



UNIVERSIDAD DE MATANZAS

FACULTAD DE CIENCIAS TECNICAS

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA

Esquema de mezclado para la gasolina ante diferentes escenarios de paradas de las unidades de proceso en el Proyecto expansión de la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”

Trabajo final en opción al Título Académico de Especialista en Tecnologías de refinación de petróleo

Autor: Ing. Mayelín Gutiérrez Brunet

Matanzas

2015



UNIVERSIDAD DE MATANZAS
FACULTAD DE CIENCIAS TECNICAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA E
INGENIERÍA QUÍMICA



CENTRO POLITÉCNICO DEL
PETRÓLEO
SEDE: CIENFUEGOS

Esquema de mezclado para la gasolina ante diferentes escenarios de paradas de las unidades de proceso en el Proyecto expansión de la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”

Trabajo final en opción al Título Académico de Especialista en Tecnologías de refinación de petróleo

Autor: Ing. Mayelín Gutiérrez Brunet

Tutores: MSc. Fernando Piñón Yanes

MSc. Pablo Pérez Estévez

Matanzas

2015

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo, Mayelín Gutiérrez Brunet declaro que soy el único autor del presente trabajo y autorizo a la Universidad de Matanzas y al Centro Politécnico del Petróleo a hacer el uso que estime pertinente con la información que aparece en el mismo siempre y cuando se respete nuestra autoría.

Mayelín Gutiérrez Brunet



Nombre y Apellidos. Firma



Pensamiento

La ciencia es la aproximación progresiva... al mundo real.

Max Planck



Dedicatoria

A Lunita con mucho amor.



Agradecimiento

A la Revolución por esta nueva oportunidad.

A Piñón por brindarme su tiempo, conocimientos y apoyo incondicional.

A Pablo, Ramón, Lobelles, a cada persona que me apoyó en el desarrollo de este trabajo,

Muchas gracias.



Resumen

La gasolina vista como uno de los productos de mayor valor agregado en una refinería de petróleo, está compuesta por una mezcla de hidrocarburos, obtenidos de diversos procesos de refinación como destilación, craqueo, reformación catalítica, alquilación e isomerización. Cada una de estas corrientes con sus propiedades físico químicas contribuyen a lograr la calidad del producto. La refinería Camilo Cienfuegos se encuentra inmersa en un proceso inversionista con el objetivo de elevar los índices de rentabilidad económica, para ello ha diseñado un esquema de refinación con conversión profunda, donde las corrientes componentes de la mezcla de gasolina a partir de los nuevos procesos implementados, aumentarán en cantidad y calidad. Es de vital importancia una vez diseñado el esquema de la mezcla de gasolina, mantener su calidad. Con este fin, y para garantizar la logística operacional y con ello la economía del proceso ante escenarios de paradas de planta de procesos, este trabajo iniciará una investigación que permitirá determinar el esquema de mezclado óptimo. Para esto fue necesario realizar una revisión bibliográfica sobre los esquemas de refinación, del proceso de mezclado y de las corrientes que conforman la mezcla. Se empleó como herramienta matemática el Sistema de Modelación de Procesos Industriales: (PIMS) quien garantiza la distribución de las corrientes en los productos terminados de forma óptima ante una parada de dichas unidades. Los esquemas de mezclado de gasolina resultantes maximizan los ingresos de la Refinería ante los diferentes escenarios de trabajo.



Abstract

The gasoline as one of the products of greatest added value in an oil refinery, it is composed by a mixture of hydrocarbons, obtained by diverse refining processes such as distillation, cracking, catalytic reformation, alkylation and isomerization. Each of these streams with its physical chemical properties helps to achieve the quality of the product. The Camilo Cienfuegos´ oil refinery is immersed in an investment process with the aim to raise the indexes of economic profitability, for it has designed a deep conversion refining scheme, where the streams for the pool of gasoline from the new implemented processes, will increase in quantity and quality. It is of vital importance once designed the gasoline blending scheme, to keep its quality. With this purpose, and to guarantee the operational logistics and with it the economy of the process before process shutdown scenarios, this paper will initiate a research allowing determining the optimum blending scheme. For this it was necessary to perform a bibliographical review on the refining scheme, of the blending process and of the streams conforming the blending. There was used as mathematical tool the Processes Industrial Modeling System: (PIMS) who guarantees the distribution of the streams in the finished products in an optimal way when facing a shutdown of the above mentioned units. The resultant gasoline blending schemes maximize the income of the Refinery before the different work scenarios.



Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
1.1 Origen del petróleo.....	5
1.2. Refinación del petróleo.	6
1.3. Esquemas de refino.	6
1.3.1 Topping.....	6
1.3.2. Hidroskimming	7
1.3.3. Conversión media	9
1.3.4. Conversión profunda	10
1.4. Gasolina como producto de refinación.....	11
1.4.1 Características de las gasolinas.....	12
1.5 Herramientas matemáticas de programación lineal	16
1.5.1 LINDO.....	19
1.5.2 SOLVER.....	19
1.5.3 PIMS.....	20
CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS.	25
2.1 Descripción general del proyecto expansión de la refinería de petróleo “Camilo Cienfuegos”	25
2.2 Corrientes que conforman la mezcla.....	25
2.2.1 Características de los componentes que intervienen en la preparación de gasolinas.	26

2.3 Especificaciones de la gasolina que se desea producir	34
2.4 PIMS: Sistema de Modelación de Procesos Industriales	35
2.5 Funcionamiento del programa.....	35
2.5.1 Tablas del PIMS.	38
2.6 Algoritmo para la elaboración de los modelos.....	45
2.7 Procedimiento para la elaboración del modelo PIMS Caso Base	47
2.7.1 Datos a introducir	47
2.7.2 Acciones a seguir para la elaboración del modelo PIMS (CASO BASE).....	48
2.8 Modificación del caso base (todas las plantas en operación) ante diferentes escenarios de parada por emergencia.	52
2.8.1. Se modificará el modelo PIMS caso base, con el fin de ajustarlo a cada escenario de parada por emergencia.	53
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	55
3.1 Presentación del Caso Base.....	55
3.2 Escenarios de parada por emergencias.....	58
3.2.1 Caso sin MHC+HCK.....	58
3.2.2 Caso sin NHT1+REF.....	64
3.3 Esquemas de mezclado para cada caso	67
3.4 Análisis de la Función Objetivo o Margen de Refinación para cada caso.....	69
CONCLUSIONES.....	72
RECOMENDACIONES	74

BIBLIOGRAFÍA.....76

ANEXOS.....82



Introducción

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

Una de las premisas fundamentales adoptadas por el gobierno cubano, para lograr mejoras en el modelo económico, es expresada en el lineamiento 241 de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución, donde se plantea la necesidad de “Eleva la capacidad de refinación de crudo, alcanzando volúmenes que permitan reducir la importación de productos derivados” (PCC, 2011). En este esfuerzo las nuevas inversiones en la refinería de petróleo “Camilo Cienfuegos” juegan un importante papel.

La actividad económica de una refinería tiene como prioridad generar un beneficio que debe permitir cubrir los gastos fijos, la amortización, la inversión en la propia estructura física para mantener y adaptar, en cada momento, su esquema de refinación a la demanda en cantidad y calidad de su mercado. (Urpí, 2012)

El esquema tecnológico actual de la Refinería es *Hydroskimming*, este es uno de los más sencillos, posee unidades de destilación atmosférica, hidrofinación y reformación catalítica para obtener los siguientes derivados: Gas Licuado del Petróleo (GLP), Gasolina, Jet Fuel, Diesel y Fuel Oil. Este esquema casi nunca logra una conversión de más del 50%, salvo el caso de las refinerías que usan de materia prima los crudos ligeros o medios-ligeros, de bajo nivel de azufre. Es por eso, que en la mayoría de los casos aproximadamente la mitad del crudo se convierte en Fuel Oil, lo cual no es conveniente por su bajo valor en el mercado. Lo expuesto anteriormente hace que opere cerca del punto de equilibrio o en negativo, en dependencia de la correlación de precios entre el crudo y los productos, con un margen de refino más bajo que los esquemas de Conversión Media y Conversión profunda (Pérez Gálvez, et al., 2012).

Con el interés de mitigar esta situación la refinería de Cienfuegos se encuentra inmersa en un proceso inversionista que ha sido convenientemente concebido en etapas, en aras de alcanzar resultados económicos a corto plazo. Una de las ideas más atractivas, desde el punto de vista económico, es la implementación de un esquema de refinación con *Conversión Profunda*, el cual elevaría considerablemente los índices de rentabilidad económica, operando por encima del punto de equilibrio y obteniéndose márgenes de refino de valor suficientemente mayores a los actuales.

INTRODUCCIÓN

Con este nuevo esquema además de la destilación atmosférica se incorporarían procesos de vacío, craqueo catalítico y térmico, hidro craqueo, una unidad de coquificación retardada, tratamiento de productos y almacenamiento asociado. La gasolina constituye uno de los productos de mayor valor agregado en una refinería pero su calidad depende de las corrientes que conformen la mezcla y de las propiedades resultantes de la misma. La tendencia mundial se dirige a la producción de gasolinas con altos niveles de octanajes ya que con ello se logra una mejor combustión en los motores, menor producción de contaminantes como son los propios Hidrocarburos, el tóxico monóxido de carbono y mejores rendimientos en los automotores (Aguilera, 2009).

Términos y definiciones

Se define como margen de refino, el resultado económico de la actividad de refino teniendo en cuenta únicamente sus costes variables. La función económica del margen viene definida por la expresión:

Margen = Valor económico de las ventas – Coste económico de las compras – Costes de operación a variables.

Problema de Investigación

¿Cómo mantener la calidad de la gasolina ante diferentes escenarios de parada de las unidades de proceso sin comprometer la factibilidad económica de la operación?

Hipótesis de la Investigación

Si se proponen esquemas de mezclado ante diferentes escenarios de parada de las unidades de proceso se podrá garantizar la calidad de la gasolina sin comprometer la factibilidad económica de la operación.

Objetivo General

Proponer esquemas de mezclado para los componentes de la gasolina de manera que se cumplan sus especificaciones de calidad ante diferentes escenarios de parada de las unidades de proceso.

INTRODUCCIÓN

Objetivos específicos

1. Realizar una revisión bibliográfica sobre los esquemas de refinación, la gasolina y herramientas matemáticas de programación lineal para la obtención de un modelo óptimo de mezclado de la gasolina.
2. Caracterizar los componentes que intervienen en la preparación de gasolina para la conformación del esquema de mezclado.
3. Proponer el esquema de mezclado de la gasolina para el caso en que todas las unidades de proceso estén en operación.
4. Proponer los esquemas de mezclado de gasolina ante diferentes escenarios de parada de las unidades de proceso, utilizando el PIMS.
5. Analizar la calidad de la gasolina según los esquemas de mezclado propuestos.



Capítulo 1

CAPÍTULO 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

CAPÍTULO 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En el presente capítulo se realiza un estudio sobre los temas relacionados con los esquemas de refinación del petróleo y los productos de refinación, refiriendo en la gasolina las propiedades más importantes para lo cual se realiza una búsqueda bibliográfica referente a dichas temáticas. Además se identifican y describen algunas de las herramientas matemáticas que se emplean en el mundo para la conformación de modelos de mezcla de productos.

1.1 Origen del petróleo

El petróleo es una mezcla compleja de hidrocarburos que normalmente contiene cantidades significativas de azufre, nitrógeno y oxígeno, así como pequeñas concentraciones de níquel, vanadio y otros elementos. Atendiendo a la mayor proporción del tipo de hidrocarburos que conforman la mezcla se clasifican según su base: *parafínica*, *nafténica*, *asfáltica* y *mixta* (J. H. Gary et al., 2007).

Base parafínica: Las parafinas livianas dan buenos aceites para usos domésticos, pues no producen humo al quemarse y además tienden a resistir el calor. Las más pesadas contienen cristales blancos y blandos que al ser aislados y refinados forman lo que se conoce como cera parafinada.

Base nafténica: Generalmente contienen gran proporción de fracciones volátiles, es decir, componentes que se evaporan fácilmente.

Base asfáltica: Contienen además de carbono e hidrógeno, gran cantidad de azufre. En la destilación avanzada o más completa rinden una cantidad relativamente alta de alquitrán y asfalto.

Base mixta: Ningún crudo es netamente nafténico, asfáltico o parafínico en su composición química, sino que contienen proporciones de los otros tipos, caracterizándose por la predominancia del compuesto en mayoría. Sin embargo, ciertos crudos, tienen muy parejos estos contenidos, por lo que resulta imposible clasificarlos en una sola clase.

1.2. Refinación del petróleo.

El crudo no tiene aplicaciones prácticas tal y como se obtiene del yacimiento, sin embargo, sometido a las operaciones básicas de la industria de refinación, da lugar a un conjunto de productos de uso energético directo, y otros, que son materias primas de la industria petroquímica. De forma genérica pueden listarse los siguientes productos: GLP, Fuel Oil para hornos y calderas, gasolinas automotor y de aviación, disolventes, turbo combustible de aviación, diesel automotor, aceites lubricantes, gasóleos de calefacción, bunker para buques, coque combustible, betunes para la fabricación de asfaltos, azufre, extractos aromáticos y parafinas (Urpí, 2012). El rendimiento de cada producto de refinación dependerá del crudo procesado y del esquema de refinación utilizado y por lo general, los refinadores pretenden alcanzar los más altos rendimientos de productos ligeros como la nafta (Lapinski, 2008).

1.3. Esquemas de refino.

Se conoce como esquema de refinación, al conjunto de procesos que constituyen una refinería, básicamente pueden considerarse cuatro esquemas tipos.

- Topping o destilación atmosférica
- Hydroskimming que incluye hidrotratamiento
- Conversión media, con transformación de destilados de vacío en ligeros
- Conversión profunda, con transformación de residuos de vacío en destilados ligeros

Disponer de uno u otro esquema es función del entorno económico de la refinería, de su mercado y de sus posibilidades de aprovisionamiento de crudos. Cuanto más sofisticada sea ésta, mayor habrá sido el costo de su inversión y también los de operación. Como contrapartida el valor de los productos obtenidos es también superior.

