los cuales están reportados como un promedio mensual.

Tomamos los correspondientes al año 2005.

Año 2005											
PRECIOS (Dls/B)	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.
Gasóleos de vacío	35.74	47.35	44.37	50.28	46.60	51.76	57.58	58.27	69.19	65.82	58.04
Gas Amargo (D/MMBtu)	5.44	5.44	5.66	6.43	6.13	5.60	6.44	6.99	9.68	10.77	12.47
Propano – propileno	37.07	35.56	38.00	38.87	38.85	35.31	36.15	38.22	41.00	51.35	57.41
Butano – butileno	37.07	35.56	38.00	38.87	38.85	35.31	36.15	38.22	41.00	51.35	57.41
Gasolina de desintegración	47.37	52.79	54.97	62.16	65.15	59.23	63.55	65.29	75.12	94.70	85.66
Aceite cíclico ligero	47.33	48.15	50.28	59.19	59.77	54.56	61.78	64.55	69.12	77.44	87.65
Aceite decantado	48.17	48.99	51.12	60.03	60.61	55.40	62.62	65.39	69.96	78.28	88.51
Coque (D/TON)	1.66	1.66	1.66	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Cope	20.31	23.95	17.65	21.26	25.63	26.37	29.16	31.40	32.35	32.58	32.87

Tabla No. 13 Precios de los productos de la FCC.

Cabe mencionar también que para el análisis económico se tomaron en cuenta tres diferentes casos:

- a) **Caso base:** En este caso se utilizan los precios de los productos tal como se reportan en el catálogo de precios para resultados de operación. En este caso a cada producto se le asigna su precio reportado.
- b) **Caso 1:** En este caso se considera que el destino del aceite decantado es a combustoleo (COPE), por lo que se le asigna el precio del combustoleo a dicho producto. Este caso es considerado ya que normalmente ese es el destino que se le da al aceite decantado.
- c) **Caso 2.** Para este caso se le asigna el precio de combustoleo al aceite cíclico ligero y al aceite decantado, pues ambos son mezclados con la corriente de combustoleo de la refinería como diluyente.

Después se comparó la ganancia entre cada uno de estos casos.



#### 5.4.1 GANANCIA POR AUMENTO DE RENDIMIENTOS.

Para calcular la ganancia debida al aumento en los rendimientos de los productos se realizaron los siguientes pasos:

- 1) Con los datos de carga y producción de la FCC del año 2004 y 2005 se calcula un diferencial de beneficios, para poder observar la ganancia o pérdida de producción y consumo de la planta ya modernizada contra la planta antes de modernizar.

Para la realización de estos cálculos tomamos como referencia el 1° de Enero del 2005, sin embargo, este mismo cálculo debe realizarse con los datos reportados diariamente. Después obtenemos un promedio diario de estos datos para cada mes.

- 2) Con esto podemos calcular, con el precio del mes correspondiente, la ganancia económica de la FCC con respecto al año anterior, antes de la modernización.

#### ✓ CASO BASE.

##### - *Gasóleos de vacío.*

Día: 01 Enero 2005

Producto: Gasoleo de Vacío (carga a la planta)

Se encuentra reportada la carga a la FCC de gasóleos de vacío el día primero de enero como 27.50 MB.

La referencia que tomamos es 27.77 MB, que es la cantidad (promedio) de gasóleos de vacío que se consumían en el 2004.

La diferencia es:  $27.50 - 27.77 = -0.27$  MB

Lo que esto nos indica es que el día primero de enero de 2005 se consumió menos cantidad de gasóleos de vacío en la FCC del promedio de 2004.

Diferencial de beneficios de Gasóleos de Vacío: -0.27 MB

Precio de Gasóleos de Vacío para Enero 2005: 35.74 D/B

$$-0.27MB \cdot 1000 \frac{B}{MB} \cdot 35.74 \frac{D}{B} = -9649.8DlIs$$

En el caso de los gasóleos de vacío, el diferencial de beneficios es negativo, lo que significa una disminución en el consumo de gasóleos de vacío, lo que significa un ahorro de materia prima.

La ganancia económica de gasóleos de vacío es negativa, lo que quiere decir que se gastó menos en materia prima, por lo tanto se obtuvo un **ahorro de 9.6 MDlIs** el primero de Enero de 2005, por conceptos de ahorro de materia prima.

- *Para el propano-propileno:*

Producción de propano-propileno el día 01 Enero 2005: 2.20 MB

Referencia 2004: 1.83 MB

Diferencia:  $2.20 - 1.83 = 0.37$  MB

Lo que significa una mayor producción de propano-propileno.

Diferencial de beneficios de Propano-propileno: 0.37 MB

Precio de Propano-propileno para Enero 2005: 37.07 D/B

$$0.37MB \cdot 1000 \frac{B}{MB} \cdot 37.07 \frac{D}{B} = 13715.9DlIs$$

Para el propano-propileno, el diferencial de beneficios es positivo, lo que significa que se produjo un mayor cantidad de propano-propileno, con lo que se obtiene una **ganancia de 13.7 MDlIs**, por concepto de una mayor producción del mismo.

- *Para la producción de butano-butileno.*

Producción de butano-butileno el día 01 Enero 2005: 3.80 MB

Referencia 2004: 3.09 MB

Diferencia:  $3.80 - 3.09 = 0.71$  MB

Lo que significa una mayor producción de butano-butileno.

Diferencial de beneficios de Butano-Butileno: 0.71 MB

Precio de Butano-butileno para Enero 2005: 37.07 D/B

$$0.71MB \cdot 1000 \frac{B}{MB} \cdot 37.07 \frac{D}{B} = 26319.7 Dlls$$

Para el Butano-butileno, el diferencial de beneficios es positivo, lo que significa que se produjo un mayor cantidad de butano-butileno, con lo que se obtiene una **ganancia de 26.3 MDlls**, por concepto de una mayor producción del mismo.

- *Para la producción de gasolina de desintegración catalítica:*

Producción de gasolina de desintegración catalítica el día 01 Enero 2005: 16.50 MB

Referencia 2004: 16.35 MB

Diferencia:  $16.50 - 16.35 = 0.15$  MB

Lo que significa una mayor producción de gasolina de desintegración catalítica.

Diferencial de beneficios de gasolina de desintegración: 0.15 MB

Precio de gasolina de desintegración para Enero 2005: 47.37 D/B

$$0.15MB \cdot 1000 \frac{B}{MB} \cdot 47.37 \frac{D}{B} = 7105.5 Dlls$$

Para la gasolina de desintegración catalítica, el diferencial de beneficios es positivo, lo que significa que se produjo un mayor cantidad de gasolina, con lo que se obtiene una **ganancia de 7.1 MDlls**, por concepto de una mayor producción del mismo.

- *Para la producción de Aceite Cíclico Ligero.*

Producción de aceite cíclico ligero el día 01 Enero 2005: 3.10 MB

Referencia 2004: 4.55 MB

Diferencia:  $3.10 - 4.55 = -1.45$  MB

Lo que significa una menor producción de aceite cíclico ligero.

Diferencial de beneficios de aceite Cíclico Ligero: -1.45 MB

Precio de aceite cíclico ligero para Enero 2005: 47.33 D/B

$$-1.45MB \cdot 1000 \frac{B}{MB} \cdot 47.33 \frac{D}{B} = -68628.5Dlls$$

Para el aceite cíclico ligero, el diferencial de beneficios es negativo, lo que significa que se produjo una menor cantidad de aceite cíclico ligero, lo que ocasiona una **perdida de 68.6 MDlls**, por concepto de una menor producción del mismo.

- *Para la producción de Aceite Decantado.*

Producción de Aceite Decantado el día 01 Enero 2005: 2.94 MB

Referencia 2004: 2.41 MB

Diferencia:  $2.94 - 2.41 = 0.53$  MB

Lo que significa una mayor producción de aceite decantado.

Diferencial de beneficios de aceite decantado: 0.53 MB

Precio de aceite decantado para Enero 2005: 48.17 D/B

$$0.53MB \cdot 1000 \frac{B}{MB} \cdot 48.17 \frac{D}{B} = 25530.1DlIs$$

Para el aceite decantado, el diferencial de beneficios es positivo, lo que significa que se produjo un mayor cantidad de aceite decantado, con lo que se obtuvo una **ganancia de 25.5 MDlIs**, por concepto de una mayor producción del mismo.

- *Para la producción de coque:*

Producción de coque el día 01 Enero 2005: 0.02 Ton

Referencia 2004: 0.18 Ton

Diferencia:  $0.02 - 0.18 = -0.16$  Ton

Lo que significa una menor producción de coque.

Diferencial de beneficios de Coque: -0.16 Ton

Precio del Coque para Enero 2005: 1.66 D/Ton

$$-0.16Ton \cdot 1.66 \frac{D}{Ton} = -0.2656DlIs$$

Para el coque, el diferencial de beneficios es negativo, lo que significa que se produjo una menor cantidad de coque, lo que ocasionó una **perdida de 0.00026 MDlIs**, por concepto de una menor producción del mismo.

- *Para la producción de Gas Amargo de Desintegración Catalítica:*

Producción de gas amargo el día 01 Enero 2005: 281.33 m<sup>3</sup>.

Referencia 2004: 217.07 m<sup>3</sup>.

Diferencia:  $281.33 - 217.07 = 64.26$  m<sup>3</sup>.

Lo que significa una mayor producción de gas amargo.

Diferencial de beneficios de gas amargo de desintegración:  $64.26 \text{ m}^3$ .

Precio del gas amargo de desintegración para Enero 2005:  $5.44 \text{ D/MMBtu}$ .

Como el precio del gas amargo de desintegración esta dado en dólares por millón de Btu, necesitamos obtener, con el poder calorífico del gas, la cantidad de gas amargo en Btu.

Poder calorífico del gas amargo de desintegración:  $0.03492 \text{ MMBtu/m}^3$ .

$$64.26 \text{ m}^3 \cdot 0.03492 \frac{\text{MMBtu}}{\text{m}^3} = 2.2439 \text{ MMBtu}$$

Al tener la diferencia de beneficios en términos de Btu, podemos obtener el beneficio económico:

$$2.2439 \text{ MMBtu} \cdot 5.44 \frac{\text{D}}{\text{MMBtu}} = 12.2071 \text{ Dlls}$$

Para el gas amargo, el diferencial de beneficios es positivo, lo que significa que se produjo una mayor cantidad de gas amargo de desintegración catalítica, con lo que se obtuvo una **ganancia de 0.012 MDlls**, por concepto de una mayor producción del mismo.

De esta manera se obtuvieron las ganancias y pérdidas de todos los productos que se generan en la *FCC* durante todos los días del mes, a un precio constante.

Al final del mes se obtuvo un promedio de las ganancias y pérdidas de cada producto, y se hizo la suma de las mismas, teniendo en cuenta, que las ganancias de la *FCC* son los ingresos de los productos menos el precio de la materia prima (gasóleos de vacío).

Es necesario que el análisis sea elaborado mensualmente pues los precios de los productos cambian cada mes.

Para el mes de febrero se realizó el mismo procedimiento solamente que se utilizó el precio de los productos correspondiente al mes de Febrero.