1.3.1 Topping

Este esquema constituye la primera etapa del refino de un crudo, el objetivo es su vaporización parcial y separación por condensación a diferentes temperaturas. Se realiza en

CAPÍTULO 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

una columna de destilación o fraccionamiento en cuyo interior están dispuestas de forma ordenada una serie de “platos” en los que se recogen los líquidos condensados. Cada plato tiene una temperatura inferior a la del situado inmediatamente debajo por lo que esta es elevada en el fondo. La destilación se realiza a una presión ligeramente superior a la atmosférica.

Al no existir en este esquema procesos de refinación posteriores, la calidad de los productos obtenidos difícilmente cumplirá las exigencias del mercado. En el Anexo 1 se muestra la forma más común de este esquema. Dada la calidad de las fracciones de destilación directa, muy pocas refinerías tienen una estructura de este tipo, las que existen suelen responder a situaciones geográficas y de mercado muy específicas.

1.3.2. Hidroskimming

El esquema formado por la destilación atmosférica, una unidad de reformación y los hidrotratamientos se conoce como Hydroskimming (Leprince, 2000). En la Tabla 1.1 se muestran los sistemas que se deben añadir a estas dos unidades principales.

Tabla 1.1: Sistemas que conforman el esquema Hidroskimming.

Unidades	Sistemas a añadir			
Destilación Atmosférica	Estabilizadora	Concentración de gases	Fraccionamiento de GLP	
Reformación Catalítica	Hidrodesulfuración de nafta	Fraccionamiento de nafta reformada	Hidrogenación de reformado ligero para eliminar benceno	Endulzamiento o Merox de GLP y nafta

Por último hay que incluir también la unidad de aminas y la unidad de recuperación de azufre. En el Anexo 2 se representa de forma general este esquema.

CAPÍTULO 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El sistema de mezclado queda de la siguiente manera:

- Naftas: Normalmente estarán compuestas por nafta ligera y el excedente de nafta pesada que no haya alimentado a la unidad de reformación.
- Gasolinas: Estarán formuladas con la nafta reformada desbencenizada como componente básico y al que se le añadirá nafta ligera para ajustar densidad y butano para ajustar Presión de Vapor Reid (RVP). A medida que se ha ido endureciendo la calidad de las gasolinas y disminuyendo el nivel permitido en benceno y aromáticos, la posibilidad de fabricar gasolina comercial con un sistema Hydroskimmnig es prácticamente nula. El nivel de aromáticos de una nafta reformada, situado en el intervalo 65 % – 70 % vol., limita la contribución de este componente en la mezcla de gasolinas a valores del orden del 50 %. El resto de componentes deben tener alto octano y nulo contenido en aromáticos. Componentes como el isomerizado, el alquilato y éteres permiten el cumplimiento de estas especificaciones.
- Keroseno de aviación: Está constituido únicamente por el excedente de 1ra extracción desulfurada que no haya entrado a formar parte del gasóleo de automoción.
- Gasóleo de automoción: Con las actuales especificaciones de azufre y a menos que se procesen crudos de muy bajo contenido del mismo, la formulación de gasóleo no suele permitir la utilización directa de extracciones laterales de keroseno y destilados medios (2da y 3ra extracción) de destilación directa, de modo que su principal componente serán los destilados medios hidrosulfurados a los que se añadirá la 1ra extracción desulfurada, tanto para ajustar especificaciones (densidad, cetano y propiedades de frío) como para obtener un volumen mayor (según el precio del gasóleo y el keroseno de aviación).
- Fuel Oil: No se modifica la formulación respecto al esquema de Topping, será el residuo atmosférico fluidificado con 1ra extracción o con destilados medios. En ocasiones para ajustar el contenido de azufre pueden emplearse también los destilados medios hidrosulfurados.

CAPÍTULO 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La inclusión de un proceso de reformación catalítica de naftas y la eliminación de azufre en los destilados medios, vía hidrodesulfuración, permite la obtención de productos terminados para la mayoría de los crudos (Reza, 2011).

1.3.3. Conversión media

Si a un esquema de Hydroskimming se agrega una unidad de destilación al vacío y una unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado (FCC) se dispone de un esquema de conversión media.

Los resultados que podemos encontrar con respecto al Hydroskimming son los siguientes:

- Mayor producción de GLP al incorporarse las fracciones C_3 y C_4 olefínicas; en las refinerías integradas con un complejo petroquímico, el propileno puede recuperarse como tal.
- Mayor producción de gasolinas como consecuencia de la incorporación de la nafta de FCC, componente de un octano apreciable (93/91 RON/MON) pero con un elevado contenido de azufre (según el tipo de alimentación al FCC puede tener hasta 1000 ppm).
- Mayor producción de destilados medios, principalmente gasóleos, condicionada por la necesidad de fluidificación del residuo de vacío producido. El azufre y la viscosidad del residuo de vacío son muy superiores a las del residuo atmosférico y por lo tanto mayores las necesidades de fluidificación.

Con este esquema, el sistema de mezclado es el siguiente:

- Naftas: Como en el caso del Hydroskimming, estarán formadas por los excedentes de nafta ligera y pesada no utilizados en la formulación de gasolinas.
- Gasolinas: Se dispone de un componente nuevo: la nafta de FCC, junto con la nafta reformada constituirán los componentes básicos de la formulación de gasolinas, el resto de componentes se utilizarán para ajustar las especificaciones.
- Keroseno de aviación: Lo constituye el keroseno desulfurado excedente de la formulación de Gasoil auto.

CAPÍTULO 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

- Gasóleo de automoción: También en este caso se dispone de un nuevo componente: el Aceite de Ciclo Ligero (LCO) de la unidad de FCC que previamente debe haber sido hidrotratado para ajustar su contenido en azufre y aumentar su índice de cetano. El resto de componentes serán el keroseno y el diesel desulfurado.
- Fuel Oil: Desaparece de la formulación el residuo atmosférico (aunque puede existir algún excedente de la destilación a vacío si la capacidad de esta unidad no estuviera ajustada a la producción de residuo atmosférico en el Topping) y en su lugar aparece el residuo de vacío. Este producto tendrá mayor contenido de azufre, viscosidad y metales, lo que provoca la necesidad de una mayor utilización de fluidificantes, normalmente se utiliza el LCO, keroseno o 1ª extracción y diesel o 2ª extracción en la formulación de este producto.

Para mejorar el rendimiento de los destilados medios frente a la nafta, una opción es trabajar a menor severidad en la operación pero ello conlleva a un menor grado de conversión con un incremento de aceite decantado. Otra opción en el mismo sentido es trabajar con catalizadores menos activos. Desde el punto de vista de mejora de las propiedades de los productos obtenidos en el FCC existen dos posibilidades, pretratar la alimentación o bien el postratamiento de los productos. Con la incorporación de una unidad de FCC el esquema de conversión permite incrementar de manera apreciable los rendimientos en gasolinas y destilados a costa de los residuos.

1.3.4. Conversión profunda

Cuando a un esquema de conversión se le añade una unidad de Coquificación Retardada, se dispone de una conversión profunda, la cual tiene la ventaja añadida de eliminar la producción de Fuel Oil o reducirla al mínimo (De Abreu, 2007). En el Anexo 4 se muestra un ejemplo de este esquema. La calidad de los destilados de la coquificación es mejor que la de los de FCC en cuanto a su densidad y número de cetano mientras que el contenido de azufre dependerá de la alimentación. La nafta es de peor calidad, muy bajo número de octano y normalmente se hidrogena para enviarla a la mezcla de gasolina.

Con este esquema, el sistema de mezclado de productos finales es el siguiente:

CAPÍTULO 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

- Naftas: Como en el caso de conversión media, estarán formadas por los excedentes de nafta ligera y pesada que no han entrado a formar parte de la formulación de gasolinas, incrementadas en este caso por la nafta ligera de coquificación que, dado el carácter olefínico de la misma deberá ser hidrotratada previamente.
- Gasolinas: No varía respecto al esquema de FCC ya que el Coquizador no introduce nuevos componentes de mezcla.
- Gasóleo de Automoción: En este caso se dispone de un nuevo componente: el gasoil ligero de coque que previamente deberá hidrotratarse para ajustar su contenido de azufre. El resto de componentes serán el LCO de FCC, el keroseno y diesel desulfurados de crudo.
- Keroseno de aviación: Lo constituyen los excedentes del keroseno desulfurado no utilizado en la formulación de gasóleo de automoción.
- Fuel Oil: Desaparecen de la formulación los residuos atmosféricos y de vacío, siempre que la capacidad instalada de las unidades de destilación al vacío y del coquizador sea la adecuada. Los únicos componentes que forman la mezcla de fuel será el aceite decantado de FCC y el gasóleo pesado de coquificación.

1.4. Gasolina como producto de refinación

Gasolina, también llamada fuel (Estados Unidos y Canadá), o petrol (Gran Bretaña) o benzine (Europa) es el resultado de una mezcla de distintos componentes obtenidos en los procesos de refinación (N. Pasadakis, et al., 2006) los cuales constituyen hidrocarburos desde 4 hasta 11 átomos de carbono, que destilan entre 25 - 220 °C y que caen dentro de tres tipos generales que son: parafinas, olefinas y aromáticos (G. Speight, 2006). Pueden contener además compuestos oxigenados como etanol en proporciones variables y un contenido muy bajo de azufre y nitrógeno, del orden de las partes por millón. Es normal que se le incorporen aditivos de estabilidad, antidetonantes, antihielo, detergentes, etc, pero para obtener un buen rendimiento en una gasolina se deben cumplir tres condiciones:

CAPÍTULO 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

- Volatilidad adecuada para asegurar buena mezcla con el aire, es decir una adecuada presión de vapor (RVP) para facilitar el arranque del motor a la temperatura más baja que se espera del servicio (Gruia, et al., 2006).
- Composición química adecuada para evitar la detonación del vapor de gasolina en el cilindro. La gasolina mientras mayor es el número de Octano mayor es la relación de compresión del motor. Tiempo atrás se empleaba el Tetraetilo de Plomo para incrementar el Octanaje, luego se utilizó el Metilterbutil éter (MTBE) y hoy en día alquilatos, metanol y etanol.
- La ausencia de compuestos de azufre en todas sus formas, ya que, constituyen sustancias corrosivas y negativos para el ambiente y la salud una vez que combustionan. Otros productos indeseables en las gasolinas son las poliolefinas que se convierten en polímeros gomosos (A. Vian Ortuño, 1997).

1.4.1 Características de las gasolinas.

Su principal especificación es el número de octano, existen otras, que se relacionan a continuación: azufre, Presión de Vapor de Reid (RVP), densidad, volatilidad y Período de Inducción.

- ✓ Número de octano

Es la medida de la resistencia de la gasolina a la detonación y es un factor determinante en la calidad del producto (Ali, 2014). Una gasolina con una calidad antidetonante inferior al requerimiento del vehículo provoca el pistoneo del motor, el cual lo afecta negativamente en términos de pérdida de potencia y posible daño al mismo. El octanaje se expresa en términos de RON, MON o DON, cuyos valores son indicativos de la calidad antidetonante del producto, relativos a combustibles de referencia (Parkash, 2003). El análisis del RON (Research Octane Number/ Número de Octanos de Investigación) de una gasolina consiste en determinar el número de octano, en una prueba donde se hace pasar la muestra a través de una máquina de octanaje, sometida a condiciones de baja severidad, mientras que el análisis del MON (Motor Octane Number/ Número de Octanos del Motor) se realiza en condiciones de

CAPÍTULO 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

alta severidad. El DON (Road Octane Number/ Número de Octanos de Carretera) es el promedio del RON y el MON. Se concluye que mientras más alto es el RON, MON o DON, mejor es la calidad de la gasolina y por ende se obtiene un mayor rendimiento en un motor de combustión (James Gary, 1979)

✓ Volatilidad

La volatilidad es el factor determinante para indicar la tendencia de un hidrocarburo a producir vapores potencialmente explosivos. Es de importancia crítica tanto para las gasolinas de motor como las de aviación, ya que afecta el encendido, el calentamiento y la tendencia al bloqueo de vapor en condiciones de operación a temperaturas altas, altitudes elevadas o en ambas (Valbuena, 2012). Esta propiedad debe ser cuidadosamente balanceada para garantizar un compromiso óptimo entre los diferentes aspectos y el funcionamiento de un motor (ASTM, 1997).

La volatilidad de la gasolina está relacionada con tres propiedades (CORPOVEN, 1999):

✓ Rango de Ebullición

Puesto que la gasolina es una mezcla de muchos hidrocarburos, ella no tiene un punto de ebullición simple, es más bien, de rango amplio. En el laboratorio se usa el método de Destilación para determinar el rango o amplitud de ebullición de los productos del petróleo. La tendencia a vaporizar está caracterizada por la determinación de una serie de temperaturas en las cuales a determinado porcientos se evaporan, y se utilizan principalmente las temperaturas en las cuales ocurre el 10, 50 y 90 % de evaporación.

✓ RVP

Es la presión que alcanza un producto determinado en un volumen de aire cuatro veces superior al del líquido a 38 °C. La prueba RVP indica la tendencia lineal hacia la vaporización, mientras que la prueba de destilación proporciona una medida de la extensión que alcanzará la vaporización de un determinado conjunto de condiciones.

CAPÍTULO 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La RVP provee una aproximación de la presión de vapor absoluta de una muestra ligeramente vaporizada a 38 °C, sin embargo, no es equivalente a la presión de vapor real, ya que esta tiene una ligera evaporación de la muestra y la presencia de vapor de agua y aire en el espacio confinado. En general, las presiones de vapor real son mayores que los RVP (Noriega, 2011).

✓ Índice de bloqueo de vapor (IVB)

Es una medida de la tendencia de una gasolina a generar excesivos vapores en una línea de combustible, causando desplazamientos del combustible líquido en sentido contrario al flujo y la subsiguiente interrupción de la operación normal del automóvil.

Relación entre volatilidad y rendimiento

En términos generales, aplican las siguientes relaciones entre volatilidad y rendimiento (Noriega, 2011):

- Altas presiones de vapor y temperaturas bajas para el 10% evaporado, conducen a un arranque fácil en climas fríos. Al contrario en climas cálidos, esto conduce a bloqueo de vapor y a formación de mucho vapor en los tanques de combustible y en los carburadores. Aunque la presión de vapor es un factor importante en la formación de la cantidad de vapor, ella sola no es un buen índice. Un índice mejor para medir el rendimiento de bloqueo por vapor reactivo en los modelos de carros corrientes, es la temperatura a la cual se logra una relación vapor/líquido igual a 20, mientras menor sea la temperatura a la que esto se logra mayor será la tendencia al bloqueo por vapor.
- La temperatura a la cual se evapora el 50 %, es una indicación muy importante de facilidad de calentamiento y de buena aceleración, en condiciones de arranque en clima frío. En cuanto menor sea esta temperatura, mayor será el rendimiento obtenido.
- La temperatura a la cual se evapora el 90% y el punto final de ebullición, indican la cantidad de componentes de punto de ebullición relativamente alto en la gasolina. Una temperatura alta del 90% evaporado está usualmente asociada con componentes de densidad y número de octanos mayores, lo que redundará en economía de combustible mejorada y en resistencia al golpeteo. Si las temperaturas del 90% evaporado y el

CAPÍTULO 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

punto final de ebullición son demasiado altas, ello puede causar distribución pobre de la mezcla en el múltiple de admisión y en las cámaras de combustión, también depósitos excesivos en esta última.

✓ Gravedad °API

"Gravedad" es un término utilizado para denotar la densidad de las gasolinas; hay dos métodos comúnmente utilizados para expresarla: la gravedad específica o densidad relativa que es la relación entre la masa de un volumen dado de gasolina a una temperatura determinada (usualmente 15,6 °C) y la masa del mismo volumen de agua a igual temperatura; y la gravedad API (Instituto Americano de Petróleo) que indica la relación correspondiente de peso específico y fluidez de la gasolina respecto al agua (ASTM, 1997).

Para los efectos del control de calidad de los derivados de petróleo en una refinería, se utilizan las siguientes correlaciones: A medida que aumenta la gravedad específica, el punto de ebullición se hace más alto y/o el producto se hace menos parafínicos (Noriega, 2011).

En las gasolinas que tienen igual rango de ebullición, una gravedad API baja, con frecuencia está relacionada con un mayor número de octano. En las fracciones de petróleo que van a ser sometidas a procesos de desintegración, una gravedad API alta es indicio de una más fácil y eficiente operación para producir grandes cantidades de gasolina. Mientras más alta sea la gravedad API de un aceite combustible, más bajo será su poder calorífico.

✓ Contenido de azufre

El contenido de azufre total (expresado como por ciento en peso) es indicativo de la posibilidad de formación de óxidos de azufre durante la combustión y a partir de los mismos de ácido sulfúrico, que ataca u oxida a los elementos con los que entra en contacto. Existen diversos métodos de determinación, el más extendido es el de Espectrografía por Rayos-X. Las Normas ASTM D 1266 (Método lámpara), ASTM D 2622 (Método espectrografía por rayos-X), ASTM D3120 (Método Microcolumbométrico oxidativo), ASTM D 5453 (Método fluorescencia ultravioleta), permiten determinar esta característica.

CAPÍTULO 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La especificación permitió un contenido máximo en azufre de 150 ppm hasta el 2005 y a partir de entonces se restringió su contenido hasta 50 ppm, pero en muchos países debe coexistir en el mercado productos con 10 ppm. A medio plazo, este último valor parece que será el único aceptado. Desde el punto de vista de formulación, solamente hay dos componentes con valor de azufre superiores a 50 ppm, la Nafta de FCC y la Nafta Virgen Ligera.

✓ Densidad

La densidad es una propiedad que adquiere relevancia por su incidencia en varios aspectos, por ejemplo, en los modernos sistemas de inyección la masa de combustible inyectada en la cámara de combustión depende de esta propiedad, ya que pueden producirse variaciones de la relación aire/combustible que deben ser reguladas por un sistema de control adecuado; además es un indicativo del poder calórico y se utiliza como variable de control en los procesos de producción.

Puesto que la densidad de la gasolina se mide a 15,6 °C es un factor importante en las transacciones comerciales, se debe realizar la corrección necesaria de volumen en función de la temperatura en que se encuentra el producto a vender, normalmente a ambiente.

La especificación de densidad se sitúa entre un mínimo de 0,72 ton/m^3 y un máximo de 0,77 tn/m^3 . El componente principal de la formulación de una gasolina es la nafta reformada, cuya densidad es del orden de 0,79 a 0,82 tn/m^3 (Abdullah, 2004). Para ajustar la densidad de la mezcla es necesaria su dilución con componentes más ligeros como nafta virgen ligera $\sim 0,67 \text{tn/m}^3$, isomerizado $\sim 0,70 \text{tn/m}^3$ y otros.

1.5 Herramientas matemáticas de programación lineal

La programación lineal (PL) además de ser una técnica de optimización es un procedimiento matemático por el cual se puede resolver el problema de cómo distribuir recursos escasos, con medios limitados, de tal forma que se obtengan ganancias máximas al mismo tiempo que se cumplan con los requisitos exigidos. En términos matemáticos, un problema de programación lineal consiste simplemente en un sistema indeterminado de ecuaciones lineales simultáneas, el cual representa las condiciones del problema, y una función lineal que expresa el objetivo

CAPÍTULO 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

del problema. El sistema puede igualmente ser de inecuaciones; puede estar formado por igual o menor número de variables que de ecuaciones, si es linealmente dependiente (A. Pietri, 1970). El procedimiento empleado para resolver problemas de programación lineal consiste en un proceso iterativo, basado en un algoritmo pre-programado, examinando varias soluciones hasta seleccionar el conjunto de variables y sus valores positivos que lleven al máximo, o al mínimo si es el caso, el valor de la función objetivo. Debido a la complejidad del procedimiento, para la solución de problemas de programación lineal se hace indispensable el uso de computadores digitales.

Se debe enfatizar que la programación lineal es sólo un instrumento de ayuda, el cual, basándose en la información suministrada, puede determinar cuál es el mejor uso de los ingredientes y equipos disponibles para satisfacer las condiciones especificadas.

Mediante el uso de la programación lineal se facilita la toma de decisiones en aquellos problemas donde intervienen un gran número de variables, así como también permite analizar numerosos casos. Si los datos que conforman el problema de programación lineal poseen alguna incertidumbre, no se debe pretender que la solución sea mejor que la información contenida en los datos del problema.

Para el caso específico de las gasolinas, objeto del presente estudio, los parámetros a optimizar para obtener modelos de mezclado más confiables son principalmente: RVP, concentración de azufre, contenido de aromáticos, olefinas, MON, RON y benceno.

Para formular un modelo de optimización se debe definir los siguientes componentes:

- Variables de decisión: Representan las alternativas de decisión del problema,
- Restricciones: Conjunto de valores que pueden tomar las variables de decisión,
- Función objetivo: Representa lo que se desea optimizar (ganancia).

Se debe tener en cuenta que tanto la función objetivo como las restricciones, presentan una estructura lineal, además de que deben ser proporcionales y aditivas. La primera requiere que la contribución de cada variable de decisión sea directamente proporcional al valor de la

CAPÍTULO 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

variable y la segunda estipula que la contribución total de todas las variables en la función objetivo y sus requerimientos en las restricciones sean la suma directa de las contribuciones o requerimientos individuales de cada variable (A. Taha, 2014). En cuanto al algoritmo de solución el más utilizado es el método Simplex, el cual permite ir mejorando la solución en cada paso. En una refinería un modelo (LP) representa la operación mediante ecuaciones lineales y restricciones del tipo $<$, $>$ ó $=$, donde el número de variables es mayor que el número de ecuaciones dando como resultado infinitas soluciones factibles pero solo una solución óptima que reportará un beneficio máximo. La función objetivo engloba los ingresos debido a las ventas de los productos de refinación y los costos asociados a la compra de materia prima y los insumos necesarios para la operación de las unidades.

$$F.O \left(\frac{\$}{\text{día}} \right) = \text{Ventas} \left(\frac{\$}{\text{día}} \right) - \text{Costos} \left(\frac{\$}{\text{día}} \right) \quad (\text{Ec. 1.2})$$

o lo que representa lo mismo:

$$F.O = \sum_{j=1} (m_j V_j) - \sum_{i=1} (m_i C_i) \quad (\text{Ec. 1.3})$$

Dónde:

$F.O$: Ecuación de la función objetivo ($\$/\text{día}$)

m : Flujo de corrientes ($\frac{\text{Tons}}{\text{día}}$ o $\frac{\text{Bbls}}{\text{día}}$)

j : Productos de Refinación

V : Precios de venta ($\frac{\$}{\text{Tons}}$ o $\frac{\$}{\text{Bbls}}$)

i : Insumos

C : Costos de todos los insumos (materia prima y servicios) ($\frac{\$}{\text{Tons}}$ o $\frac{\$}{\text{Bbls}}$)

CAPÍTULO 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Resolver manualmente un modelo en una refinería implica cálculos realmente tediosos por la inmensa cantidad de variables y de ecuaciones que posee el proceso de refinación. Para resolver estos problemas con rapidez existen herramientas computacionales: PIMS, SOLVER, LINDO, QSB, SIAN, entre otras. En los subepígrafes siguientes se explica de forma general las herramientas que, al juicio del autor, poseen mayor importancia.

1.5.1 LINDO

Optimización Linear, Interactiva y Discreta (LINDO) es una herramienta simple para formular problemas lineales y no lineales, resolverlos y analizar su solución. Proporciona el mejor resultado: la ganancia máxima, o el costo mínimo. A menudo estos problemas involucran el uso más eficiente de los recursos. Permite expresar un problema de una manera muy similar a la anotación matemática normal pudiendo también, expresar una serie entera de restricciones en una declaración compacta. Esto lleva a modelos que son mucho más fáciles de mantener.

Otro aspecto es la sección de los datos, que le permite aislar los datos de la formulación del modelo, de hecho los puede leer de una hoja de cálculo separada, base de datos, o archivo de texto. Con datos independientes del modelo, es mucho más fácil hacer cambios, y hay menos oportunidad de error cuando se realiza el modelo.

1.5.2 SOLVER

Es un paquete contenido en Microsoft Excel que optimiza los modelos sujetos a restricciones, como los modelos de programación lineal, la cual permite obtener soluciones óptimas para un modelo determinado y dependiendo de los niveles de organización se tomen las mejores decisiones para resolver los conflictos de una empresa. Consiste en dos programas: el primero es un programa de Visual Basic para Excel el cual traduce el modelo escrito en la hoja de cálculo en una representación interna al segundo programa que reside en la memoria fuera de Excel, este realiza la optimización y luego devuelve al primero la solución encontrada para actualizar la hoja de cálculo (C. Azofeifa, 2003).

En términos generales, la idea de SOLVER es tener una celda que corresponda a la función objetivo del programa, esta puede ser de cualquier tipo, lineal o no lineal, contener funciones

CAPÍTULO 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

trigonométricas, probabilísticas o de cualquier otro tipo: esta celda, estará en función de otras que representan a las variables de decisión cuyo valor será cambiado por SOLVER para ajustarse a la definición del objetivo dentro de los límites que establezcan las restricciones que se deben plantear en otras celdas (J. Marín, 2006).

SOLVER utiliza diversos métodos de resolución, dependiendo del problema que tenga que resolver:

- Para los problemas de Programación Lineal utiliza el método simplex.
- Para problemas lineales enteros utiliza el método de ramificación y acotación implantado por John Watson y Dan Fylstra de Frontline Systems, Inc.
- Para problemas no lineales utiliza el código de optimización no lineal desarrollado por Leon Lasdon, de la Universidad de Austin (Texas) y por Allan Waren, de la Universidad de Cleveland.

1.5.3 PIMS

El PIMS es un sistema computarizado para formular modelos individuales de refinerías, complejos petroquímicos y otras facilidades de la industria de procesos, mediante sistema de ecuaciones lineales. Este programa emplea la técnica de programación lineal para optimizar la operación y diseño de la industria de procesos a fin de maximizar ganancias o minimizar costos. PIMS es licenciado por la compañía ASPEN-PIMS, perteneciente a la tecnología ASPEN. Esta compañía ofrece una serie de paquetes de software que cubren una gran variedad de aplicaciones en el área de programación matemática para la industria petrolera (E. Verruschi, 2009).

Algunas de las aplicaciones del PIMS en las refinerías son las siguientes (Bechtel Corporation, 1995):

- Evaluación de crudos y otros insumos: ¿Qué crudo se debe comprar ya qué precio?
- Plan de operaciones - Procesando una dieta: ¿Qué productos se deben producir y cómo se mezclan para maximizar beneficios?

CAPÍTULO 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

- Planes de inversión a mediano y/o largo plazo: Capacidad de la expansión o planta nueva. ¿Es rentable?
- Planificación de paradas de plantas: ¿Cuál es el impacto económico de una parada de planta?, ¿Se debe programar?
- Impacto de nuevos mercados o restricciones ambientales: ¿Cuál oportunidad de mercado es más beneficiosa?
- Políticas de inventario.

La data introducida en el PIMS se encuentra en forma de tablas, agrupadas en seis renglones de acuerdo a la función que cumplen:

- Insumos/Productos
- Destilación de Crudos
- Unidades de Procesos/Mezclas
- Mezclas de Componentes
- Misceláneos
- Técnicas de Revisión.

En la figura 2.2 se presentan los nombres de las tablas del PIMS para cada renglón.