Se realizó el mismo procedimiento para los meses siguientes para obtener un promedio diario, para cada mes, de ganancia – pérdida económica.

GANANCIA ECONÓMICA PROMEDIO DIARIA Miles de dólares diarios ( MDIls/día)												
2005	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Prom.
Gasóleos de vacío	-28.38	-86.46	-70.30	-75.74	-31.60	-67.36	-78.05	-89.13	-67.09	-31.04	-101.36	<b>-66.05</b>
Gas Amargo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
Propano – propileno	12.31	8.43	13.61	20.54	13.27	20.99	21.41	20.33	15.59	12.30	2.04	<b>14.62</b>
Butano – butileno	4.83	3.40	7.08	0.44	12.55	22.77	21.81	20.80	13.74	21.74	-0.37	<b>11.71</b>
Gasolina desintegración	56.05	86.42	59.06	74.01	50.86	65.22	65.17	88.72	74.27	69.30	95.44	<b>71.32</b>
Aceite cíclico ligero	-19.00	15.21	6.27	-2.03	9.49	6.41	-1.83	35.29	22.13	-16.67	-2.33	<b>4.81</b>
Aceite decantado	-6.15	21.03	59.79	69.95	-1.44	-15.38	6.06	-31.22	-10.26	18.03	76.30	<b>16.97</b>
Coque	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
<b>TOTAL</b>	<b>19.66</b>	<b>48.03</b>	<b>75.53</b>	<b>87.17</b>	<b>53.15</b>	<b>32.65</b>	<b>34.57</b>	<b>44.80</b>	<b>48.38</b>	<b>73.66</b>	<b>69.72</b>	<b>53.39</b>

Tabla No. 14 Ganancia Económica por aumento de rendimientos. Caso base.

En esta tabla podemos ver que durante el mes de enero hubo una ganancia promedio de 19.66 MDIls **diarios** con respecto al año pasado, cuando la planta no era aún modernizada. Durante febrero la ganancia diaria promedio fue de 48.03 MDIls y así sucesivamente.

La ganancia económica es debida a que aumentó la producción de compuestos con un alto valor económico, mientras que disminuyeron los productos con un bajo valor económico.

### ✓ **CASO 1.**

Diferencial de beneficios de aceite decantado: 0.53 MB

Precio de COPE para Enero 2005: 20.31 D/B

$$0.53MB \cdot 1000 \frac{B}{MB} \cdot 20.31 \frac{D}{B} = 10700.1DIls$$

Para el aceite decantado, tomando el precio de COPE, obtenemos una **ganancia de 10.7 MDIls**. Podemos comparar este valor con el valor del aceite decantado con su precio registrado y podemos observar que es menos de la mitad. Esto debido a que el COPE es mucho más barato que el AD.

Se realiza el mismo cálculo para obtener un promedio mensual.

En este caso la ganancia total sería la siguiente:

GANANCIA ECONÓMICA PROMEDIO DIARIA MDIls/día												
2005	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Prom.
Gasóleos de vacío	-28.38	-86.46	-70.30	-75.74	-31.60	-67.36	-78.05	-89.13	-67.09	-31.04	-101.36	<b>-66.05</b>
Gas Amargo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
Propano – propileno	12.31	8.43	13.61	20.54	13.27	20.99	21.41	20.33	15.59	12.30	2.04	<b>14.62</b>
Butano – butileno	4.83	3.40	7.08	0.44	12.55	22.77	21.81	20.80	13.74	21.74	-0.37	<b>11.71</b>
Gasolina desintegración	56.05	86.42	59.06	74.01	50.86	65.22	65.17	88.72	74.27	69.30	95.44	<b>71.32</b>
Aceite cíclico ligero	-19.00	15.21	6.27	-2.03	9.49	6.41	-1.83	35.29	22.13	-16.67	-2.33	<b>4.81</b>
Aceite decantado	<b>-2.59</b>	<b>10.28</b>	<b>20.64</b>	<b>24.77</b>	<b>-0.61</b>	<b>-7.32</b>	<b>2.82</b>	<b>-14.99</b>	<b>-4.74</b>	<b>7.50</b>	<b>32.50</b>	<b>6.21</b>
Coque	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
<b>TOTAL</b>	<b>23.22</b>	<b>37.28</b>	<b>36.37</b>	<b>41.99</b>	<b>53.98</b>	<b>40.70</b>	<b>31.34</b>	<b>61.02</b>	<b>53.89</b>	<b>63.13</b>	<b>25.93</b>	<b>42.62</b>

Tabla No. 15 Ganancia Económica por aumento de rendimientos. Caso 1.

Al observar los rendimientos y la diferencia en las producciones, podemos ver que la producción de Aceite Decantado promedio es mayor, al igual que el rendimiento, esto quiere decir que producimos más AD en comparación con el año pasado. Pero debido a que en el caso 1 se le da un valor menor (valor del COPE) al asignado a dicho producto en el catalogo de precios, la ganancia es menor que en el caso base.

Cabe mencionar que en algunos meses la producción de aceite decantado fue menor a la del año 2004, es por esa razón que algunos valores son negativos. Esto nos indica que al haber menor cantidad de este producto de un bajo valor agregado habría un gran ahorro, pues la reacción genera más gasolinas a costa del Aceite decantado. Pero debido a que se le da un valor menor a este producto, el ahorro por dejar de producirlo es pequeño.

Comparando con el caso base, podemos observar que la ganancia total es menor, esto debido a que en el caso base al aceite decantado se le daba un valor más alto, y al asignarle el valor de combustoleo, que es menor, la ganancia disminuye.



✓ **CASO 2.**

Diferencial de beneficios de aceite cíclico ligero: -1.45 MB

Precio de COPE para Enero 2005: 20.31 D/B

$$-1.45MB \cdot 1000 \frac{B}{MB} \cdot 20.31 \frac{D}{B} = -25502.8DlIs$$

Para el aceite cíclico ligero, tomando el precio de COPE, obtenemos una **perdida de 25.5 MDIIs**. Podemos comparar este valor con su valor calculado con su precio asignado en el catalogo de precios y podemos observar la perdida ocasionada por el ACL es menor.

Esto debido a que el COPE es más barato que el ACL. Si se produce menos ACL y su precio es bajo (Combustóleo), la perdida es menor que si se vendiera a su precio asignado en el catalogo de precios.

Se realiza el mismo cálculo para obtener un promedio diario por cada mes.

En este caso la ganancia total seria la siguiente:

GANANCIA ECONÓMICA PROMEDIO DIARIA MDIIs/dia												
2005	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Prom.
Gasóleos de vacío	-28.38	-86.46	-70.30	-75.74	-31.60	-67.36	-78.05	-89.13	-67.09	-31.04	-101.36	<b>-66.05</b>
Gas Amargo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
Propano – propileno	12.31	8.43	13.61	20.54	13.27	20.99	21.41	20.33	15.59	12.30	2.04	<b>14.62</b>
Butano – butileno	4.83	3.40	7.08	0.44	12.55	22.77	21.81	20.80	13.74	21.74	-0.37	<b>11.71</b>
Gasolina desintegración	56.05	86.42	59.06	74.01	50.86	65.22	65.17	88.72	74.27	69.30	95.44	<b>71.32</b>
<b>Aceite cíclico ligero</b>	<b>-8.15</b>	<b>7.56</b>	<b>2.20</b>	<b>-0.73</b>	<b>4.07</b>	<b>3.10</b>	<b>-0.86</b>	<b>17.17</b>	<b>10.36</b>	<b>-7.01</b>	<b>-1.00</b>	<b>2.43</b>
<b>Aceite decantado</b>	<b>-2.59</b>	<b>10.28</b>	<b>20.64</b>	<b>24.77</b>	<b>-0.61</b>	<b>-7.32</b>	<b>2.82</b>	<b>-14.99</b>	<b>-4.74</b>	<b>7.50</b>	<b>32.50</b>	<b>6.21</b>
Coque	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
<b>TOTAL</b>	<b>34.06</b>	<b>29.64</b>	<b>32.30</b>	<b>43.29</b>	<b>48.56</b>	<b>37.39</b>	<b>32.30</b>	<b>42.90</b>	<b>42.12</b>	<b>72.79</b>	<b>27.25</b>	<b>40.24</b>

Tabla No. 16 Ganancia Económica por aumento de rendimientos. Caso 2.

Podemos ver en la siguiente tabla cual es la diferencia entre los tres casos:

<b>GANANCIA ECONÓMICA PROMEDIO DIARIA MDIls/día</b>												
	<b>Promedio mensual</b>											<b>Prom.</b>
	<b>Enero</b>	<b>Feb.</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Ago.</b>	<b>Sep.</b>	<b>Oct.</b>	<b>Nov.</b>	
<b>TOTAL caso base</b>	19.66	48.03	75.53	87.17	53.15	32.65	34.57	44.80	48.38	73.66	69.72	<b>53.39</b>
<b>TOTAL caso 1</b>	23.22	37.28	36.37	41.99	53.98	40.70	31.34	61.02	53.89	63.13	25.93	<b>42.62</b>
<b>TOTAL caso 2</b>	34.06	29.64	32.30	43.29	48.56	37.39	32.30	42.90	42.12	72.79	27.25	<b>40.24</b>

Tabla No. 17 Ganancia Económica diaria por aumento de rendimientos.

Podemos observar que en el caso uno, cuando a cada producto se le asignan los valores reportados en el catalogo de precios, la ganancia es mayor, sin embargo, el destino final de el aceite cíclico ligero y decantado normalmente es el de combustóleo.

Convirtiendo estos valores a MMDIls / año obtenemos los siguientes valores:

<b>GANANCIA ECONÓMICA PROMEDIO ANUAL MMDIls / año</b>	
Caso base	18.69
Caso 1	14.92
Caso 2	14.08

Tabla No. 18 Ganancia Económica anual por aumento de rendimientos.

Cabe mencionar que se consideran solamente 350 días de operación al año pues se consumen dos semanas en reparaciones y mantenimiento.

#### **5.4.2 REDUCCION DE GASTOS DE OPERACIÓN.**

Al haber sido mejorada la operación de la planta catalítica se redujeron los gastos de operación.

Los gastos de operación son aquellos gastos que surgen debido a la operación misma de la planta, y que son necesarios para su funcionamiento. También pueden incluir el salario de los trabajadores, seguros, etc.

Dentro de los gastos de operación podemos incluir también el consumo de catalizador. Debido a la mayor eficiencia en la alimentación de los gasóleos, al haber un mejor espreado, se reduce el consumo de catalizador. En la siguiente tabla podemos ver de manera comparativa los gastos de operación del año 2004 con respecto a los del año 2005.

<b>Gastos de operación (MDIIs)</b>			
<b>2004</b>		<b>2005</b>	
Enero	371.6	Enero	212.1
Febrero	236.7	Febrero	388.1
Marzo	376.9	Marzo	345.0
Abril	442.3	Abril	292.5
Mayo	379.3	Mayo	403.6
Junio	182.7	Junio	371.2
Julio	164.8	Julio	303.4
Agosto	696.2	Agosto	361.5
Septiembre	346.4	Septiembre	380.4
		Octubre	431.2
		Noviembre	389.1
<b>Promedio</b>	<b>355.2</b>	<b>Promedio</b>	<b>352.6</b>

Tabla No. 19 Gastos de operación.