Supply/Demand	Distillation	Blending	Recursion	Miscellaneous	Submodels
- <u>Buy</u>	- <u>Assays</u>	- <u>Blends</u>	- <u>Pguess</u>	- <u>Groups</u>	- <u>Caps</u>
- <u>Sell</u>	- <u>Crdcuts</u>	- <u>Blmix</u>	- <u>Upool</u>	- <u>Rows</u>	- <u>Submods</u>
- <u>Utilbuy</u>	- <u>Crddistl</u>	- <u>Blnnaph</u>		- <u>Ratio</u>	- <u>SGSU</u>
- <u>Utilsell</u>		- <u>Blrest</u>		- <u>Case</u>	- <u>SNH1</u>
		- <u>Blnspec</u>		- <u>Pcalc</u>	- <u>SNH2</u>
		- <u>Wspecs</u>			- <u>SREF</u>
					- <u>SCCR</u>

Figura 2.2: Clasificación de las tablas del PIMS. **Fuente:** Corpoven S.A., 1993

CAPÍTULO 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

a) Insumos/Productos.

Este renglón es utilizado para indicar cuales componentes y servicios pueden ser comprados y vendidos por el modelo, el precio de venta y costos de dichos componentes, cualquier limitación en las cantidades a comprar o vender y a su vez indicar si los componentes son comprados o vendidos en base gravimétrica o volumétrica.

b) Destilación de Crudos

Este renglón solamente aplica a refinerías de petróleo. Las tablas que lo conforman son utilizadas por PIMS para simular automáticamente los rendimientos de las unidades de destilación atmosférica y/o al vacío a partir de los ensayos de cada uno de los crudos a procesar.

c) Procesos/Mezclas

Este renglón le brinda al usuario la oportunidad de construir las diferentes unidades de procesos que conforman una determinada industria. Así mismo, le permite simular las mezclas de productos intermedios que puedan tener lugar en un determinado tanque de almacenamiento. Estos submodelos normalmente incluyen balance de materiales, capacidades y consumo de servicios, pero también podría incluir balances por componentes así como una gran variedad de alimentaciones y condiciones de operación.

d) Mezcla de Componentes

Para la mezcla de componentes, PIMS ofrece dos métodos. En el primero el usuario establece la formulación de los productos y en el otro PIMS se encarga de determinar las formulaciones óptimas que mejor satisfagan las especificaciones a cumplir.

e) Misceláneos

Las tablas agrupadas en este renglón surgen como consecuencia de cierta información suministrada en los renglones anteriores. Dicha información podría ser unidades en las que se expresan las corrientes u opciones específicas de los modelos.

f) Técnicas de recursión.

CAPÍTULO 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Las tablas de este renglón controlan los procesos de recursión considerados por PIMS para solucionar modelos que involucren problemas no lineales,

Para la realización de este trabajo debido a que es un programa diseñado para la industria petrolera y en especial a la optimización de procesos de mezclado de productos, se decide trabajar el PIMS como herramienta matemática para conformar el esquema de mezclado de gasolina.

Conclusiones parciales

1. La transformación del esquema de refinación actual de la refinería de petróleo Camilo Cienfuegos hacia un esquema de conversión profunda elevará el margen de refino y la rentabilidad del proceso.
2. La gasolina es el producto de una mezcla y su calidad depende de las características de las corrientes que la conformen y de las propiedades resultantes de la misma.
3. El programa de optimización PIMS, es un medio económico y eficiente para calcular y optimizar las mezcla de gasolina a utilizar.



Capítulo 2

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS.

En este capítulo se realiza una presentación de la refinería de petróleo “Camilo Cienfuegos” específicamente de las pretensiones del Proyecto Expansión. Se caracterizan las corrientes que integran la mezcla. Se detalla la estructura del programa empleado y de las tablas que deben ser modificadas. Se establece además una metodología para la conformación del modelo PIMS en el caso en que todas las unidades de proceso están en operación (Caso Base) y para diferentes escenarios de paradas de las unidades de proceso, modificando el Caso Base.

2.1 Descripción general del proyecto expansión de la refinería de petróleo “Camilo Cienfuegos”.

La Expansión de la refinería “Camilo Cienfuegos” tiene el propósito de aumentar las capacidades actuales de procesamiento de petróleo crudo con procesos de conversión profunda, que incrementarán la eficiencia económica a través de la generación de productos de mayor valor comercial. De esta forma también se podrán satisfacer las necesidades del mercado nacional y se exportarán al mercado internacional los excedentes que se produzcan; con el fin de apoyar la política de integración energética de los países del ALBA.

2.2 Corrientes que conforman la mezcla

En el proceso de mezclado de gasolina del Proyecto Expansión de la refinería de petróleo: “Camilo Cienfuegos” se tienen previstos los siguientes componentes:

- Nafta polimerizada
- Nafta Ligera y pesada hidrocraqueada.
- Nafta Craqueada
- Isomerizado
- Reformado pesado del CCR + Reformador existente.
- Nafta Liviana

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS.

2.2.1 Características de los componentes que intervienen en la preparación de gasolinas.

Las calidades de los componentes que conforman la mezcla de gasolina fueron tomadas de los reportes de las bases de diseños y libros de proceso de las unidades, emitidos por el licenciante de la unidad, con el objetivo de ingresarlas a la base de datos del simulador.

2.2.1.1 Reformado pesado

Este reformado procede de la unidad de reformación catalítica continua (CCR) y de la unidad de Reformación semi regenerativa existente.

La unidad de Reformación Catalítica Continua (CCR) cuyo objetivo es incrementar el número de octano de los cortes de nafta para ajustarlos a la manufactura de gasolina, producir aromáticos e hidrógeno (M. A Aizeng, et al., 2013). El CCR convierte las moléculas de naftenos, contenidas en la nafta, en aromáticos con mucho mayor número de octano (hasta RON 100 o aún mayor). La reacción se inicia por un catalizador bajo presión de alrededor de 20.4 kg/cm² y a una temperatura de alrededor de 520 °C. La nafta hidrotratada libre de azufre se pasa a través de los reactores verticales en serie en los que tiene lugar la reacción. El reformado producido será el componente base del pool de gasolina.

Al convertir las especies de naftenos en aromáticos produce de 2 a 4 % en peso de hidrógeno. El último es un importante producto que es generalmente usado como reactivo en las unidades de hidrotratamiento de nafta e hidrodesulfuración de gasoil para cubrir las necesidades de hidrógeno. Esta unidad posee una tecnología regenerativa que no es más que la regeneración continua del catalizador, manteniéndolo a un nivel óptimo de actividad y selectividad.

Tabla 2.1: Especificaciones de la Nafta Reformada pesada. **Fuente:** Libro de procesos de la unidad Reformación Catalítica, 2011

Propiedad	Especificación
RON	101
MON	91

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS.

Benceno (% vol)	0.50
Aromáticos (% vol)	76.50
RVP, kg/cm2	< 0.10

La unidad de reformación catalítica semi regenerativa existente, tiene como objetivo aumentar el octanaje del corte de nafta (70 – 180°C) proveniente de la destilación atmosférica que es hidrofinado en la unidad de Hidrotratamiento de nafta (NHT1) para incorporarlo como componente de la gasolina. Opera a presiones entre 18 – 20 atm y de 450- 520 ° C y posee una regeneración semi continua, lo que la pone en desventajas con la unidad de reformación continua, ya que su catalizador recupera la actividad tras una parada para la regeneración.

Tabla 2.2: Especificaciones de la Nafta Reformada. **Fuente:** Datos de laboratorios.

Propiedad	Especificación
RON	94
MON	83
Benceno (% vol)	6.83
Aromáticos (% vol)	58
RVP, kg/cm2	0.7

2.2.1.2 Nafta polimerizada

La reacción fundamental en el proceso de esta unidad es la oligomerización profunda (combinación de moléculas similares) de olefinas ligeras C₃/C₄ tratadas previamente en las secciones precedentes (Sección de Hidrotratamiento y Sección de Reacción). Esta reacción se lleva a cabo sobre un catalizador de tipo sílice-alúmina que permite una amplia flexibilidad hacia el punto de ebullición de los productos. La unidad funciona a alta temperatura y alta presión para obtener destilados de poligasolina (Gasolina), destilados medios (diesel), propeno y buteno refinado.

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS.

La mezcla del GLP dulce y el reciclo C₃/C₄ entra como alimentación al primer reactor de oligomerización donde intercambia calor con el efluente del último reactor mediante un intercambiador, luego con vapor a presión media y pasa entonces al 2do y 3er reactor. El efluente del primer reactor es enfriado para garantizar la temperatura de entrada al reactor, lo mismo para los efluentes del segundo reactor. El efluente del tercer reactor se dirige a la sección de destilación, donde son enfriados con el precalentamiento de la alimentación de oligomerización.

En esta sección los efluentes entran en el desbutanizador donde se separa el corte C₃/C₄ que no reaccionaron. El tope del desbutanizador es sub-enfriado a través del condensador de aire y por el enfriador con agua. El corte C₃/C₄ entra en el tambor de reflujo del desbutanizador y toma las siguientes direcciones: una corriente se dirige al tope de la columna para garantizar las condiciones de operación en esa zona, otra corriente va hacia el tambor de alimentación para diluir la carga de alimentación y la tercera corriente se dirige hacia la despropanizadora.

Los oligómeros son recuperados en el fondo del desbutanizador y son enviados al Splitter de gasolina, donde son separados los destilados medios y la poligasolina producidos por la reacción de oligomerización. Esta columna opera al vacío para limitar la temperatura en el fondo debido a la presencia de oligómeros. La poligasolina del fondo del tambor de reflujo se dirige una parte al tope de la columna y la otra después de añadir un agente anti-polimerizante es bombeado hacia almacenamiento.

Tabla 2.3: Especificaciones de la corriente de polinafta. **Fuente:** Libro de procesos de la unidad de Oligomerización, 2011.

Propiedad	Especificación
Azufre total: ppm en peso	10 máx
RVP: kg/cm ²	0.30 máx
RON	98.3 mín
MON	83.8 mín
Aromáticos (% vol)	1 máx

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS.

Olefinas (% vol)	95 mín
Benceno (% vol)	0.1 máx

2.2.1.3 Nafta Craqueada

El proceso de craqueo catalítico es otro proceso de conversión que intensifica la paridad de los productos mediante la transformación de las moléculas de alimentación pesada en más ligeras. El proceso fue desarrollado durante la Segunda Guerra Mundial como una “Máquina de hacer gasolina” para motores militares. La producción de gasolina en la alimentación depende de las condiciones de operación y normalmente varía de 40 % a 50%.

La alimentación se contacta con el catalizador circulante a baja presión y alrededor de 500 °C, y el rango entre el catalizador circulante y la alimentación es alrededor de 5. Cuando la alimentación líquida se contacta con el catalizador caliente, este se calienta, vaporiza y craquea para producir gas, gases licuados líquidos, gasolina, aceite pesado de recicló, aceite ligero de recicló, arcillas y coque. El último (alrededor de 5% en la alimentación) se quema en la unidad propiamente dicha, proporcionando así el calor requerido para calentar, vaporizar y craquear la alimentación.

Las reacciones de calentamiento, evaporación y craqueo tienen lugar en el tanque del reactor donde el catalizador se cubre con el coque. El catalizador es entonces circulado hacia el tanque de regeneración, que opera a valores cercanos a los 700 °C, se inyecta aire al regenerador y se quema el coque para dejar un catalizador regenerado que es nuevamente adecuado para nuevas reacciones de craqueo. El catalizador se hace de silicio, partículas de alúmina, enriquecida con zeolita, con un tamaño de partícula promedio entre 25 y 100 µm. Este se mantiene fluidizado o transportado por aire, vapor o hidrocarburos. Las especificaciones de calidad de esta corriente se muestran a continuación en la Tabla 2.3:

Tabla 2.4: Especificaciones de calidad de la corriente Nafta Craqueada. **Fuente:** Libro de procesos de la unidad de Craqueo Catalítico, 2011.

Propiedad	Especificación
TBP rango de corte: °C	C ₅ -160
Azufre total: ppm en peso	10 máx
RON	91 mín
MON	80.5 mín
Aromáticos (% vol)	20 máx
Olefinas (% vol)	38.4

2.2.1.4 Nafta ligera y pesada hidrocraqueada

El hidrocraqueo es un proceso que combina el craqueo catalítico y la hidrogenación. Las alimentaciones más pesadas se craquean en presencia de hidrógeno para producir productos más deseables. El proceso tiene lugar a alta presión, un catalizador, e hidrógeno. El hidrocraqueo es utilizado para alimentaciones que son difíciles de procesar por craqueo catalítico, ya que estas se caracterizan normalmente por un alto contenido de aromático policíclico y/o altas concentraciones de azufre y compuestos de nitrógeno que son envenenadores del catalizador.

El proceso de hidrocraqueo depende en gran medida de la naturaleza de la alimentación y las proporciones relativas de las dos reacciones que competen: hidrogenación y craqueo. La alimentación pesada se convierte en productos más ligeros bajo un amplio rango de presiones muy altas. (81.58 a 183.50 kg/cm²) y temperaturas bastante altas (alrededor de 400 °C), en presencia de hidrógeno y catalizadores especiales. Comparando con el craqueo catalítico que opera alrededor de 500 °C, el hidrocraqueo trabaja a temperatura relativamente baja y alta presión parcial de hidrógeno. Esto limita los depósitos de carbono en el catalizador y consecuentemente permite que sea usada una tecnología de lecho fijo con una corrida de circulación de uno a tres años. No solamente las moléculas pesadas son craqueadas en más pequeñas, sino además, el hidrógeno a un rango de carbono se aumenta en este proceso. Cuando la alimentación tiene un alto contenido de parafina, la primera función del hidrógeno es prevenir la formación de compuestos aromáticos policíclicos. Otro papel importante del

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS.

hidrógeno en este proceso es reducir la formación de alquitrán y prevenir la formación de coque en el catalizador. La hidrogenación también sirve para convertir los compuestos de azufre y nitrógeno presentes en la alimentación en sulfuro de hidrógeno y amonio.

En la primera etapa, la alimentación precalentada consistente en Gasóleo de Vacío (GOV) de la unidad de Destilación al Vacío (VDU) y el Gasóleo potencialmente pesado de la unidad de coquificación retardada (UCR), se mezcla con el hidrógeno recirculado y se envía al reactor de la primera etapa, donde el catalizador de hidrotratamiento convierte los componentes del azufre y nitrógeno en sulfuro de hidrógeno y amonio. También ocurre un hidrocrqueo limitado. El efluente de esta etapa es enviado a la segunda etapa donde tiene lugar el hidrocrqueo. La parte de la nafta es primeramente separada para eliminar el H₂S, que más tarde será absorbido en el absorbedor de aminas, entonces estabilizada y separada en nafta ligera y nafta pesada. La sección de fraccionamiento es alimentada con nafta pesada, keroseno, diesel y aceite no convertido.

La operación del fraccionador es adaptada a los productos deseados (componentes de gasolina, jet fuel y gasóleo). Un material del rango del keroseno puede ser extraído como un producto colateral separado, incluido en el corte del fraccionador de gasóleo. La calidad de la nafta ligera se muestra en la Tabla 2.5 y la nafta pesada en la Tabla 2.6:

Tabla 2.5: Especificaciones de calidad de la nafta ligera. **Fuente:** Libro de procesos de la unidad de Hidrocrqueo, 2010.

Propiedad	Especificación	
	SOR	EOR
TBP punto de corte: °C		15-70
Gravedad Específica	0.68	0.68
Contenido de Azufre (ppm en peso)		< 10
PONA		89/0/10/1
RON		79
MON		77

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS.

RVP(kg/cm ³)	0.92	0.91
--------------------------	------	------

Tabla 2.6: Especificaciones de la nafta pesada. **Fuente:** Libro de procesos de la unidad de Hidrocraqueo, 2010.

Propiedad	Especificación	
	SOR	EOR
TBP punto de corte: °C		70-145
Gravedad Específica	0.748	0.749
Contenido de Azufre (ppm en peso)		< 5
PONA		43/0/51/6
RON		60
MON		58

2.2.1.5 Isomerizado

La isomerización es un proceso catalítico que convierte las n-parafinas contenidas en la nafta ligera en iso-parafinas con números de octano superiores. La reacción tiene lugar en presencia de hidrógeno, sobre un lecho de catalizador fijo y a condiciones de operación que promueven la isomerización y minimizan el hidrocraqueo. Las condiciones de operación no son severas, lo que se refleja por la presión de operación moderada, baja temperatura y requisitos de baja presión parcial de hidrógeno. El catalizador puede ser envenenado por las impurezas contenidas en la alimentación y especialmente por el agua por lo que esta necesita ser tratada a través de secadores para evitar este efecto contaminante.

Un esquema de recirculación de flujo de baja intensidad capital se logra mediante la combinación de este proceso con una columna desisohexanizador DIH. Esta columna concentra las especies bajas de octano en el efluente del estabilizador de la corriente del corte lateral. La misma se recircula y combina con la alimentación antes de que entre en el reactor. La corriente superior de la columna de DIH se cubre con una mezcla de gasolina. La pequeña

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS.

corriente del fondo puede ser usada como componente de gasolina o como alimentación al reformador.

La ventaja de este proceso es que, a pesar de un número de RON relativamente bajo, los productos tiene una baja sensibilidad, es decir, una pequeña diferencia entre el RON y el MON. Típicamente, la sensibilidad del isomerizado es de alrededor de 2 mientras que la sensibilidad del reformado es más cercana a 10. Otra ventaja puede estar en la baja densidad del isomerizado que contra balancea la alta densidad del reformado para cumplir la especificación de la gravedad específica de la gasolina. En esta Unidad se obtiene una nafta isomerizada cuyas especificaciones se muestran en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7: Especificaciones del isomerizado. **Fuente:** Libro de procesos de la unidad de Isomerización, 2011.

Propiedad	Especificación
RON	88
MON	85.60
DON	86.80
Olefinas (% vol)	0
Aromáticos	0
RVP (kg/cm ²)	0.90

Para este componente del pool el contenido de azufre, aromáticos y benceno no está especificado ya que debe ser reportado una vez terminado el proceso de isomerización.

2.2.1.6 Nafta liviana

Esta corriente proviene de la unidad de destilación atmosférica cuyas especificaciones se muestran en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8: Especificaciones de la nafta ligera. **Fuente:** Libro de procesos de la unidad de Destilación Atmosférica, 2011.

Propiedad	Especificación
RVP index	13.4
MON	69.9
DON	71.9
Aromáticos(% V)	4.18
Azufre (% W)	0.0006
Olefinas (% V)	1.0
RON Mín.	68.0
Gravedad específica	0.68

2.3 Especificaciones de la gasolina que se desea producir

El Proyecto expansión de la refinería de petróleo Camilo Cienfuegos pretende producir combustibles de alta calidad para garantizarle tanto a la empresa como al país un beneficio económico. Uno de estos productos es la gasolina, la cual debe cumplir una serie de especificaciones según los tipos que se quieran producir. Para este trabajo se centrará la atención en la Gasolina DON 87, la cual será destinada a la exportación (fundamentalmente para el mercado europeo). La tabla 2.9 muestra las especificaciones de este tipo de gasolina que son establecidas por el mercado internacional.

Tabla 2.9: Especificaciones de la Gasolina DON 87.

Gasolina DON 87	Unidad	Límites
Azufre	ppm peso	25 máx.
MON		82 mín.
DON= (RON +MON)/2		87 mín.
RVP	kg/cm ²	0.63 máx.
Olefinas	% vol.	30 máx.
Aromáticos	% vol.	29 máx.
Benceno	% vol.	0.62 máx.

El RON no se especifica, más debe ser reportado una vez terminado el producto así como su gravedad específica.

2.4 PIMS: Sistema de Modelación de Procesos Industriales

El programa de optimización utilizado por PDVSA y sus filiales se conoce con el nombre de PIMS, el cual es un sistema computarizado que emplea la técnica de programación lineal para representar los procesos e implicaciones económicas de una refinería o cualquier otra industria en consideración. Dentro de la amplia gama de aplicaciones del PIMS cuentan las siguientes:

- Evaluación de cambios en la alimentación en las unidades de proceso
- Dimensionamiento de plantas
- Optimización de mezclas de productos
- Programación de operaciones
- Elaboración de nuevos productos
- Optimización del margen de refinación

Los modelos de PL construidos por PIMS, son modelos diseñados para evaluar situaciones dentro de un período de tiempo definido (un día, una semana, mes o año) referidas a una industria en particular (CORPOVEN, 1999).

2.5 Funcionamiento del programa

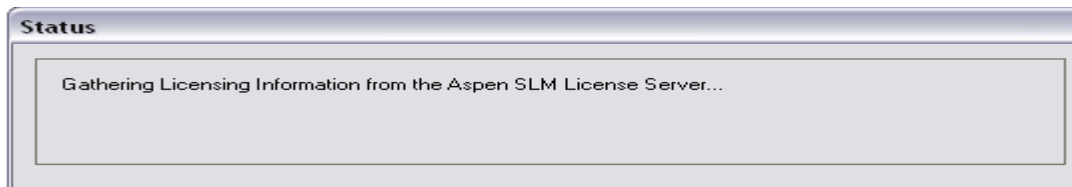
PIMS permite al usuario crear e independientemente mantener un número de modelos en el mismo computador, éstos pueden variar o ser opciones alternas para la misma situación, o podrían ser representativos de la totalidad de las diferentes plantas o procesos.

El ícono para acceder al programa

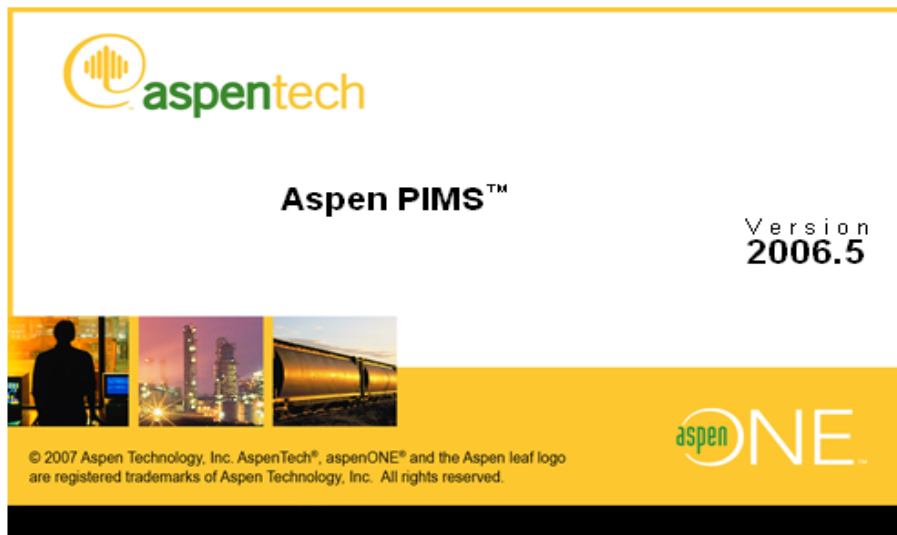


CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS.

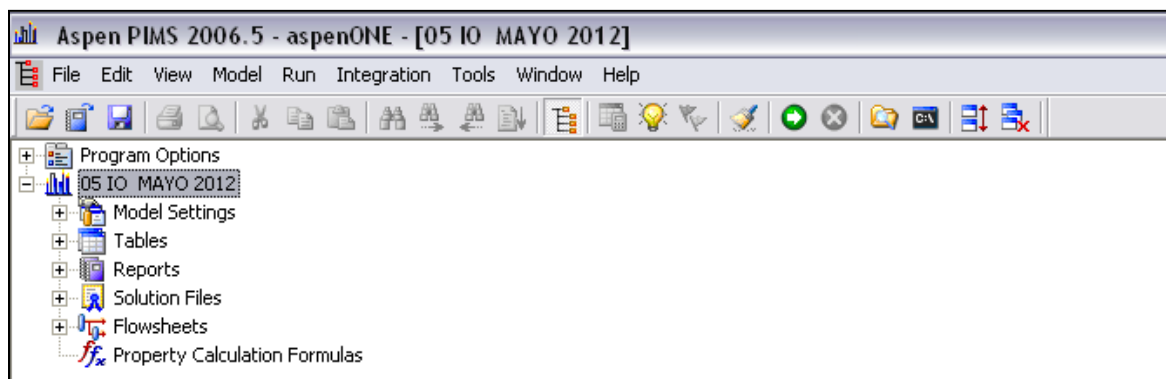
Luego aparece un cuadro de diálogo similar al que se muestra a continuación:



Y por último se muestra la portada del programa donde se especifica la versión y el licenciante:



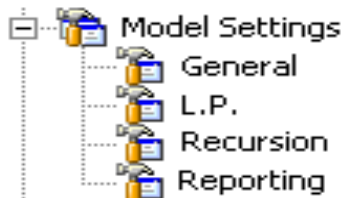
Una vez accedido al programa aparece la página principal del mismo



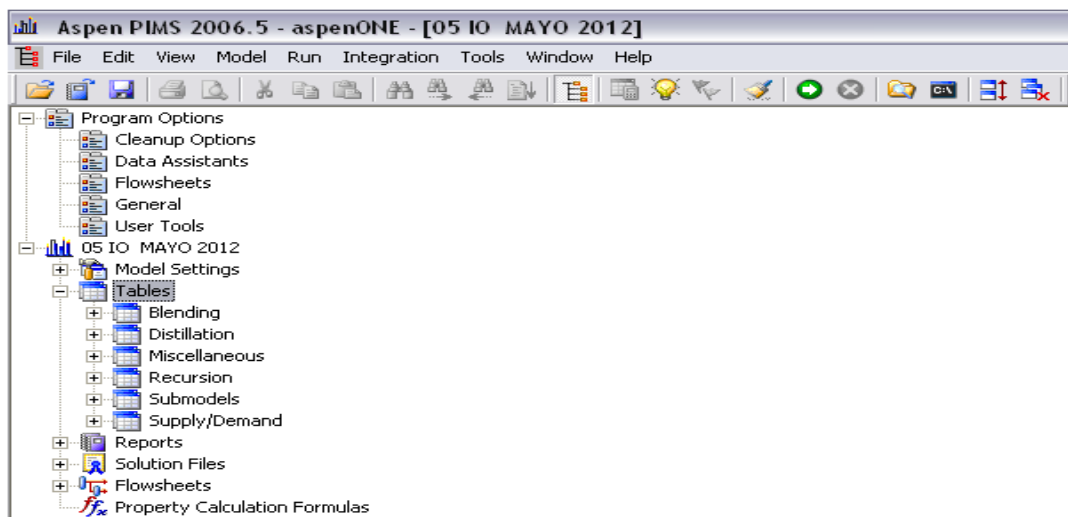
CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS.

Las opciones de interés para este trabajo son:

- La opción **Model Settings** se usa para establecer la configuración de un modelo individual, donde cada uno puede tener su propio conjunto de ajustes a partir del modelo general.



- La opción **Tables** se emplea para suministrar datos de entrada al PIMS. Está constituida por un conjunto de tablas que describen los aspectos económicos y la tecnología de los procesos que conforman un determinado complejo industrial.



Estas tablas pueden modificarse y actualizarse por el usuario antes de la corrida del modelo. La elaboración de las mismas se rige por la codificación que se muestra a continuación:

Identificación de las corrientes: Código de tres letras definido por el usuario (XXX).

Identificación de las unidades de proceso: Código de tres letras definido por el usuario (YYY).

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS.

Ecuaciones de balance de masa en peso: WBALXXX, código formado por dos partes; “WBAL” que significa balance en peso y “XXX” código de la corriente.

Ecuaciones de balance de masa en volumen: VBALXXX, código formado Por dos partes;”VBAL”, significa balance en volumen y “XXX” código de las corrientes.