El promedio del 2004 es hasta el mes de Septiembre, pues en Octubre la planta salio de operación para comenzar su modernización.

Los aspectos que fueron considerados en los valores anteriormente reportados son los siguientes:

- Depreciación de plantas, mobiliario y equipo.
- Mano de obra.
- Materiales (tuberías, mangueras, etc.).
- Sustancias y productos químicos (Catalizador).
- Gastos administrativos.
- Impuestos.
- Servicios (vapor, agua, electricidad).

Para calcular la ganancia o pérdida debida a los gastos de operación realizamos los siguientes pasos:

- 1) Calculamos la diferencia entre el promedio del año 2004 y el 2005. Este valor es el de la ganancia económica por reducción de gastos de operación.

$$355.2 - 352.6 = 2.6 \text{ MDlls}$$

Ganancia por causa de la disminución en gastos de operación: **2.6 MDlls mensuales**.

- 2) Este valor es necesario convertirlo en un valor anual para poder sumarlo con la ganancia causada por el aumento de los rendimientos.

$$2.6 \times 12 = 31.2 \frac{\text{MDlls}}{\text{año}}$$

Ganancia por causa de la disminución en gastos de operación: **31.2 MDlls anuales**.

Ganancia por causa de la disminución en gastos de operación: **0.0312 MMDlls anuales**.

Realizamos la prueba estadística para saber si la disminución de gastos de operación es significativa.

$$H_0: \bar{X}_{2005} - \bar{X}_{2004} = 0$$

Donde:  $\bar{X}$  es el promedio del año indicado.

2004		2005	
VARIANZAS	PROMEDIOS	VARIANZAS	PROMEDIOS
$25.6 \times 10^6$	355.2	$3.8 \times 10^6$	352.6

Tabla No. 20 Promedios y varianzas 2004 y 2005. Gastos de operación.

n es 9 para el año 2004 y 11 para el año 2005.

$$Z = \frac{(355.2 - 352.6)}{\sqrt{\frac{25.6 \times 10^6}{9} + \frac{3.8 \times 10^6}{11}}} = 0.046$$

$$Z = 0.046 < 1.96$$

Podemos ver que el valor de Z es menor a 1.96, por lo que la hipótesis Ho se acepta y la variación de gastos de operación entre ambos años no es significativa.

Esto quiere decir que no hay una reducción de gastos de operación constante, por la modificación de la planta catalítica. Solo en algunos meses si existe una reducción de estos gastos. Al final del año se observa una pequeña ganancia pero esta puede no ser siempre la misma.

En algunos meses los gastos de operación si son menores al promedio 2004, pero en algunos es mayor este valor en 2005.

Aún así, este aspecto se debe tomar en cuenta pues a lo largo del año si hubo una ganancia. Podemos decir que esta ganancia es debida a que se consume menos catalizador

#### 5.4.2.1 REDUCCION DEL CONSUMO DE CATALIZADOR.

Dentro del cálculo anterior se ha considerado la disminución de catalizador necesario para llevar a cabo la reacción de desintegración.

	<b>Catalizador (Ton/día)</b>
Antes de la modernización	3.56
Después de la modernización	2.20
Diferencia	1.36

Tabla No. 21 Consumo de catalizador.

Por lo tanto se ahorran 1.36 ton/día de catalizador.

En necesario mencionar que estos datos son valores teóricos, calculados en la ingeniería de detalle del proyecto de la modernización de la planta. Los datos reales no se encuentran disponibles.

El catalizador utilizado en la planta catalítica es el **IMPFCC-05MN**.

#### **5.4.3 GANANCIA POR AUMENTO DEL ÍNDICE DE OCTANO.**

Otro de los beneficios esperados, además del aumento de los rendimientos de los productos y de la disminución de los gastos de operación es el incremento del índice de Octano.

Al incrementarse el Índice de Octano, el valor de la gasolina de desintegración aumentó directamente, ya que, como se menciona al principio, la gasolina de desintegración es enviada al “pool” de gasolinas, etapa en la cual es mezclada con diferentes productos para aumentar el octano de la mezcla resultante y así obtener las gasolinas finales.

Cabe mencionar que en el proceso del blending, algunos de los productos utilizados para aumentar el octano son el Metil Terbutil Eter (MTBE), TerAmil Metil Eter (TAME), alquilado, isómero, gasolina reformada e inclusive gasolina catalítica

Al aumentar el índice de octano de la gasolina de desintegración, en el proceso de mezclado disminuye el requerimiento de agregar productos muy costosos (tales como el MTBE o el alquilado) por lo que contribuye a disminuir el costo de producción de las gasolinas finales.

Para evaluar el impacto económico del aumento en el Índice de octano, es necesario seguir los siguientes pasos:

- 1) Se realiza un promedio del año 2004, tal como se ha hecho con los valores de carga y producciones de la planta catalítica. Se hace un promedio mensual y después un promedio anual.

Se realiza un promedio mensual del Run Octane Number (RON) y del Motor Octane Number (MON), con lo que obtenemos el Índice de Octano (I.O.) con estos datos obtenemos un valor de referencia para el año 2004

De igual manera obtenemos un valor del índice de octano para el año 2005.

	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>Diferencia</b>
RON	91.34	91.53	0.19
MON	80.72	81.11	0.39
<b>I.O.</b>	<b>86.03</b>	<b>86.32</b>	<b>0.29</b>

Tabla No. 22 RON, MON e Índice de Octano.

Se puede observar que se logró aumentar también el índice de octano de la gasolina de desintegración catalítica, sin embargo, la meta para la mejora del número de octano es de un valor de 87.2.

Realizamos las pruebas estadísticas para el índice de octano:

$$H_0: \bar{X}_{2005} - \bar{X}_{2004} = 0$$

Donde:  $\bar{X}$  es el promedio del año indicado.

<b>2004</b>		<b>2005</b>	
<b>VARIANZAS</b>	<b>PROMEDIOS</b>	<b>VARIANZAS</b>	<b>PROMEDIOS</b>
0.4303	86.03	0.7309	86.32

Tabla No. 23 Promedios y varianzas 2004 y 2005. Índice de Octano.

n es 115 para el año 2004 y 269 para el año 2005 pues los valores del índice de octano de la gasolina de desintegración no están reportados diariamente, sino que se reportan cada dos o tres días.

$$Z = \frac{(86.32 - 86.03)}{\sqrt{\frac{0.73}{269} + \frac{0.43}{115}}} = 3.6083$$

$$Z = 3.60 > 1.96$$

Concluimos de esta prueba que el Índice de Octano SÍ aumento debido a los cambios efectuados en la planta catalítica.

2) Se calcula el “precio del octano”.

Para obtener el precio del octano es necesario dividir la diferencia entre el precio de las gasolinas Pemex Premium y Pemex Magna entre la diferencia de sus Índices de Octano.

Este precio del octano lo multiplicamos por la producción de gasolina de desintegración (MBD) y por su Índice de Octano (I.O.).

Con esto obtenemos un valor que le asigna un precio a la gasolina dependiendo su índice de octano. Calculamos el precio del octano para la producción de gasolina de desintegración anterior y la actual. La diferencia entre estos valores nos dará la ganancia por aumento del Índice de Octano.

La siguiente formula es normalmente utilizada en las refinerías para calcular el valor de diferentes compuestos, y asocia el precio y el índice de octano de las gasolinas finales, para asociarles un valor económico a los compuestos que se estén analizando, dependiendo de su índice de octano.

$$\frac{\text{Precio de la Gasolina Pemex Premium} - \text{Precio de la Gasolina Pemex Magna}}{\text{I.O. de la GNA Pemex Premium} - \text{I.O. de la GNA Pemex Magna}} = \frac{\text{Dlts}}{\text{Blts} \cdot \text{Numero de Octano}}$$



Esta formula nos da un precio por cada barril del compuestos analizado, pero depende asimismo del índice de octano. El precio es menor a una gasolina, pero al multiplicarlo por el índice de octano nos da un valor económico importante.

Realizamos el cálculo del “precio del octano”:

<b>Precios de Gasolinas finales D/B</b>		
	<b>Pemex Premium</b>	<b>Pemex Magna</b>
Enero	49.7058	47.3949
Febrero	56.9612	53.0447
Marzo	58.5898	55.2294
Abril	66.2978	62.6756
Mayo	73.5313	66.4065
Junio	68.6504	60.5449
Julio	71.2608	64.4266
Agosto	78.9109	67.5224
Septiembre	91.4677	76.3069
Octubre	110.6069	96.4560
<b>Promedio</b>	<b>72.5983</b>	<b>65.0008</b>

Tabla No. 24 Precio de Gasolinas Finales.

Así mismo sabemos que el Índice de Octano de estas gasolinas es:

	<b>Índice de Octano</b>
Gasolina Pemex Premium	93.0
Gasolina Pemex Magna	87.3

Tabla No. 25 Índice de Octano de Gasolinas Finales.

De esta manera podemos obtener un valor asociado al Índice de Octano.

$$\frac{72.5983 - 65.0008}{93.0 - 87.3} = 1.3329 \frac{Dls}{Bls \cdot NO}$$

- 3) Se multiplica el “precio del Octano” por el índice de octano de la gasolina de desintegración antes de la modernización y después de la misma. Después se multiplica por la producción actual de gasolina de desintegración.

Producción actual de gasolina de desintegración catalítica: 17.46 MBD

Índice de Octano anterior: 86.03

$$1.3329 \frac{DlIs}{B \cdot NO} \cdot 17460B \cdot 86.03NO = 2002127.5DlIs$$

Índice de Octano actual: 86.32

$$1.3329 \frac{DlIs}{B \cdot NO} \cdot 17460B \cdot 86.32NO = 2008876.5DlIs$$

La ganancia económica debida al aumento en el índice de octano se calcula haciendo la diferencia entre el valor de la gasolina con el actual índice de octano menos la gasolina con el anterior índice de octano:

$$2008.87 - 2002.1 = 6.75MDlIs$$

Ganancia por aumento en el Índice de Octano: 6.75 MDlIs/día.