Restricciones de capacidad: CCAPYYY, código formado por dos partes; “CCAP” más “YYY” código correspondiente a la restricción del consumo de capacidad.

En el Anexo 6 se exponen los códigos utilizados en el modelo del Proyecto Expansión de la refinería Camilo Cienfuegos.

2.5.1 Tablas del PIMS.

Las tablas Excel que conforman el modelo contienen un grupo de filas y columnas con entradas numéricas o texto (CORPOVEN, 1999). En la Tabla 2.10 se ejemplifican las características principales de las tablas del modelador de procesos PIMS.

Tabla 2.10: Formato estándar de una tabla PIMS. **Fuente:** CORPOVEN, 1999

	A	B	C	D	...
1	*				
2	*	Filas de comentarios			
4		Filas de Nombres de Columnas			
5	Columnas de Nombres de Filas	Cuerpo de las tablas de PIMS			
6					

Cualquier fila que tenga (*) en la primera posición es considerada como fila de comentarios y es ignorada por el PIMS siendo igual para aquella columna que tenga (!) en la primera posición.

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS.

A continuación se describe la estructura de algunas tablas de interés contenidas en cada uno de los renglones:

Insumos/Productos.

- Tabla BUY

Un ejemplo de esta tabla se muestra en la Tabla 2.11, esta lista todos los insumos que deben ser comprados por la industria, cada uno de los cuales se identifica con un código de tres letras elegido por el usuario y definido por él mismo en la columna TEXT. Las columnas MIN, MAX y FIX contienen las limitaciones en cuanto a la cantidad de producto a comprar expresada en miles de unidades de peso o volumen; cualquier entrada en la columna FIX equivale a decir que la limitación mínima es igual a la máxima e igual a ese valor. La columna COST indica el costo de cada uno de los insumos.

Tabla 2.11: Modelo de Tabla BUY del PIMS.

	TEXT	MIN	MAX	FIX	COST
*		(MBD)	(MBD)	(MBD)	\$/Bbl
*	CRUDE OIL PURCHASES:				
MES	MESA 30 (CFG)				
MEY	MEREY 16 (CFG)				

- Tabla SELL

Tiene el mismo formato que la tabla BUY, con la diferencia que los códigos identificados en Sell representan a los productos finales destinados al mercado interno y de exportación, según la cantidad mínima, máxima o fija a producir por el modelo. Es importante destacar que cuando se coloca un cero en la columna MIN y un 500 en la columna MAX, para un determinado insumo o producto, se le da libertad al modelo de comprar o producir la cantidad necesaria para optimizar económicamente el proceso; entonces se dice que dicho material está “abierto”.

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS.

Procesos/Mezclas

- Tabla SUBMODS

Como se muestra en la Tabla 2.12 esta contiene una lista de todas las unidades de procesos y/o mezclas construidas por el usuario que requieran ser consideradas por el PIMS. Los nombres de las filas son de la forma SXXX donde S significa el submodelo y XXX los códigos para identificar cada proceso.

Tabla 2.12: Modelo de tabla SUBMODS del PIMS.

TEXT	
SCD1	CDU1, Mode 1
SCD2	CDU2, Mode 2
SGSU	Gas Sweeting Unit
SNH1	Naphtha Hydrotreater 1
SNH2	Naphtha Hydrotreater 2
SREF	HN Reformer 1
SCCR	HN Reformer 2
SRSP	Reformate Splitter
SRFT	Heavy Reformate Pool
SRFL	Ligth reformate Pool
SISO	LN Isomerization
SPNU	PolyNaphtha
SHYD	Hydrogen Plant CCR
SSGU	Sat Gas Plant
S2KO	HKT
SGH1	HDT -1
SGH2	HDT-2
SCFP	Cat feed pool
SCCU	Cat Cracking Unit
SDCU	Delayed Coker
SHCK	Hydrocracker

- Tabla CAPS

Como se muestra en la Tabla 2.13 esta tabla permite al usuario definir las limitaciones en capacidad de carga de cada una de las unidades de proceso. Los nombres de las filas son de la

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS.

forma CXXX donde el carácter C significa capacidad y XXX se refieren a cada uno de los procesos y deben coincidir con los definidos en la tabla SUBMODS. La columna TEXT se emplea para describir cada una de las filas, MIN/MAX indican los valores máximos y mínimos que pueden alcanzar la planta y PENALTY representa la penalización que se suma a la función objetivo de la corrida si la capacidad de cada unidad se sale del rango fijado en min y máx.

Tabla 2.13: Modelo de Tabla CAPS del PIMS.

	TEXT	MIN	MAX
CR01	Crude Section		
CR02	=====		
CAT1	Crude Unit #1 T/D (BLD)		
CAT2	Crude Unit #2 T/D (CNC)		
CVT1	Vac Unit #1 TPD (BLD)		
CVT2	Vac Unit #2 TPD (CNC)		
CR03	Naphtha Processing		
CR04	=====		
CPNU	PolyNaphtha Unit TPD		
CNH1	Naph Hydrotrt 1 TPD		
CNH2	Naph Hydrotrt 2 TPD		
CCCR	Continuous Catalytic Reformer TPD		
CREF	Low Press Reformer TPD		
CRSP	Reformate Splitter		
CISO	Isom TPD		
CR07	Cracking		
CR08	=====		
CHCK	Hydro Cracker TPD		
CMHC	Mild Hydro Cracker TPD		
CCFP	Cat feed pool		
CCCU	Cat Cracker TPD		
CR09	Other Processing		

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS.

Mezcla de Componentes

- Tabla BLENDS

En esta tabla se listan todos los productos a ser obtenidos a partir de la mezcla de componentes, indicando a su vez si la formulación va a ser dada por el usuario o determinada por PIMS. Los nombres de las filas son los tres caracteres que defina el usuario en la columna TEXT para identificar los productos a ser formulados. Las entradas en las columnas SPEC o FORM deben ser valores iguales a 1, donde una entrada en la columna SPEC indica que el producto es formulado por PIMS, y una entrada en la columna FORM indica que el producto es creado a partir de una formulación dada por el usuario. Un ejemplo de esta se muestra en la Tabla 2.14.

Tabla 2.14: Modelo de la tabla BLENDS del PIMS.

	TEXT	SPEC	FORM
*	MOGAS		
M87	DON 87 to Export		
*	GASOIL		
DSX	Diesel Export		
DSL	Local Diesel		
*	FUEL OIL		
HSF	FO 1200		
LSF	FO 450		

- Tabla BLNSPECS

En la Tabla 2.15 se muestra un ejemplo de la Tabla BLNSPECS, la cual contiene las especificaciones a ser cumplidas por los productos obtenidos a partir de la mezcla de componentes. Los nombres de las filas de la forma NXXX o XXXX, donde XXX son los códigos que definen la propiedad y “N” y “X” indican si la especificación a cumplir es mínima o máxima respectivamente. Los nombres de las columnas deben corresponder solo con el código de los productos cuya formulación sea determinada por especificación mediante el simulador, obviando aquellos cuya formulación es dada directamente por el usuario.

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS.

Tabla 2.15: Modelo de tabla BLNSPECS del PIMS.

	TEXT	LPG	M87	M90	JEX	DSX	DSL	HSF	LSF	LNx
*	RVP Max Spec, PSI									
XRVI	RVP Index									
NMON	MON min									
NRON	RON min									
NDON	DON (RON+MON)/2									
XARO	Aromatics, LV%									
XBEN	Benzenes, LV%									
XSUL	Sulfur, WT%									
XOLF	Olefins, LV%									
NSPG	Specific Gravity									
XSPG	Specific Gravity									
PSUL	Sulphur content (% Wt)									
PRVI	RVP Index									
PBEN	Benzene content (% Vol)									
PARO	Aromatic content (% Vol)									
POLF	Olefin content (% Vol)									

- Tabla BLNMIX

Esta tabla indica los compuestos que pueden formar parte de los productos que serán formulados por especificación, así como aquellos cuya formulación es dada por el usuario. Las filas identifican los compuestos a ser mezclados y las columnas los de los productos finales que se encuentran en BLENDS. En la Tabla 2.16 se muestra un ejemplo de esta tabla. Las intersecciones de las filas con las columnas deberán ser iguales a uno para aquellos productos a ser formulados por el PIMS. Para los productos creados por el usuario la entrada será la fracción volumétrica o en peso de cada uno de los componentes que van a formar parte del producto; las unidades dependen si el producto será vendido en peso o volumen.

Tabla 2.16: Modelo de tabla BLNMIX del PIMS.

	TEXT	LP	M8	M9	JE	DS	DS	HS	LS	BT	CG	LN
		G	7	0	X	X	L	F	F	M	F	X
*	Mogas Pool											
CNT	Cracked Naphta from ccu											
ISS	Isomerase											
LNH	HCK LIGTH											

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS.

	NAPHTHA											
HRF	Hvy Reformate											
R94	Reformate 94											
PGA	Polynaphtha Gasoline											
LN1	Nafta Liviana											
HC4	HCK N-Butane											

- Tabla BLNNAPH

En esta tabla se identifican las propiedades de los componentes de mezcla de la gasolina. Los nombres de las filas son los tres códigos que refieren a los componentes de mezcla y los nombres de las columnas son los códigos que definen cada propiedad. La columna TEXT también puede ser incluida para identificar a cada uno de los componentes. Los valores de las propiedades pueden ser suministrados en peso o en volumen, dependiendo de cómo se mezclan linealmente. Es importante destacar que para las propiedades no lineales debe suministrarse el índice de mezcla correspondiente en lugar del valor real de la propiedad y aquellas propiedades suministradas en peso deben ser remitidas a la tabla WSPECS.

Debido a que el simulador realiza el cálculo de las propiedades con la premisa de que éstas son lineales en volumen, es necesario suministrarle al mismo la gravedad API o específica de cada uno de los componentes de modo que pueda hacer las conversiones necesarias a los valores de las propiedades que son introducidas en unidades de masa. Un ejemplo de la tabla antes mencionada se muestra en la Tabla 2.17.

Tabla 2.17: Modelo de tabla BLNNAPH del PIMS.

	TEXT	SPG	RON	MON	DON	RVI	!RVP	SUL	OLF	ARO	BEN
*	Mogas Pool										
HC4											
NC3	Propane										
NC4	N-Butane										
IC4	I-Butane										
P3n	Propane from PNU										
P3=	Propylene from										

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS.

	PNU										
B4i	iButane from PNU										
B4n	nButane from PNU										
B4=	Butylene from PNU										
CNT	CCU TCN										
ISS	Isomerase										
*R90	90R REFORMATE										
*R92	92R REFORMATE										

2.6 Algoritmo para la elaboración de los modelos

Se presenta un algoritmo, ver figura 2.1, que sintetiza los pasos de las acciones explicadas en los epígrafes 2.7 y 2.8. Este algoritmo tiene el propósito de establecer el esquema lógico para la elaboración de procedimientos y programación.

El algoritmo inicia con la definición de los datos de entrada, y evalúa los dos casos tipo: Base y Parada. Luego se introduce el modelo en el PIMS y se corre el programa. Como primer criterio de aceptación se toma la convergencia, luego, o se modifican las tablas del modelo al PIMS si no hay convergencia o se pasa al análisis del informe de resultados emitido por el software. El segundo criterio de aceptación responde a si el esquema es óptimo o no, si es positivo se finaliza y si no: se efectúan modificaciones en el modelo.

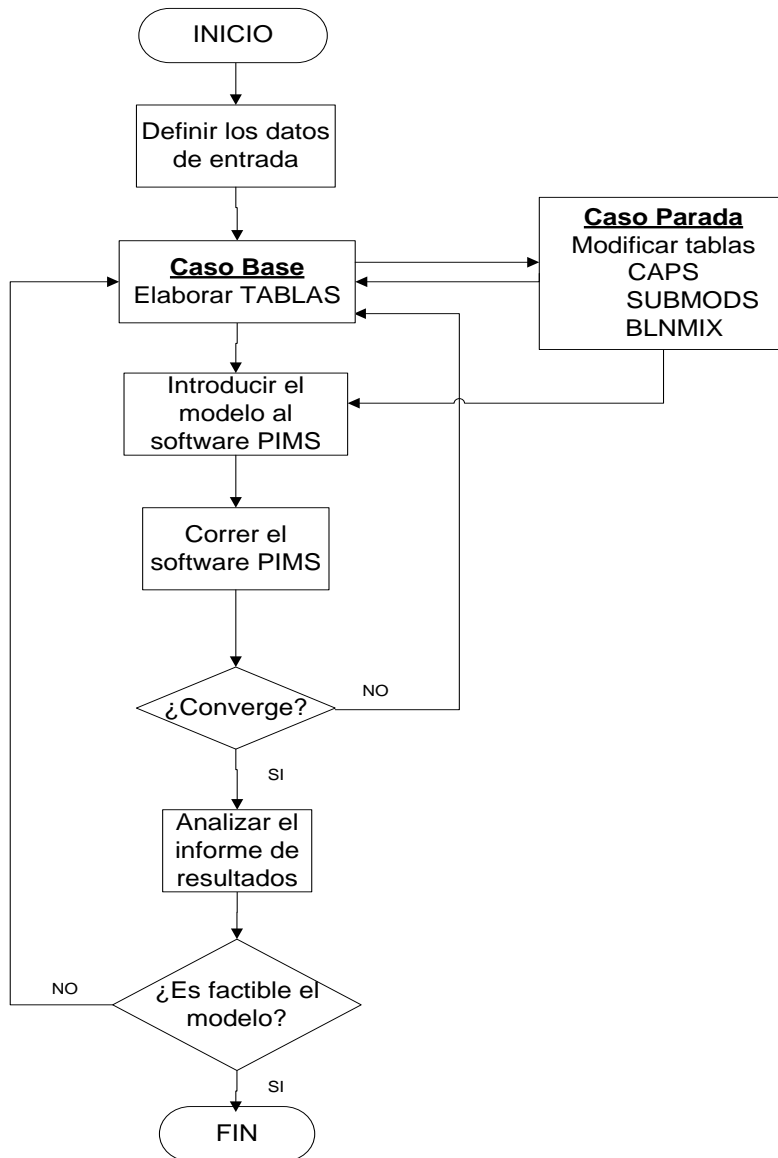


Figura 2.1: Algoritmo para la elaboración del modelo Caso Base y Caso Parada de las unidades.