Ganancia anual por aumento en el Índice de Octano: 2.36 MMDlIs / año

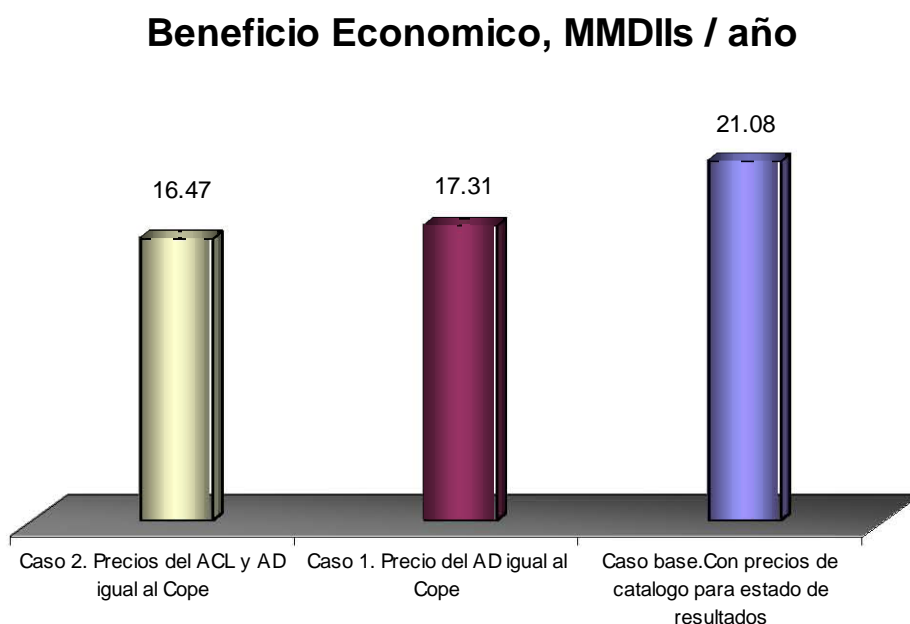
Resumiendo los valores obtenidos anteriormente podemos mostrar la siguiente tabla:

Ganancia debida a:	MMDIls / año	
	Aumento en los rendimientos	Caso base:
Caso 1:		14.92
Caso 2:		14.08
Disminución de gastos de operación		0.0312
Aumento en el índice de Octano		2.36
<b>Total</b>	<b>Caso base:</b>	<b>21.08</b>
	<b>Caso 1:</b>	<b>17.31</b>
	<b>Caso 2:</b>	<b>16.47</b>

Tabla No. 26 Ganancia Económica.

Tomando como base los datos de los años 2004-2005.

La ganancia promedio anual está mostrada en la siguiente gráfica para los tres casos analizados anteriormente.



Grafica No. 3 Beneficio Economico Anual

Hasta aquí hemos analizado la ganancia económica con respecto al año pasado, sin embargo es necesario hacer el cálculo de la ganancia total generada por la planta catalítica no solo la diferencia con respecto al año pasado.

Para la realización de este cálculo seguimos los siguientes pasos:

1. Con el promedio de producciones del año 2005 y los precios de los productos podemos calcular el ingreso total de la *FCC*.

Cabe mencionar que tomaremos el precio promedio de los productos para el año 2005. Esto es con el fin de darnos una idea de la magnitud de los ingresos generados por la *FCC* antes y después de su modernización.

- ***Gasóleos de vacío.***

Promedio 2005: 29.02 MBD

Precio promedio: 53.18 D/B

$$29,020 \frac{MB}{\text{dia}} \cdot 53.18 \frac{D\$/B}{B} = 1,543,283 \frac{D\$/\text{dia}}{\text{dia}}$$

- ***Gas Amargo de desintegración.***

Promedio 2005:  $227.15 \text{ m}^3 = 7.93 \text{ MMBtu}$

Precio: 7.37 D/MMBtu

$$7.93 \text{ MMBtu} \cdot 7.37 \frac{D\$/\text{MMBtu}}{\text{MMBtu}} = 58.44 \frac{D\$/\text{dia}}{\text{dia}}$$

- ***Propano-Propileno.***

Promedio 2005: 2.21 MBD

Precio: 40.71 D/B

$$2,210 \frac{MB}{\text{dia}} \cdot 40.71 \frac{D\$/B}{B} = 89,969 \frac{D\$/\text{dia}}{\text{dia}}$$

**- Butano-Butileno.**

Promedio 2005: 3.39 MBD

Precio: 40.71 D/B

$$3,390 \frac{B}{\text{día}} \cdot 40.71 \frac{D\text{ls}}{B} = 138,007 \frac{D\text{ls}}{\text{día}}$$

**- Gasolina de Desintegración.**

Promedio 2005: 17.49 MBD

Precio: 66.00 D/B

$$17,490 \frac{B}{\text{día}} \cdot 66.00 \frac{D\text{ls}}{B} = 1,154,340 \frac{D\text{ls}}{\text{día}}$$

**- Aceite Cíclico Ligero.**

Promedio 2005: 4.63 MBD

Precio: 61.80 D/B

$$4,630 \frac{B}{\text{día}} \cdot 61.80 \frac{D\text{ls}}{B} = 286,134 \frac{D\text{ls}}{\text{día}}$$

**- Aceite Decantado.**

Promedio 2005: 2.71 MBD

Precio: 62.64 D/B

$$2,710 \frac{B}{\text{día}} \cdot 62.64 \frac{D\text{ls}}{B} = 169,754 \frac{D\text{ls}}{\text{día}}$$

**- Coque.**

Promedio 2005: 0.19 Ton

Precio: 1.54 D/Ton

$$0.19 \frac{\text{Ton}}{\text{día}} \cdot 1.54 \frac{D\text{ls}}{\text{Ton}} = 0.2926 \frac{D\text{ls}}{\text{día}}$$

Ingresos Totales Diarios por Producción 2005: 294,979 Dlls / día

Ingresos Totales Anuales por Producción 2005: 103.24 MMDlls / año

$$354.2 \frac{MDlls}{mes} \times 12 meses = 4.25 \frac{MMDlls}{año}$$

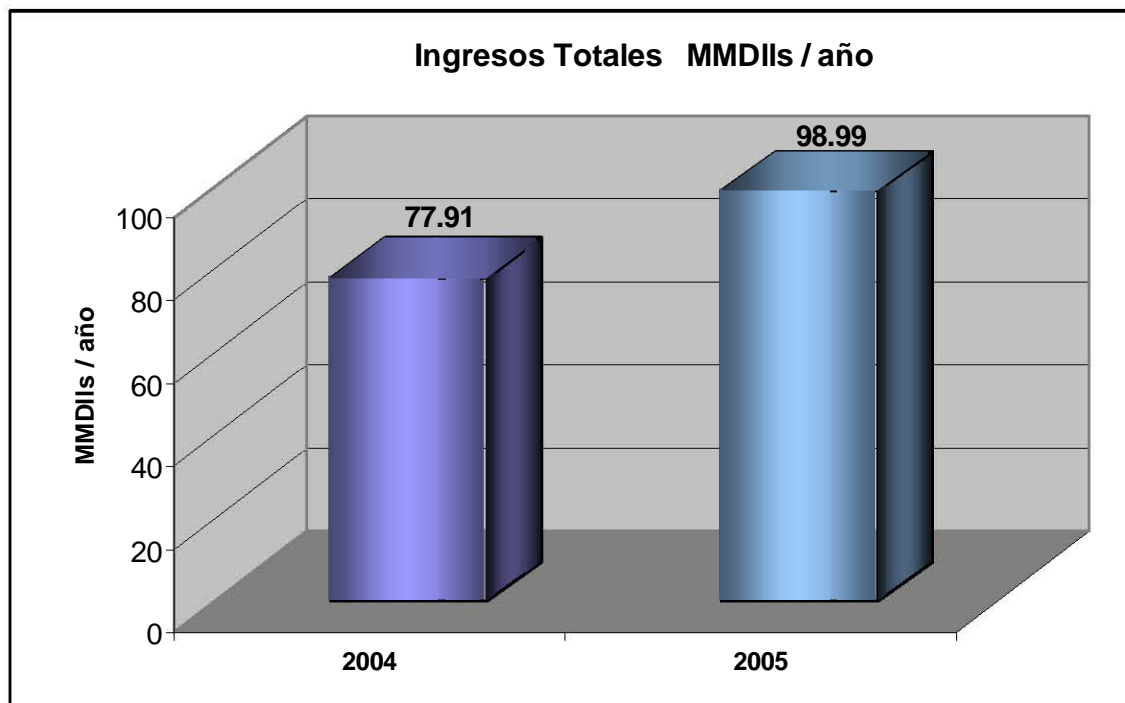
**INGRESOS TOTALES DE LA PLANTA CATALÍTICA AÑO 2005:  
98.99 MMDLLS / AÑO**

Para hacer una comparación entre las ganancias del año 2004 y 2005 calculamos la diferencia entre los ingresos totales y el caso base.

Esto debido a que en el cálculo de los ingresos totales realizado anteriormente se utilizaron los precios de cada producto como vienen reportados en el Catálogo de precios de Pemex Refinación.

$$98.99 \frac{MMDlls}{año} - 21.08 \frac{MMDlls}{año} = 77.91$$

**INGRESOS TOTALES DE LA PLANTA CATALÍTICA AÑO 2004:  
77.91 MMDLLS / AÑO**



Grafica No. 4 Ingresos totales de la FCC. Año 2004 y 2005.

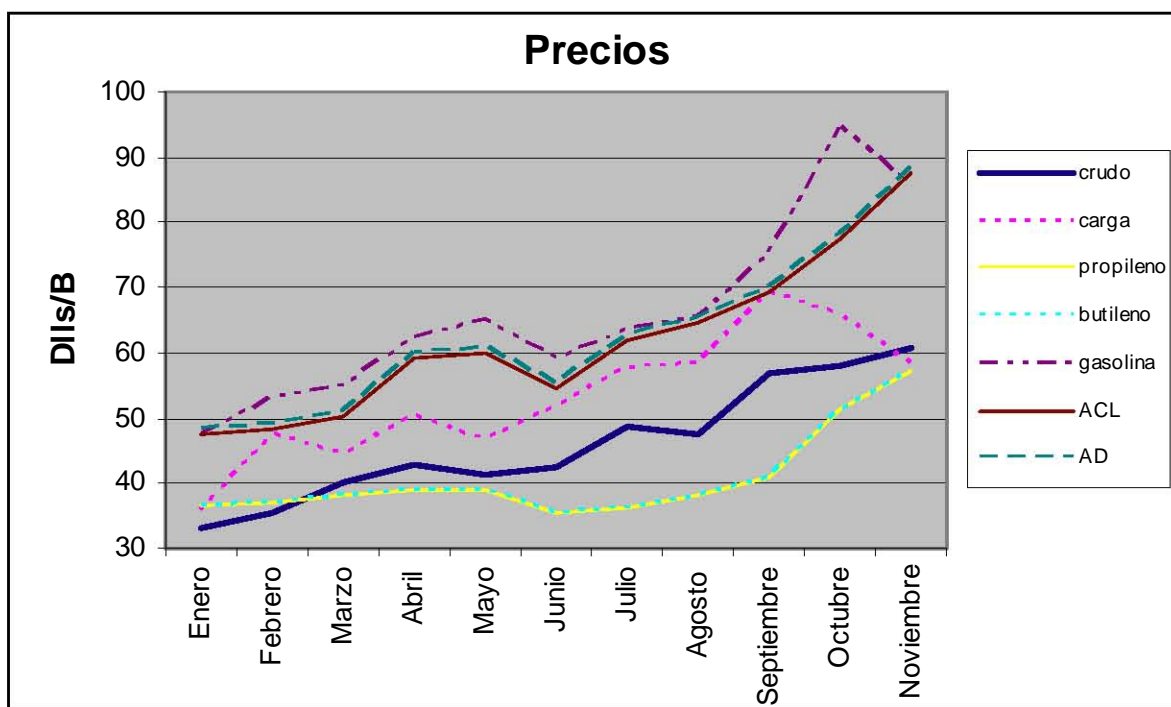
Es importante mencionar que el ingreso total del año 2004 no es el presentado anteriormente, debido a que el precio de la carga y los productos de la planta catalítica dependen del precio del petróleo crudo, y este valor es una variable que se debe tomar en consideración. Debido a esto debemos hacer un análisis de sensibilidad para observar como varían los flujos de efectivo a través del tiempo y de la variación en el precio del petróleo crudo.

### 5.5 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.

En esta sección analizamos la variación que tienen los diferentes flujos de efectivo, tales como los gastos de operación, costos de la carga a la planta y de los productos obtenidos.

Tomaremos como base el precio del crudo. Del precio del crudo dependen los diferentes precios de los petrolíferos.

Graficamos el precio promedio del crudo para cada mes del año 2005 contra la carga y producciones de la planta catalítica:



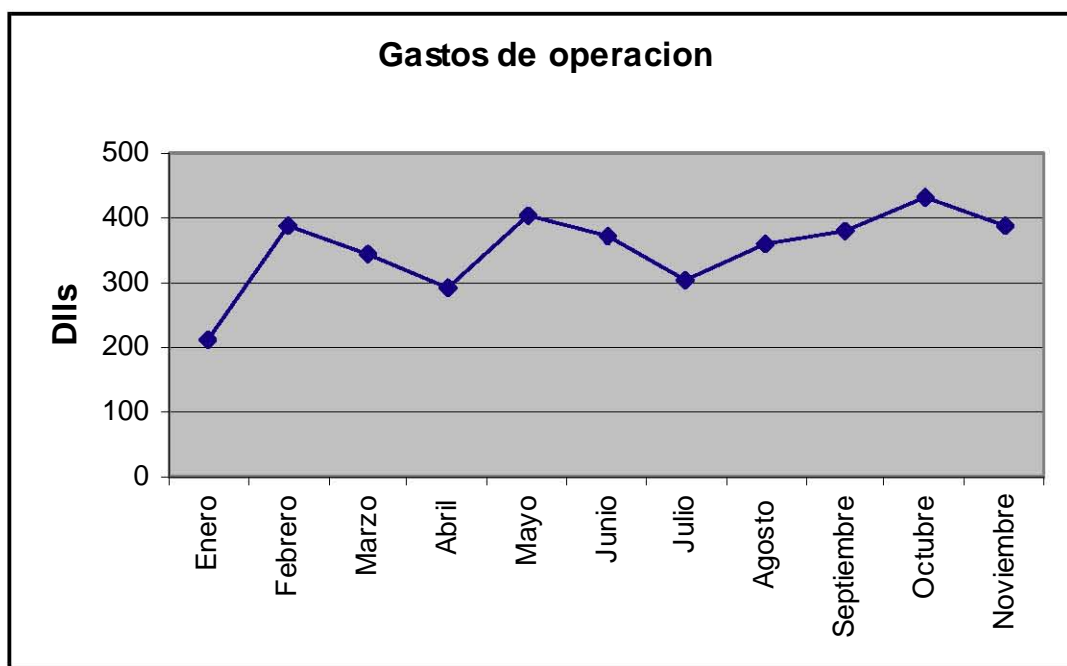
Grafica No. 5 Variación de precios. Año 2005.

Como podemos observar en la grafica, el precio del crudo durante el año 2005 fue en aumento, y de manera similar se puede observar que el precio de los demás hidrocarburos también aumentó. Esto nos indica que la ganancia de la planta catalítica depende en gran medida del precio del petroleo crudo.



Podemos concluir de lo anterior que la ganancia del año 2004 fue diferente del valor mostrado en la grafica no. 4, pues los ingresos de ese año dependen del precio del crudo en ese año.

Para realizar el análisis de sensibilidad de los gastos de operación, realizamos una grafica de los mismos contra el tiempo para observar la variación que existió.



Grafica No. 6 Variación de gastos de operación. Año 2005.

Como podemos observar en la gráfica, los gastos de operación presentaron un ligero, aunque no uniforme incremento a lo largo del año 2005. Esto se puede deber al aumento en el costo de los servicios que se requieren para la operación de la planta, tales como el vapor, agua de enfriamiento, entre otros.

## 5.6 *PARAMETROS ECONOMICOS.*

Existen ciertos parámetros o indicadores económicos que es conveniente calcular para saber si una inversión es rentable o no lo es.

Los parámetros económicos a calcular son los siguientes:

- Tiempo de Recuperación de la Inversión (TRI)
- Valor Presente Neto (VPN)
- Tasa Interna de Rendimiento (TIR)

*Tiempo de recuperación de la inversión:*

Tiene como objetivo determinar el **tiempo** (años, meses) en que se recupera la inversión, mediante la resta sucesiva de los flujos netos anuales descontados del monto de la inversión, hasta el punto en que se iguala o sobrepasa dicha inversión.

Para que un proyecto sea rentable el tiempo de recuperación de la inversión no debe ser de más de 10 años.

Tiempo de recuperación de la Inversión:

$$P = \frac{A}{R}$$

Donde:

- P = plazo de recuperación
- A = inversión inicial
- R = flujos de caja netos

*Valor presente neto:*

Es un factor importante para la decisión de realizar o no una inversión.

El VPN se calcula con el valor presente descontado, que es el flujo de rendimientos netos (futuros ingresos del proyecto), tomando en cuenta una tasa de interés, y lo comparamos contra la inversión realizada.

Si el valor presente descontado es mayor que la inversión, el valor presente neto será positivo y se aceptará el proyecto; si el valor presente descontado fuera menor que la inversión significa que el proyecto no es rentable.

Valor presente neto (VPN):

$$VPN = -P + \sum_1^n \frac{FNE}{(1 + TMAR)^n}$$

*Tasa interna de Rendimiento:*

Se define como aquella tasa de descuento que "igualar el valor presente de los flujos en efectivo de ingresos con el valor presente de los flujos en efectivo de egresos", siendo esa tasa la que se busca, una vez que se satisface la condición de igualdad a la que se hace referencia.

En otras palabras, la tasa de interés que iguala el valor presente neto a cero, es la tasa interna de rendimiento.

La tasa interna de rendimiento debe ser mayor a la tasa mínima de interés para que el proyecto sea rentable.

Tasa interna de rendimiento (TIR):

$$TIR = \sum_1^n \frac{FNE_n}{(1 + i)^n}$$

Donde:

- $P$  = inversión inicial.
- FNE = Flujo neto de efectivo del periodo  $n$ .
- TMAR = Tasa mínima aceptable de rendimiento.
- $i$  = Cuando se calcula la TIR, el VPN se hace cero y se desconoce la tasa de descuento que es el parámetro que se debe calcular. Por eso la TMAR ya no se utiliza en el cálculo de la TIR.

Los resultados de estos parámetros nos indican la aceptación o rechazo de un proyecto:

Técnica	Aceptación	Rechazo
VPN	$\geq 0$	$< 0$
TIR	$\geq \text{TMAR}$	$< \text{TMAR}$

Tabla No. 27 VPN y TIR.

### 5.6.1 TIEMPO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

Utilizamos la ganancia promedio diaria que obtuvimos anteriormente, este valor lo consideramos constante y así podemos obtener un pronóstico de en cuanto tiempo la inversión es recuperada.

La inversión en este proyecto fue de un orden de **10, 279,528 Dlls.**

- *Caso base.*

Flujo de efectivo promedio anual: 21.08 MMDlls

Cabe mencionar que la FCC opera 350 días al año. Esto debido a que se consumen dos semanas al año por trabajos de mantenimiento de la planta.

<b>Tiempo de recuperación de la inversión</b>		
<b>Año</b>	<b>Flujo de efectivo MMDIls</b>	<b>Acumulado</b>
0	0.00	-10.28
<b>1</b>	<b>21.08</b>	<b>10.80</b>
2	21.08	31.88
3	21.08	52.96
4	21.08	74.03
5	21.08	95.11
6	21.08	116.19
7	21.08	137.27
8	21.08	158.35
9	21.08	179.43
10	21.08	200.50

Tabla No. 28 Tiempo de recuperación de la inversión en años. Caso base.

Podemos ver en esta tabla que la inversión es recuperada en el primer año de funcionamiento de la planta, sin embargo no podemos ver con claridad en que momento se recupero la inversión, debido a esto podemos hacer un análisis mensual de las ganancias.

El flujo de efectivo promedio diario es multiplicado por los días que tiene cada mes del año 2005, con esto obtenemos el flujo de efectivo mensual.

<b>Tiempo de recuperación de la inversión</b>		
<b>Mes</b>	<b>Flujo de efectivo MMDIls</b>	<b>Acumulado</b>
	0.00	-10.28
Enero	1.87	-8.41
Febrero	1.69	-6.73
Marzo	1.87	-4.86
Abril	1.81	-3.05
<b>Mayo</b>	<b>1.87</b>	<b>-1.19</b>
<b>Junio</b>	<b>1.81</b>	<b>0.62</b>
Julio	1.87	2.49
Agosto	1.87	4.35
Septiembre	1.81	6.16
Octubre	1.87	8.03
Noviembre	1.81	9.84
Diciembre	1.87	11.70

Tabla No. 29 Tiempo de recuperación de la inversión en meses. Caso base.

La Inversión se recupera en el mes de Junio de 2005, esto si los precios de los productos son vendidos al precio del catalogo de precios.

○ *Caso 1.*

Flujo de efectivo promedio diario: 0.05 MMDlls.

En el caso dos y tres se realizó únicamente el análisis mensual porque la inversión es igualmente recuperada el primer año.

<b>Tiempo de recuperación de la inversión</b>		
<b>Mes</b>	<b>Flujo de efectivo Dlls</b>	<b>Acumulado</b>
	0.00	-10.28
Enero	1.53	-8.75
Febrero	1.38	-7.36
Marzo	1.53	-5.83
Abril	1.48	-4.34
Mayo	1.53	-2.81
<b>Junio</b>	<b>1.48</b>	<b>-1.33</b>
<b>Julio</b>	<b>1.53</b>	<b>0.20</b>
Agosto	1.53	1.74
Septiembre	1.48	3.22
Octubre	1.53	4.75
Noviembre	1.48	6.24
Diciembre	1.53	7.77

Tabla No. 30 Tiempo de recuperación de la inversión en meses. Caso 1.

Para el caso en donde el AD se venda a precio de Combustóleo, la inversión será recuperada en el mes de Julio de 2005.

○ *Caso 2.*

Flujo de efectivo promedio diario: 0.05 MMDlls.

<b>Tiempo de recuperación de la inversión</b>		
<b>Mes</b>	<b>Flujo de efectivo MMDIls</b>	<b>Acumulado</b>
	0.00	-10.28
Enero	1.46	-8.82
Febrero	1.32	-7.50
Marzo	1.46	-6.04
Abril	1.41	-4.63
Mayo	1.46	-3.17
Junio	1.41	-1.76
<b>Julio</b>	<b>1.46</b>	<b>-0.30</b>
<b>Agosto</b>	<b>1.46</b>	<b>1.16</b>
Septiembre	1.41	2.57
Octubre	1.46	4.03
Noviembre	1.41	5.44
Diciembre	1.46	6.90

Tabla No. 31 Tiempo de recuperación de la inversión en meses. Caso 2.