2.7 Procedimiento para la elaboración del modelo PIMS Caso Base

2.7.1 Datos a introducir

Para desarrollar el modelo, fue necesario definir en principio un caso base que además de permitir desarrollar el modelo, será utilizado como referencia para evaluar los diversos escenarios que se plantearon los cuales se explicarán adelante. Dicho caso, depende del esquema de refinación a implementar, en este caso con conversión profunda y del crudo o mezcla de crudo a procesar.

La mezcla de crudo utilizada actualmente y que será la que procesará el tren 1 (Destilación atmosférica 1 y unidad de destilación al vacío 1) parte de los crudos venezolanos Mesa – Merey y da como resultado un crudo medio ligero y el tren 2 (Destilación atmosférica 2 y unidad de destilación al vacío 2) que procesará el crudo venezolano pesado Merey 16.

Para obtener las propiedades de estos crudos PDVSA-INTEVEP proporcionó un ensayo para cada crudo, esto se conoce como ASSAY, en el mismo se muestran las temperaturas de corte a las cuales se obtienen los diversos productos así como también sus rendimientos y todas las características del mismo como: gravedad específica, °API, % azufre, RON, RVP, punto de humo, punto de congelación, índice de cetano, viscosidad, entre otros.

- Definición del conjunto de restricciones.

Las restricciones o conjunto de restricciones que se desarrollaron parten de las especificaciones de calidad de los productos de refinación, y de la base normativa del proyecto.

- Catálogo de especificaciones de productos del petróleo de Cupet.
- Regulaciones del Banco Internacional.
- Definición de rendimiento y la calidad del producto intermedio de las unidades de proceso.

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS.

Para ello se tomaron los datos dados por el licenciante de cada unidad de proceso en los libros de proceso correspondientes.

- Definición de consumo de utilidades

Adicionalmente, toda refinería necesita de un consumo de servicios para llevar a cabo sus operaciones en el caso de estudio se utiliza electricidad, vapor y agua de enfriamiento, para ellos fue necesario recurrir a los consumos brindados por el licenciante de cada unidad de proceso y el balance general de los servicios a ser utilizados, brindados por la Compañía integradora del Proyecto Expansión.

- Definición de precios (PDVSA, 2015)

El precio del crudo y los productos serán tomados de las LEEPIC: Lineamientos para la evaluación económica de propuestas de inversión de capital, utilizando una tasa de escalamiento anual de 3.5 % para el crudo y un 4% para los productos y tomando como año base el 2017.

2.7.2 Acciones a seguir para la elaboración del modelo PIMS (CASO BASE)

Se modificará el modelo de la unidad existente, según se establece a continuación:

1. Modificar la tabla BUY

- Definir el crudo que se consumirá en el proyecto expansión
 - MEY Merey 16
- Se coloca cero en la columna MIN y se deja la columna MAX vacía para que el software utilice el consumo óptimo de ambos crudos.

2. Modificar la tabla SELL

- Definir los productos que serán comercializados.
 - LPG: Gas Licuado del Petróleo

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS.

- M87: DON 87 para exportación
- M90: Gasolina Local
- LNX: Nafta Liviana
- JEX: Jet A1
- DSX: Diesel de Exportación
- DSL: Diesel Local
- HSF: Fuel Oil 1200
- LSF: Fuel Oil 450
- BTM: Bitumen
- COQ: Coque
- SU1: Azufre

3. Modificar la tabla **UTILBUY**

- Se definen las utilidades que serán consumidas :

○ KWH	Electricidad	KWH
○ STM	Vapor	TONS
○ H2O	Agua de enfriamiento	M3
○ FUL	Fuel Oil	MM-BTU

4. Modificar la tabla **CRDDISTL**

- Se introduce las nuevas torres de destilación atmosférica y al vacío y se define el crudo o mezcla de crudo que consumirá.

ATM TWR Torre atmosférica+ VACTWR Torre al vacío (1)Mezcla MESA/MEREY

ATM TWR Torre atmosférica + VACTWR Torre al vacío (2)..... MEREY

- Se definen los rendimientos según el licenciante para cada torre de destilación.

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS.

- Se define el consumo de cada servicio en las torres de destilación atmosféricas y de vacío en cada planta de destilación.

5. Modificar la tabla **CRUDCUT**

- Se agregan en las filas los nombres correspondientes a cada uno de los cortes identificados en la tabla ASSAYS (ver tabla en anexo 11)

6. Modificar la tabla **BLENDS**

- Se incorporan los nuevos productos que serán conformados por mezcla de componentes.
 - ✓ LPGLPG
 - ✓ M87.....Mogas 87
 - ✓ JEX.....Jet
 - ✓ DSX..... Diesel Export
 - ✓ DSL..... Diesel Local
 - ✓ HSF...FO 1200
 - ✓ LSF...FO 450
 - ✓ BTM..Bitumen
- Se define con un uno (1) en la columna SPEC que serán formulados por el PIMS.

7 Modificar la tabla **BLNDMIX**

- Se definen los componentes que puedan formar parte de los productos a ser formulados por especificación.
- Se establece que la formulación será definida por el software, al colocar uno (1) en la columna correspondiente. (ver tabla en anexos 5)

8 Modificar la tabla **BLNNAPH** y **BLNREST**

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS.

- Se incorporan valores individuales de las propiedades a ser utilizadas en cada componente de mezcla para formular un producto según datos del licenciante. (ver tabla Anexo 9).
- 9 **Modificar la tabla BLNSPEC**
- Se adicionan columnas con los nuevos productos obtenidos a partir de mezcla y se definen las propiedades que deben ser cumplidas por estos.(ver tabla en anexo 10)
- 10 **Modificar la tabla SUBMODS**
- Se introduce a la lista todas las nuevas unidades de procesos y/o mezclas que se requiere sean consideradas por PIMS (ver tabla en anexos 8).
 - Se crean tablas con el nombre SXXX para cada nuevo submodelo incorporado y se definen rendimientos, modos de operación, balances para corrientes de entrada y salida así como de los servicios consumidos (Ver tabla 2.11).
- 11 **Modificar la tabla CAP**
- Se introducen las nuevas unidades de procesos que conformaran el esquema de refinación.

Unidades:

- GSU: Unidad de Endulzamiento de Gas
- NH2: Hidrotratador de nafta 2
- CCR: Reformación Catalítica Continua
- ISO: Isomerización
- PNU: Unidad de Polinafta
- HYD: Planta de Hidrógeno
- 2KO: HKT
- GH2: HDT-2

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS.

- CCU: Unidad de Craqueo Catalítico
 - DCU: Unidad de Delayed (Retardado) Coque
 - HCK: Hidrocraqueo Catalítico
 - MHC: Hidrocraqueo Catalítico
 - SRU: Unidad de Recuperación de azufre
 - En la columna MAX se coloca 500 barriles, las capacidades Mínimas se dejan en cero (0) con el fin de que el software defina la estrategia óptima.
- 12 Ir al software en la barra herramientas en la pestaña MODEL introducir el modelo (ver anexo 12).
- 13 Ir al software en la barra herramientas en la pestaña RUN se corre el modelo, se eliminan posibles errores e inconsistencias hasta lograr la convergencia del mismo.
- 14 Se revisa el Reporte dado por el PIMS. Si existen corrientes fuera de balance se valora su incorporación dando un nuevo destino o modificando especificaciones si fuera posible.

2.8 Modificación del caso base (todas las plantas en operación) ante diferentes escenarios de parada por emergencia.

Para llevar a cabo este objetivo debemos plantear los diferentes escenarios de parada de planta por emergencia a considerar. Se debe destacar que estos escenarios están basados en la relación existente entre las unidades que los componen, ya que no es posible trabajar el reformador existente (REF) sin el hidrofinador de nafta (NHT1) que es quien prepara su alimentación.

1. Fuera de servicio el HCK + MHC
2. Fuera de servicio el NHT₁+REF

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS.

2.8.1. Se modificará el modelo PIMS caso base, con el fin de ajustarlo a cada escenario de parada por emergencia.

Acciones a realizar

1. Eliminar del modelo las unidades que entran en parada y modificar las capacidades de las unidades que se vean afectadas.
 - Modificar la Tabla CAPS para garantizar que el modelo no incluya las unidades en parada.
 - Colocar un cero en la capacidad MAX de estas unidades.
 - Para el caso 1 se debe reducir la capacidad del CCU en un 30 % ya que, teniendo en cuenta las especificaciones del licenciante, ante cambios en la materia prima solo se garantiza la operación de CCU a un 70 % de su capacidad.
2. Reubicar las corrientes que alimentan las unidades que entran en parada.
 - Modificar la tabla SUBMODS específicamente el submodelo que se refiera a una mezcla de alimentación de una de las unidades que entran en parada y se le da un nuevo destino.
 - Modificar la tabla BLNMIX para ubicar algunas corrientes intermedia procedentes de estas unidades en parada o que alimentan a las mismas y pueden pasar a formar parte de la mezcla de algún producto.

Ejemplo: Caso 1: Activar como posibles alimentaciones las corrientes LV₁ (Corte ligero del vacío 1), HV₁ (Corte pesado del vacío 1) y HV₂ (Corte pesado del vacío 2) que van a pasar directamente de la destilación al craqueo.

3. Ir del paso 12 al 14.
4. Analizar el cumplimiento de los requisitos de calidad y la variación con respecto al Caso Base.



Capítulo 3

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se realiza una presentación del Caso Base donde se encuentran operando todas las unidades de proceso y sobre la base del cual se realizan las modificaciones, para lograr el esquema óptimo de mezclado de gasolina ante diferentes escenarios de parada de las unidades de proceso.

3.1 Presentación del Caso Base

Para el caso base donde se encuentran en operación todas las unidades de proceso, la cartera de productos para la venta se completa de una forma óptima, se cumple con todas las restricciones de calidad de los productos, obteniéndose una función objetivo (Obj Fn) o margen de refino de 2 315 280 USD por cada día de producción como se muestra en la Fig 3.1.

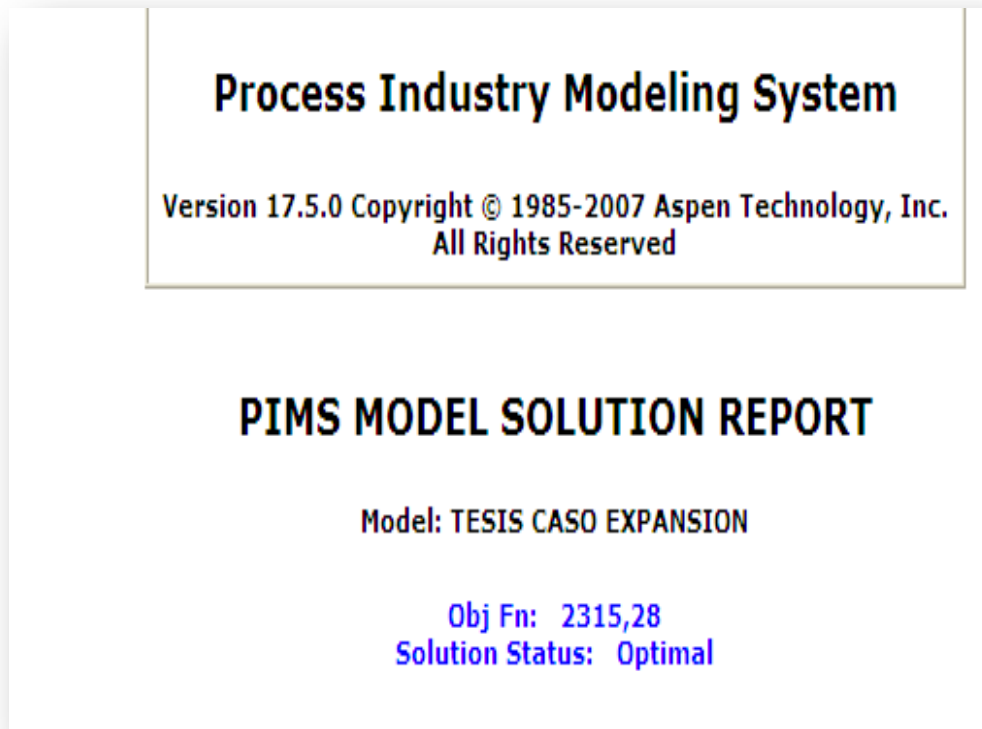


Fig. 3.1: Reporte del modelo Caso Base. **Fuente:** Reporte del PIMS

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En cuanto al margen de refino, referido a los barriles de crudo refinados se tiene que para el esquema representado se obtienen 16.6 USD de productos para la venta por cada barril de crudo procesado.

Para el cálculo de esta función se tuvieron en cuenta los gastos por concepto de compra de materia prima, en este caso Crudo Mesa y Merey y los consumos de utilidades como Electricidad, fuel Oil, vapor y agua de enfriamiento y los ingresos por venta de producto final, por lo cual representa la ganancia o el margen de refino neto. Este resultado aparece en el Reporte que ofrece el PIMS luego de realizar una corrida, el índice de dichos resultados se muestra en la Fig 3.2.



Material Purchases	3
Group Purchases	4
Material Sales	5
Group Sales	6
Utility Purchases	7
Utility Sales	8
Penalty Report	9
Economic Summary Analysis	10
Bounded Variable Status	11
Capacity Utilization Summary	12
Process Limit Summary	13
Recursion Log Report	14
Specification Blend	21
Stream Property Report	30
Stream Disposition Map	42
Stream Disposition Summary	58
Utility Disposition Map	62
Process Submodel Summary	63

Fig. 3.2: Tabla de contenidos de reporte del PIM del Caso Base. Fuente: Reporte del PIMS.

Los resultados del esquema de mezclado de la gasolina para este caso se muestran en la Tabla 3.1.