En el caso de que tanto al ACL como al AD se les de el precio de combustóleo, la inversión será recuperada para Agosto de 2005.

### **5.6.2 CALCULO DEL VPN.**

Se utilizó una tasa de descuento de 10%. Esta tasa es un valor establecido por Pemex para todos los proyectos que realiza.

El horizonte del proyecto son diez años.

Se utiliza el promedio obtenido como ganancia promedio anual. Este valor depende de que caso estemos tomando en consideración.

*Caso base.*

Flujo de efectivo promedio anual: 21.08 MMDIls.

$$\begin{aligned}
 VPN = & -10.28 + \frac{21.08}{(1+0.1)^1} + \frac{21.08}{(1+0.1)^2} + \frac{21.08}{(1+0.1)^3} + \frac{21.08}{(1+0.1)^4} + \\
 & \frac{21.08}{(1+0.1)^5} + \frac{21.08}{(1+0.1)^6} + \frac{21.08}{(1+0.1)^7} + \frac{21.08}{(1+0.1)^8} + \frac{21.08}{(1+0.1)^9} + \frac{21.08}{(1+0.1)^{10}}
 \end{aligned}$$

Valor presente neto para el caso base: **119.24 MMDls**

*Caso 1.*

Flujo de efectivo promedio anual: 17,31 MMDls.

$$\begin{aligned}
 VPN = & -10.28 + \frac{17.31}{(1+0.1)^1} + \frac{17.31}{(1+0.1)^2} + \frac{17.31}{(1+0.1)^3} + \frac{17.31}{(1+0.1)^4} + \\
 & \frac{17.31}{(1+0.1)^5} + \frac{17.31}{(1+0.1)^6} + \frac{17.31}{(1+0.1)^7} + \frac{17.31}{(1+0.1)^8} + \frac{17.31}{(1+0.1)^9} + \frac{17.31}{(1+0.1)^{10}}
 \end{aligned}$$

Valor presente neto para el caso 1: **96.08 MMDls**

*Caso 2.*

Flujo de efectivo promedio anual: 16.47 MMDls.

$$\begin{aligned}
 VPN = & -10.28 + \frac{16.47}{(1+0.1)^1} + \frac{16.47}{(1+0.1)^2} + \frac{16.47}{(1+0.1)^3} + \frac{16.47}{(1+0.1)^4} + \\
 & \frac{16.47}{(1+0.1)^5} + \frac{16.47}{(1+0.1)^6} + \frac{16.47}{(1+0.1)^7} + \frac{16.47}{(1+0.1)^8} + \frac{16.47}{(1+0.1)^9} + \frac{16.47}{(1+0.1)^{10}}
 \end{aligned}$$

Valor presente neto para el caso 2: **90.95 MMDls**



### 5.6.3 CALCULO DE LA TIR

El valor de la TIR se obtiene cuando el VPN es igual a cero.

*Caso base.*

$$VPN \Rightarrow 0 = -10.28 + \frac{21.08}{(1+TIR)^1} + \frac{21.08}{(1+TIR)^2} + \frac{21.08}{(1+TIR)^3} + \frac{21.08}{(1+TIR)^4} + \frac{21.08}{(1+TIR)^5} + \frac{21.08}{(1+TIR)^6} + \frac{21.08}{(1+TIR)^7} + \frac{21.08}{(1+TIR)^8} + \frac{21.08}{(1+TIR)^9} + \frac{21.08}{(1+TIR)^{10}}$$

Tasa interna de rendimiento para caso base: **205.05 %**

*Caso 1.*

$$VPN \Rightarrow 0 = -10.28 + \frac{17.31}{(1+TIR)^1} + \frac{17.31}{(1+TIR)^2} + \frac{17.31}{(1+TIR)^3} + \frac{17.31}{(1+TIR)^4} + \frac{17.31}{(1+TIR)^5} + \frac{17.31}{(1+TIR)^6} + \frac{17.31}{(1+TIR)^7} + \frac{17.31}{(1+TIR)^8} + \frac{17.31}{(1+TIR)^9} + \frac{17.31}{(1+TIR)^{10}}$$

Tasa interna de rendimiento para caso 1: **168.37 %**

*Caso 2.*

$$VPN \Rightarrow 0.28 + \frac{16.47}{(1+TIR)^1} + \frac{16.47}{(1+TIR)^2} + \frac{16.47}{(1+TIR)^3} + \frac{16.47}{(1+TIR)^4} + \frac{16.47}{(1+TIR)^5} + \frac{16.47}{(1+TIR)^6} + \frac{16.47}{(1+TIR)^7} + \frac{16.47}{(1+TIR)^8} + \frac{16.47}{(1+TIR)^9} + \frac{16.47}{(1+TIR)^{10}}$$

Tasa interna de rendimiento para caso 2: **160.25 %**

Podemos resumir en la siguiente tabla los resultados obtenidos para el VPN, TIR y tiempo de recuperación de la inversión.

<b>RESUMEN</b>			
<b>Caso</b>	<b>VPN (MMDIIs)</b>	<b>TIR (%)</b>	<b>TRI (meses)</b>
Base	119.24	205.05	6
1	96.08	168.37	7
2	90.95	160.25	8

Tabla No. 32 Parámetros de Evaluación Económica.

De esta tabla podemos ver que el proyecto si fue rentable, debido a que, en cualquiera de los tres casos, el VPN es mucho mayor a cero, y también la TIR es mucho mayor a la tasa mínima aceptable de rendimiento, que es de 10 %. Asimismo la inversión es recuperada en menos de un año, variando de 6 a 8 meses dependiendo el caso que se estudie.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

# 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS



El aumento de los rendimientos es uno de los beneficios que se obtuvieron de la modernización de la planta catalítica. El rendimiento de los productos ligeros aumento, mientras que el de los productos pesados disminuyó.

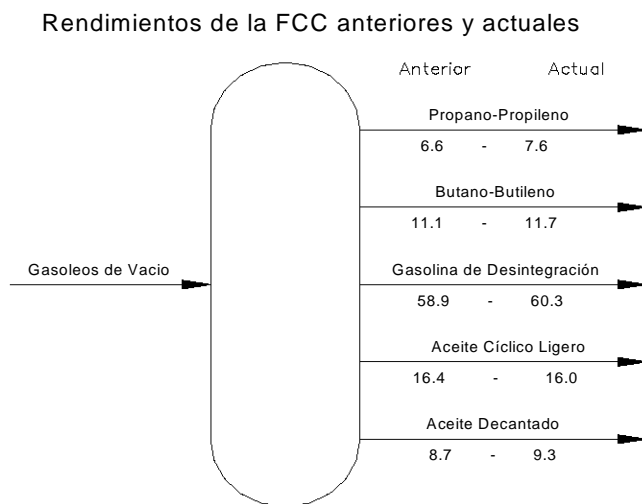


Figura No. 12. Rendimientos anteriores y actuales de la FCC

Asimismo se obtuvo un aumento volumétrico teórico de 9 %. Debemos recordar que al realizar el balance de masa, este debe darnos como resultado que la misma masa que entra debe ser la misma que sale. Como podemos observar esto se cumple. Sin embargo el aumento volumétrico de la planta en operación es de aproximadamente 5 %. Cabe mencionar que este valor tiene un margen de error, ya que para obtener este dato se sumaron los volúmenes promedio, no los volúmenes diarios.

Otro punto importante de mencionar es que con las modificaciones que se le hicieron a la FCC se permitió un incremento en la capacidad de la planta, siendo en el 2004 la carga de 27.77 MBD y hoy en día de 29.02 MBD. Con el incremento de la carga se obtiene una mayor producción de gasolinas y productos ligeros.

Esto permite cumplir con el objetivo de la modernización de la FCC, el cual era aumentar la producción para una mayor cobertura de la demanda de petrolíferos, pues hay un aumento considerable de producción de gasolina, siendo la diferencia de 1.14 MBD lo que

da un total de 400 MB de gasolina adicionales por año, además de los productos petroquímicos generados (propano-propileno, butano-butileno). También hay un incremento importante en la producción de Gas Amargo, el cual es tratado e inyectado a la red de gas combustible de la refinería.

Cabe mencionar que las pruebas estadísticas realizadas a cargas y producciones nos muestran que en verdad hay una diferencia en las producciones de la planta catalítica. Excepto en el caso del aceite cíclico ligero, este no mostró una variación significativa con respecto al año 2004.

En lo que respecta al análisis económico, se puede observar que los tres parámetros utilizados para evaluar el proyecto nos dan como resultado que el proyecto fue rentable.

El análisis fue realizado para tres casos importantes, debido a que, a pesar de existir un precio para cada producto derivado del petróleo, no siempre se le da dicho precio, sino que algunas veces es vendido o mezclado con corrientes de productos de menor valor agregado, sin embargo, aun así se obtiene una ganancia económica importante, aún dando al aceite cíclico ligero y al aceite decantado el valor del combustoleo.

Recordemos que el tiempo de recuperación de la inversión no debe ser mayor a diez años, y el resultado obtenido nos muestra que la inversión se recupera en seis meses para el caso base, siete meses para el caso 1 y ocho meses para el caso 2. El resultado del TRI nos indica que este proyecto fue viable de realizar, pues la inversión es rápidamente recuperada.

El valor presente neto debe ser positivo, lo que indica que los ingresos futuros traídos a valor presente, son mayores a la inversión realizada, lo que nos garantiza también la rentabilidad del proyecto. El resultado del cálculo del VPN fue positivo para los tres casos, teniendo valores muy altos.

Cabe recordar que la inversión fue de 10, 279,528 Dlls.

La tasa interna de rendimiento debe ser mayor de 10 %, que es la tasa mínima aceptable, y los valores calculados son mayores, siendo el valor mas bajo de 160 %.

RESUMEN			
Caso	VPN (MMDIIs)	TIR (%)	TRI (meses)
Base	119.24	205.05	6
1	96.08	168.37	7
2	90.95	160.25	8

Tabla No. 33 Resultados económicos.

La ganancia económica se debe a varios factores, como la mayor producción de ligeros y la disminución de pesados, así mismo en las gráficas comparativas vemos que la carga promedio a la FCC ha aumentado, lo que indica un aumento en la capacidad de la planta.

Otros aspectos importantes son la disminución de los costos de operación y la disminución en el consumo de catalizador. Este ahorro es pequeño en comparación con la ganancia por aumento de rendimientos, sin embargo es importante mencionarlo y tomarlo en cuenta en la ganancia total.

En este caso la diferencia de gastos de operación no fue significativa entre ambos años. Si bien es cierto que hubo una disminución en el consumo de catalizador los demás servicios permanecieron constantes.

Otro objetivo importante en la modernización fué el aumento en el Índice de Octano. Al aumentar el Índice de Octano de la gasolina de desintegración, se requieren menos aditivos para la elaboración de las gasolinas finales, tales como el MTBE, TAME y alquilado, productos que son muy caros. Este aumento del Índice de Octano se puede traducir a dinero, y esta ganancia también es necesaria tomarla en cuenta para el cálculo de la ganancia total. Pero a pesar del aumento de 0.29, no se ha cumplido el objetivo de llegar a 87.2. El aumento del Índice de Octano si es constante, pues el resultado de la prueba estadística nos lo muestra así.

Para el año 2004 el valor promedio del Índice de Octano fue de 86.03 y para el año 2005 fue de 86.32.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

## 7. CONCLUSIONES



La modernización de la planta catalítica fué realizada con el propósito de mejorar la reacción de desintegración, esto a través de una mejor alimentación de la carga por medio de inyectores mas eficientes, mejor separación de los vapores del catalizador, etc., logrando obtener con esto una mayor producción de compuestos de mayor valor agregado, tales como la gasolina, propano-propileno y butano-butileno.

Asimismo se pretendió disminuir la producción de compuestos de menor valor agregado, como son el aceite cíclico ligero y el aceite decantado. Aunque el rendimiento del aceite decantado aumento, este incremento fué pequeño con respecto al aumento de la gasolina de desintegración, que es el producto que se desea obtener en mayor proporción.

Con el aumento del rendimiento de productos ligeros y la disminución de los productos pesados se logró cumplir uno de los objetivos de la modernización, el cual era orientar la reacción para la producción de productos ligeros, como la gasolina.

Con este trabajo logramos comprobar la importancia de un análisis económico en un proyecto de esta magnitud. Es necesario tomar en cuenta siempre el aspecto económico de un proyecto, no solo la parte técnica.

Las conclusiones obtenidas son las siguientes:

- La *FCC* tiene una expansión volumétrica de aproximadamente 9 % teórica. La expansión volumétrica de la planta ya en operación es de aproximadamente 5 %. Esto debido a los diferentes pesos específicos de los productos y de la alimentación. Es necesario realizar un balance de masa para obtener el aumento volumétrico correspondiente.
- El principal factor para la mejora de rendimientos es una mejor alimentación y esparado de la carga. Esto también ocasionó una disminución en el consumo de catalizador.



- La modernización permitió una mayor producción de ligeros y una disminución en los pesados. Con esto se cumple uno de los objetivos del proyecto.
- Otro beneficio obtenido fué el aumento en el Índice de Octano, lo que le otorga un mayor valor económico a la gasolina de desintegración.
- Los parámetros económicos obtenidos nos muestran que el proyecto fué rentable, ya que permite una ganancia importante sobre la inversión, una alta tasa de interés y un periodo corto de recuperación de la inversión.
- Para cualquiera de los tres casos estudiados se observa una ganancia importante, sin importar cual sea el destino de los aceites cíclicos.

Podemos concluir que en este proyecto de la modernización de la planta catalítica de Minatitlán, Ver. se lograron los objetivos de una mayor producción de ligeros y disminución del aceite cíclico ligero. El aceite decantado aumentó su rendimiento pero en solo en una pequeña fracción comparado con el aumento del rendimiento de los productos de alto valor agregado.

Asimismo se logró una disminución en los costos de operación, debida principalmente a que se consume menos catalizador.

Se logró también un aumento en el Índice de Octano de la gasolina de desintegración, sin embargo no se ha llegado a la meta establecida de una gasolina con Índice de Octano de 87.2.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

## 8. GLOSARIO



*Aceite cíclico ligero:* Corriente de hidrocarburos que puede ser utilizada para la mezcla final de diesel o en algunas ocasiones se utiliza como combustoleo. Es el corte de la catalítica en el rango de 221-360 °C. Compuesto por C<sub>5</sub>'s y agua debida al vapor utilizado en la alimentación.

*Aceite decantado:* Corriente residual de la desintegración catalítica utilizada generalmente para la elaboración de combustoleo.

*Alquilado:* Producto resultado de una combinación de un isobutano y una olefina para producir un producto liquido con una estabilidad superior. Es una combinación de una isoparafina con una olefina generalmente etileno, propileno, butileno. El alquilado tiene propiedades similares a la gasolina.

*Aromáticos:* Hidrocarburos que contienen en su estructura al menos un anillo aromático, generalmente benceno, y ramificaciones. Por ejemplo: benceno, tolueno, cumeno.

*Barril:* Unidad de medida utilizada en la industria petrolera. Equivalente a 159 litros.

*Blending:* Proceso de mezclar dos o mas productos teniendo cada uno diferentes propiedades para obtener un producto con propiedades intermedias. Algunos productos son mezclados para dar viscosidad, temperatura de destilación, etc.

*Butano-butileno:* Mezcla de dos compuestos: Butano: Miembro de la familia de los hidrocarburos gaseosos, con cuatro átomos de carbono y diez átomos de hidrógeno. Butileno: Compuesto de cuatro átomos de hidrógenos y ocho de hidrogeno. Insaturado. La mezcla de ambos es utilizada como combustible (*LPG*).

*Catalizador:* Sustancia que afecta notablemente la velocidad de reacción sin consumirse o alterarse en forma esencial.

*Combustoleo:* Producto final de la refinación del petróleo formado por los hidrocarburos más pesados del petróleo. Formado por las corrientes residuales de las destilaciones y es utilizado como combustible industrial.

*Coque:* Término generalmente aplicado al material sólido obtenido de los residuos del petróleo. Carbón.

*Desintegración catalítica:* Proceso que utiliza un catalizador para efectuar una reacción a condiciones tan bajas de proceso como sea posible. El catalizador no es consumido en este proceso, pero ayuda a desintegrar las moléculas grandes en otras más pequeñas.

*Diesel:* Combustible utilizado generalmente en automotores. Corte de 360 a 600°F. Contiene hidrocarburos desde C<sub>14</sub> a C<sub>20</sub>. Está formado asimismo de nafta, kerosina y aceite cíclico de la planta catalítica.

*FCC:* Fluid Catalytic Cracking. Desintegración catalítica en Lecho Fluidizada.

*Fondo de barril:* Fracción del petróleo que no es posible separarla en productos ligeros como gasolina, diesel, turbosina, por métodos físicos. Esta fracción del petróleo es necesario separarla o tratarla por medio de procesos químicos como la desintegración catalítica, la coquización, etc.

*Gas amargo:* Corriente de gas que está compuesta principalmente por metano y etano. Asimismo contienen como impureza azufre en forma de varios compuestos, principalmente H<sub>2</sub>S. Composición aproximada: 84 % metano, 14 % etano y 2 % N y CO<sub>2</sub>. Además contiene de 10 a 15 ppm de azufre.

*Gas licuado:* (LPG) Gas licuado a presión. Cuando la presión disminuye, vuelve al estado gaseoso. Compuesto de propano y butano en una proporción aproximada de 60% de propano y 40 % de butano.

*Gasóleos:* Corte del petróleo correspondiente al rango de 662 a 1022 °F. La corriente de gasóleos de alimentación a la planta catalítica es una mezcla de gasóleos atmosféricos y gasóleos de vacío.

*Gasolina:* Compleja mezcla compuesta de hidrocarburos de C<sub>4</sub> a C<sub>10</sub>. Es el corte de 100 a 400 °F. Tiene aproximadamente 50 % de parafinas, 30 % de Naftenos y 20 % de Aromáticos Utilizado generalmente como combustible en automóviles

*Gasolina de desintegración:* Gasolina producida por la desintegración catalítica. Es el producto deseado en esta reacción. Formada principalmente por C<sub>5</sub> y C<sub>4</sub>'s. Es utilizada para el Blending de gasolinas.

*Gasolina Reformada:* La gasolina de la destilación atmosférica es procesada en la reformación, en el que se busca el aumento en el número de octano por medio de la formación de compuestos aromáticos, que tienen un alto valor de octano, a partir de las parafinas y los naftenos que tienen un bajo índice de octano. Esta reacción se lleva a cabo por medio de catalizadores.

*Gasolinas finales:* Productos finales de la refinación del petróleo. Gasolina Pemex Magna y Gasolina Pemex Premium.

*Hidrocarburos:* Compuestos orgánicos de hidrógeno y carbono cuyas densidades y puntos de ebullición incrementan con su peso molecular. Aunque son compuestos solo de carbono e hidrógeno, existen hidrocarburos con una gran variedad de componentes. Las moléculas más pequeñas son gaseosas. Una mezcla de hidrocarburos hacen el petróleo crudo.

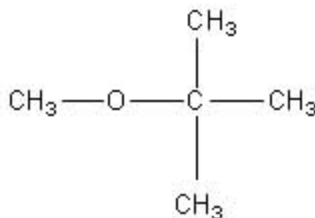
*Índice de Octano:* Término numérico que indica un valor antidetonante relativo de una gasolina, basado en una comparación con combustibles de referencia (isooctano con I.O. de 100 y heptano con I.O. de 0).

*Isómero:* Uno de dos o mas compuestos con idéntica composición química pero diferente cada uno en el arreglo de los átomos que lo forman y quizá en la naturaleza de los enlaces atómicos. Estas diferencias producen cambios en las propiedades físicas y temperaturas de ebullición de un isómero a otro.

*Kerosina:* Destilado intermedio. Corte de 330 a 550 °F. Contiene hidrocarburos desde C<sub>10</sub> a C<sub>14</sub>. Su uso es como combustible, ya sea como keroseno o mezclado con diesel y turbosina.

*MON:* Motor Octane Number. Es un número de octano que se obtiene experimentalmente al utilizar una gasolina en un motor al arrancar este.

*MTBE:* Metil TerButil Eter. Oxigenante para gasolinas que incrementa el índice de octano mejorando la combustión de la misma. Esto debido a la presencia de oxígenos en la molécula. Es producido al hacer reaccionar metano con isobutileno.



*Nafta:* Corriente compuesta principalmente de C<sub>5</sub>. Es utilizada normalmente en la mezcla de gasolinas finales.

*Naftenos:* Hidrocarburos saturados en forma de ciclos. También llamados cicloparafinas. Ej. Ciclohexano, ciclopentano.

*Olefina:* Hidrocarburo de la forma C<sub>n</sub>H<sub>2n</sub>. Ej. Etileno, propileno.

*Parafina:* Hidrocarburo de la forma C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub>. Ej. Propano, butano, metano.

*Poder calorífico:* Cantidad de calor que desprende una sustancia por unidad de materia en su combustión.

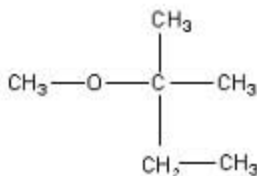
*Propano-propileno:* Mezcla de dos compuestos. Propano: Tercer miembro de la familia de los hidrocarburos gaseosos, teniendo tres átomos de carbono y ocho átomos de hidrógeno. Propileno: Compuesto formado de tres átomos de carbono y seis de hidrogeno, con una doble ligadura. La mezcla es utilizada como combustible (LPG). Asimismo pueden separarse los dos compuestos y ser utilizados en la industria petroquímica.

*Refinación:* Manufactura de productos del petroleo por un proceso de destilación del petroleo crudo en el cual sus componentes sucesivos son vaporizados y condensados por separado. El destilado es redestilado o purificado químicamente para obtener productos finales.

*Refractario:* Material que resiste altas temperaturas sin fundirse. Funciona asimismo como aislante para evitar una alta temperatura en el exterior del reactor.

*RON:* Run Octane Number. Es un número de octano obtenido experimentalmente al usar una gasolina en un motor a gran velocidad.

*TAME:* TerAmyl Metil Eter. Utilizado como aditivo en la formulación de las gasolinas finales. Al tener la molécula átomos de oxigeno se logra una mejor combustión y esto incrementa la eficiencia de las gasolinas. Es producido al hacer reaccionar metanol con isopentileno.



*Turbosina:* Hidrocarburo que se utiliza como combustible para aviones. Es el corte de 350 a 550 °F del crudo. Contiene hidrocarburos desde C<sub>10</sub> a C<sub>14</sub> en forma de aromáticos y Naftenos. Esta formada también por una mezcla de nafta y kerosina.

*UOP:* Universal Oil Products. Licenciador de diferentes procesos químicos.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

## 9. BIBLIOGRAFÍA





## Libros

- Ingeniería de Detalle de la Modernización de la Planta Catalítica FCC de Minatitlan, Veracruz. Pemex Refinación. Marzo 2003
- Gruñe, William Arthur. Chemical technology of petroleum. 3a Ed. 1960. Mc. Graw Hill.
- Huntington, Richard Lee. Natural gas and natural gasoline. 1950. Mc. Graw Hill.
- Riggs, James L. Ingeniería Económica. México. 1990.
- Thuesen, Holger George. Ingeniería Económica. 1986. Prentice Hall. México.
- Perry. R. H. Chilton. Chemical Engineer's Handbook. 5ª Ed. Mc. Graw Hill.
- Kirk-Othmer. Encyclopedia of chemical technology. 4th edition. Vol 18. 1996. John Wiley & Sons.
- Christopher Morris. Diccionario Enciclopédico de Ciencia y Tecnología. 1ª Ed. Prentice may hispanoamericana. 1996.
- Tver, David F. Berry, Richard W. The Petroleum Dictionary. 1980. Van Nostrand Reinhold Company.
- Moderna Tecnología del Petroleo. The Institute of Petroleum. Ed. Reverté. 1963.
- Catálogo de Precios para Resultados de Operación. Pemex Refinación. 2005
- Gary, James H, Handwerk, Glenn E. Petroleum Refining. Technology and economics. 4th edition Marcel Dekker Inc. New York. 2001.
- Wuithier Pierre. El petroleo. Refino y tratamiento químico. Tomo 1. Ediciones Cepsa Madrid. 1971.

### **Tesis**

- Benítez Caballero, Alfredo Tomas. Descripción de los principales procesos de refinación del petróleo crudo. Tesis licenciatura UNAM Facultad de Química 1980.
- Pacheco Pérez David. Proceso de desintegración catalítica de lecho fluidizado control y operación de la unidad tipo elevador. Tesis de licenciatura. UNAM. Facultad de Química. 1988.

### **Internet**

- Intranet de Pemex
- <http://www.ci.ulsamex.mx>
- <http://www.thefccnetwork.com>
- [www.uop.com](http://www.uop.com)
- Portal de la Refinería “Gral. Lázaro Cárdenas”, de Minatitlán Ver.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

## 10. ANEXOS







ENERO		ENERO 2005																										
Refineria Minatitlan		CARGA																										
CARGA		01-Eno	02-Eno	03-Eno	04-Eno	05-Eno	06-Eno	07-Eno	08-Eno	09-Eno	10-Eno	11-Eno	12-Eno	13-Eno	14-Eno	15-Eno	16-Eno	17-Eno	18-Eno	19-Eno	20-Eno	21-Eno	22-Eno	23-Eno	24-Eno	25-Eno	26-Eno	27-Eno
MI CARGA CATALITICA FCC: GASOLEOS DE VACIO MB		27.50	28	28	28	28	27.8	27.7	28	27.8	27.8	27.7	27.9	27.8	28.0	28.0	29.0	29.6	28.7	28.6	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.6	28.6
<b>Producción</b>																												
GAS AMARGO DESINTEGRACION CATALITICA M <sup>3</sup>																												
MI PRODUC. CATALITICA FCC: Propano/Propileno MB																												
BUTANO BUTILENO DESINTEGRACION CAT MB																												
GASOLINA DESINTEGRACION CATALITICA MB																												
ACEITE CICLICO LIGERO MB																												
ACEITE CICLICO PESADO MB																												
COQUE TON																												

Diferencial de Beneficios																											
MI CARGA CATALITICA FCC: GASOLEOS DE VACIO MB																											
GAS AMARGO DESINTEGRACION CATALITICA M <sup>3</sup>																											
MI PRODUC. CATALITICA FCC: Propano/Propileno MB																											
BUTANO BUTILENO DESINTEGRACION CAT MB																											
GASOLINA DESINTEGRACION CATALITICA MB																											
ACEITE CICLICO LIGERO MB																											
ACEITE CICLICO PESADO MB																											
COQUE TON																											

densidad 2.55 kg/m <sup>3</sup>		Poder calorifico 0.03 MMBTU/m <sup>3</sup>																										
GAS AMARGO DESINTEGRACION CATALITICA MMBTU		2.21	-0.28	-0.53	-0.53	0.23	0.13	-0.02	-0.02	0.14	0.14	0.18	0.24	0.48	0.48	0.51	0.38	0.44	0.43	0.47	0.47	0.48	0.19	-0.02	-0.02	0.09	-0.02	0.56

CASO 1																											
<b>Ganancia - Perdida</b>																											
MI CARGA CATALITICA FCC: GASOLEOS DE VACIO MD																											
GAS AMARGO DESINTEGRACION CATALITICA MD																											
MI PRODUC. CATALITICA FCC: Propano/Propileno MD																											
BUTANO BUTILENO DESINTEGRACION CAT MD																											
GASOLINA DESINTEGRACION CATALITICA MD																											
ACEITE CICLICO LIGERO MD																											
ACEITE CICLICO PESADO MD																											
COQUE																											

CASO 2																												
ACEITE CICLICO PESADO - COPE		10.70	-6.36	-5.55	-15.34	-18.38	0.95	-12.33	-10.20	-9.45	9.83	-15.91	-7.82	-22.40	-20.27	-19.76	-7.96	-9.81	-9.18	-6.12	-7.92	-2.87	7.00	13.36	18.93	18.46	25.02	-7.15

CASO 3																												
ACEITE CICLICO LIGERO - COPE		-29.50	-11.22	-7.57	-7.57	-7.57	-11.22	-11.22	-11.22	-11.22	-28.49	-11.22	-11.22	-1.07	-1.07	-7.16	-11.22	-11.22	-11.22	-7.16	-11.22	-5.13	-5.13	-5.13	-5.13	-3.10	-3.10	8.07
ACEITE CICLICO PESADO - COPE		10.70	-6.36	-5.55	-15.34	-18.38	0.95	-12.33	-10.20	-9.45	9.83	-15.91	-7.82	-22.40	-20.27	-19.76	-7.96	-9.81	-9.18	-6.12	-7.92	-2.87	7.00	13.36	18.93	18.46	25.02	-7.15

RENDIMIENTOS																											
GAS AMARGO DESINTEGRACION CATALITICA																											
PROPANO-PROPILENO																											
BUTANO BUTILENO																											
GASOLINA DESI																											
ACEITE CICLICO LIGERO																											
ACEITE CICLICO PESADO																											
COQUE																											

FEBRERO		FEBRERO 2005																										
Refineria Minatitlan		CARGA																										
CARGA		01-Feb	02-Feb	03-Feb	04-Feb	05-Feb	06-Feb	07-Feb	08-Feb	09-Feb	10-Feb	11-Feb	12-Feb	13-Feb	14-Feb	15-Feb	16-Feb	17-Feb	18-Feb	19-Feb	20-Feb	21-Feb	22-Feb	23-Feb	24-Feb	25-Feb	26-Feb	27-Feb
MI CARGA CATALITICA FCC: GASOLEOS DE VACIO MB		29.50	29.50	29.50	29.50	29.80	29.80	29.50	29.80	29.80	29.50	29.50	29.50	29.50	29.50	29.50	29.50	29.50	29.50	29.50	29.50	29.50	29.50	29.50	29.50	29.50	29.50	29.80
<b>Producción</b>																												
GAS AMARGO DESINTEGRACION CATALITICA M <sup>3</sup>																												
MI PRODUC. CATALITICA FCC: Propano/Propileno MB																												
BUTANO BUTILENO DESINTEGRACION CAT MB																												
GASOLINA DESI																												
ACEITE CICLICO LIGERO																												
ACEITE CICLICO PESADO MB																												
COQUE TON																												

Diferencial de Beneficios																											
MI CARGA CATALITICA FCC: GASOLEOS DE VACIO MB																											
GAS AMARGO DESINTEGRACION CATALITICA M <sup>3</sup>																											
MI PRODUC. CATALITICA FCC: Propano/Propileno MB																											
BUTANO BUTILENO DESINTEGRACION CAT MB																											
GASOLINA DESI																											
ACEITE CICLICO LIGERO MB																											
ACEITE CICLICO PESADO MB																											
COQUE TON																											

densidad 2.55 kg/m <sup>3</sup>		Poder calorifico 0.03 MMBTU/m <sup>3</sup>																									
GAS AMARGO DESINTEGRACION CATALITICA MMBTU		0.51	0.54	0.54	0.54	0.33	0.43	0.48	-0.53	-0.53	-0.02	0.23	0.23	0.48	0.48	0.64	0.33	0.33	0.91	0.26	0.26	0.48	0.13	0.38	0.08	0.35	0.35

CASO 1																											
<b>Ganancia - Perdida</b>																											
MI CARGA CATALITICA FCC: GASOLEOS DE VACIO																											
GAS AMARGO DESINTEGRACION CATALITICA																											
MI PRODUC. CATALITICA FCC: Propano/Propileno																											
BUTANO BUTILENO DESINTEGRACION CAT																											
GASOLINA DESI																											
ACEITE CICLICO LIGERO																											
ACEITE CICLICO PESADO																											
COQUE																											

CASO 2																												
ACEITE CICLICO PESADO - COPE		-3.67	7.13	-6.35	-1.08	-11.47	-14.71	10.82	32.23	35.34	19.73	3.76	8.55	0.86	-15.38	2.10	4.91	7.90	3.04	-0.82	1.34	-3.55	9.50	13.17	28.23	41.45	44.66	39.87

CASO 3																												
ACEITE CICLICO LIGERO - COPE		-3.66	-1.26	27.48	5.92	5.92	5.92	1.13	1.13	1.13	10.71	10.71	10.71	8.32	11.91	5.92	9.52	-1.26	10.71	8.32	-1.26	10.71	10.71	10.71	7.63	13.11	10.71	10.71
ACEITE CICLICO PESADO - COPE		-3.67	7.13	-6.35	-1.08	-11.47	-14.71	10.82	32.23	35.34	19.73	3.76	8.55	0.86	-15.38	2.10	4.91	7.90	3.04	-0.82	1.34	-3.55	9.50	13.17	28.23	41.45	44.66	39.87

RENDIMIENTOS																											
GAS AMARGO DESINTEGRACION CATALITICA																											
PROPANO-PROPILENO																											
BUTANO BUTILENO																											
GASOLINA DESI																											
ACEITE CICLICO LIGERO																											
ACEITE CICLICO PESADO																											
COQUE																											

Gas amargo MMBtu