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Tabla 3.1: Esquema de mezclado óptimo para el Caso Base.

Especificaciones	CASO BASE							PRODUCTO FINAL	
	Nafta liviana	Nafta ligera de HCK	Reformado Pesado	Isomerizado	n-Butano de PNU	Gasolina Polinafta	Nafta craqueada	Especif. Mezcla	Especif. DON 87*
RVP index	13.4	17.8	10.17	24.7	139.6	6.1	10.4	15.2	15.2 máx.
MON	69.9	77	81	85.6	89.1	83.8	80.6	82.45	82 mín.
DON	71.9	78	87.5	86.8	91.55	91.5	85.7	87.01	87 mín.
ARO(% V)	4.18	1	55	0	0	1	18.3	28,9	29.00 máx.
BEN(% V)		0	0.2	0	0	0.1	1.09	0.5475	0.62 máx.
SUL(% w)	0.0006	0.001	0	0	0	0	0.001	0.0005	0.001 máx.
OLF(% V)	1	0	0.1	0	0	95	33.9	12.8984	30 máx.
RON(mín)	68	79	94	88	94	98	90.8	91.5335	report
SPG	0.68	0.68	0.77	0.66	0.58	0.74	0.72	0.7358	report
(% V)	3.97	6.6	42.3	17.14	1.56	4.63	23.86	100	

Como se puede apreciar en la tabla 3.1 la gasolina cumple con las especificaciones de calidad máximas/ mínimas establecidas para la gasolina DON 87, además el esquema de mezclado resultante logra incorporar todas las corrientes que según el diseño conforman la mezcla. Los mayores aportes a la mezcla están dados por el reformado pesado, el isomerizado y la nafta craqueada con 42.30, 17.14 y 23.86 % respectivamente.

Es notorio que el modelo como solución óptima incorpora nafta ligera de destilación directa a gasolina en un 3 % volumen, esto dado por la calidad de los demás productos a la mezcla que permiten cumplir con las restricciones de calidad y ahorrar costos de procesamiento al incorporar un producto de destilación directa.

En el epígrafe siguiente se ofrecen los resultados del programa para los escenarios planteados anteriormente.

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.2 Escenarios de parada por emergencias.

Siguiendo la metodología establecida en el capítulo anterior para el caso de parada de planta de las unidades enmarcadas en los dos escenarios se procede a correr el modelo en el PIMS. Los resultados obtenidos serán comparados con el Caso Base.

3.2.1 Caso sin MHC+HCK

Las unidades MHC+HCK procesan las corrientes LVGO1 (Gasoil ligero de vacío 1), HVGO1 (Gasoil pesado de vacío 1), LVGO2 (Gasoil ligero de vacío 2) y HVGO2 (Gasoil pesado de vacío 2) respectivamente y el residuo no convertido de ambas unidades pasa a ser la alimentación al CCU. Ante una parada de estas unidades el CCU tendrá que procesar Gasoil ligero de vacío 1, Gasoil pesado de vacío 1, Gasoil ligero de vacío 2, Gasoil pesado de vacío 2 directamente de las unidades de vacío 1 y 2, con alta carga de contaminantes. Ante esta variación en la calidad de la corriente, el licenciantes limita la alimentación al CCU en un 30% para así garantizar la eficiencia en el proceso.

La primera modificación realizada al Caso Base se produjo en la Tabla CAPS, el resultado se muestra en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2: Modificación a la tabla CAPS del PIMS. **Fuente:** PIMS

	Text	Mín	Máx
CR01	Crude Section		
CAT1	Crude Unit #1 T/D (BLD)	0,000	Diseño
CAT2	Crude Unit #2 T/D (CNC)	0,00	Diseño
CVT1	Vac Unit #1 TPD (BLD)	0,00	Diseño
CVT2	Vac Unit #2 TPD (CNC)	0,00	Diseño
CR03	Naphtha Processing		
CPNU	PolyNaphtha Unit TPD	0,00	Diseño
CNH1	Naph Hydrotrt 1 TPD	Diseño	Diseño
CNH2	Naph Hydrotrt 2 TPD	0,00	Diseño
CCCR	Continuous Catalytic Reformer TPD	0,00	Diseño

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

CREP	Low Press Reformer TPD	0,00	Diseño
CRSP	Reformate Splitter	0,00	Diseño
CISO	Isom TPD	0,00	Diseño
CR05	Distillate Processing		
CSWT	Sweet Kero TPD	0,00	Diseño
C2KO	Hydrotrt Kero TPD	0,00	Diseño
CGH1	GO Hydrotrt 1 TPD	0,00	Diseño
CGH2	GO Hydrotrt 2 TPD	0,00	Diseño
CR07	Cracking		
CHCK	Hydro Cracker TPD	0,00	0,00
CMHC	Mild Hydro Cracker TPD	0,00	0,00
CCFP	Cat feed pool	0,00	0.7*Diseño
CCCU	Cat Cracker TPD	0,00	0.7*Diseño
CR09	Other Processing		
CDCU	Delayed Coker TPD	0,00	Diseño

A continuación se muestra la modificación realizada a la alimentación del submodelo CFP para lograr que algunas corrientes pasen directo al CCU ya que están en parada las unidades MHC y HCK.

Tabla 3.3: Modificación al submodelo CFP del PIMS. **Fuente:** PIMS.

	Text	!GOH	!MUC	LV1	LV2	HV1	HV2	CFP
*WBALGOH	Unconverted from HCK	1						
*WBALMUC	Unconverted from MHC		1					
WBALLV1	LVGO			1				
WBALLV2	LVGO				1			
WBALHV1	HVGO					1		

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

WBALHV2	HVGO						1	
WBALCFP	Cat Feed Pool	-1	-1	-1	-1	-1	-1	

Como resultado de la corrida del programa, con las modificaciones realizadas al Caso Base, se obtuvo el siguiente reporte:

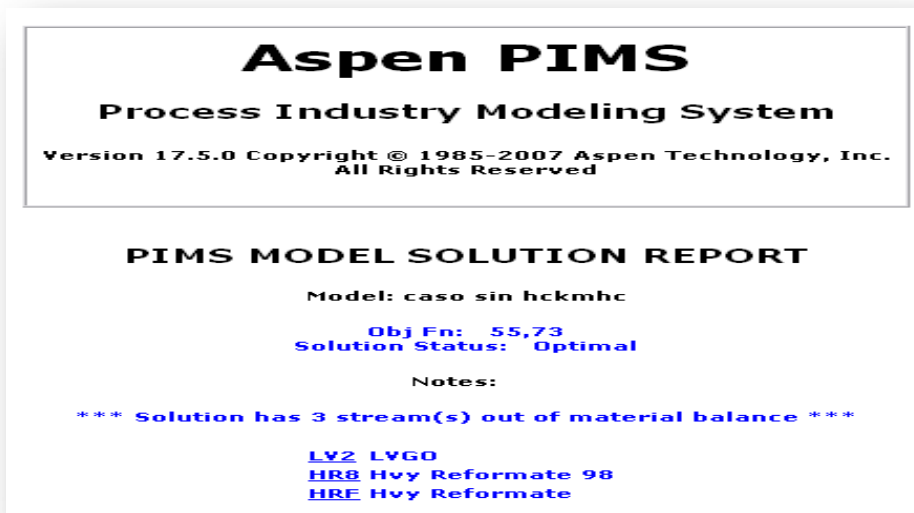


Figura 3.3: Reporte del modelo sin MHC+HCK. **Fuente:** Reporte del PIMS.

En este caso la función objetivo disminuyó su valor considerablemente en 2 259 550 USD/día con respecto al Caso Base, además aparecen 3 corrientes fuera de balance (LV2: Corte ligero del vacío 2, HR8: Reformado pesado 98 y HRF: Reformado pesado) ya que no cumplen con las especificaciones. Para revertir esta situación será necesario realizar algunos cambios a las restricciones del proceso y así mejorar la rentabilidad económica del mismo.

En la Tabla 3.4 se muestra que los valores especificados del contenido de benceno y aromáticos en la gasolina se encuentran en el máximo permisible por lo que se decide mover estas restricciones a valores superiores para así poder incorporar al proceso de mezclado las corrientes que quedan fuera de balance, teniendo en cuenta que para comercializar la gasolina en el mercado local no existe restricción para estos parámetros.

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Tabla 3.4: Calidad de los productos establecidas en especificaciones del mezclado. **Fuente:** Reporte del PIMS.

Product Qualities		Minimum	Product	Maximum
RVI	RVP Index		15,1997	15,1997
MON	MON min	82,0000	82,2113	
DON	DON (RON+MON)/2 min	87,0000	87,2372	
ARO	Aromatics, LV%		29,0000	29,0000
BEN	Benzenes, LV%		0,6200	0,6200
SUL+	Sulfur, WT%		0,0005	0,0010
OLF	Olefins, LV%		22,8223	30,0000
RON	RON min		92,2630	
SPG	Specific Gravity		0,7316	

Para ello en la Tabla Blnspec se modifica la restricción del contenido de benceno y de aromático moviendo sus valores desde 0.62 hasta 0.8 % vol. y de 29 a 32 % vol. respectivamente.

Tabla 3.5: Modificación de la tabla Blnspec del PIMS. **Fuente:** PIMS

	Text	LPG	M87	M90	JEX	DSX	DSL	HSF	LSF	LNx
*	RVP Max Spec, PSI	142.2	8.8	9.7						
XRVI	RVP Index	491.2	15.2	17.1						
NMON	MON min		82							
NRON	RON min			90						
NDON	DON (RON+MON)/2 min		87							
XARO	Aromatics, LV%		32		25					
XBEN	Benzenes, LV%		0.8							
XSUL	Sulfur, WT%		0.001	0.1	0.3	1.00*10 ⁻³	0.9	5	3.5	
XOLF	Olefins, LV%		30							
NSPG	Specific Gravity				0.77		0.81			
XSPG	Specific Gravity				0.84	0.84	0.86	0.99	0.99	
XFRI	FREEZING POINT INDEX				0.21					
*	FREEZING POINT °F				-52.6					
XFLI	FLASH INDEX				698.6	508.5	508.5	241.8	241.8	
*	MIN.FLASH POINT°F				100	113	113	144	144	
NSMK	SMOKE POINT NUMBER				19					
XCLI	IND.PTO.NUBE					240.8				

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

NCTN	Cetane Number					51	46			
XVBI	Viscosity index max @ 50°C - 122°F (cSt)								23.75	
*	Viscosity @ 50°C - 122°F (cSt)								180	
NVBI	Viscosity index max @ 50°C - 122°F (cSt)							17.1 3	20.3	
*	Viscosity @ 50°C - 122°F (cSt)							1200	450	
XVAN	Vanadium, Wgt (ppm)							400	400	
XHN1	Max % vol NH1				16		2	2	2	
*	REPORTING ROWS									
PRON	RON		1	1						1
PMON	MON		1							1
PDON	DON (RON+RON)/2		1	1						1
PSUL	Sulphur content (% Wt)		1	1	1	1	1	1	1	1
PRVI	RVP Index	1	1	1						1
PBEN	Benzene content (% Vol)		1	1						1
PARO	Aromatic content (% Vol)		1	1	1					1
POLF	Olefin content (% Vol)		1							1
PSPG	Density		1	1	1	1	1	1	1	1
PFRI	Freeze point index(°F)				1					
PFLI	Flash point index (°F)				1	1	1	1	1	
PSMK	Smoke Point index				1					
PCTN	Cetane number					1	1			
PCLI	Cloud point Index (°C)					1				
PVBI	Viscosity Index @ 50°C - 122°F (cSt)							1	1	

Además se decide destinar el LVGO a la mezcla de fuel, ya que también queda fuera del balance. Anteriormente esta fracción pesada formaba parte de la alimentación al HCK y al entrar en parada dicha unidad es enviado directamente al CCU (Tabla 3.3) quien estará operando a menor capacidad, lo que provoca que esta corriente no tenga ningún destino. Este corte no puede ser enviado a la mezcla de productos ligeros por especificaciones de calidad, entre las cuales se puede referir que no entra en los rangos de destilación, no cumple el punto de cetano para el caso del diesel y para el turbo el punto de humo. Además enviando este corte a fuel se logra disminuir la viscosidad del mismo y se evita el empleo de productos finales para este fin.

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Para realizar esta modificación, en la Tabla Blnmix se agrega dicha corriente a la mezcla de fuel.

Tabla 3.6: Modificación de la tabla Blnmix del PIMS.

* TABLE	BLNMIX	LPG	M87	M90	JEX	DSX	DSL	HSF	LSF	BTM	CGF	LNx
*	LPG											
NC3	Propane	1										
NC4	N-Butane	1										
IC4	I-Butane	1										
P3n	Propane from PNU	1										
P3=	Propylene from PNU	1										
B4i	iButane from PNU	1	1									
B4n	nButane from PNU	1	1									
B4=	Butylene from PNU	1										
*	Mogas Pool											
CNT	Cracked Naphta from ccu		1	1								
ISS	Isomerate		1									
LNH	HCK LIGTH NAPHTHA		1	1								
HRF	Hvy Reformate		1	1								
R94	Reformate 94		1	1								
PGA	Polynaphtha Gasoline		1									
LN1	Nafta Liviana		1	1								1
HC4	HCK N-Butane			1								
*	Distillate Pool											
GO1	DIESEL						1	1	1			
HN1	Heavy Naphta				1		1	1	1			
LK1	Light Kero AT1				1							
HK1	Heavy Kero AT1						1	1	1			
KH1	Kero Hidrotratado				1							
LK2	Light Kero AT2				1		1					
HK2	Heavy Kero AT2						1					
*KER	Sweet Kero				1							
KEH	HCK Kerosene				1	1	1					
DLH	HCK Diesel					1	1					
HT1	GH1 Gasoil						1					
HT2	GH2 Gasoil					1						
LL1	LLVGO AT1							1	1			
LL2	LLVGO AT2							1	1			
LCO	LCO from ccu							1	1			
*	Fuel Pool											
AR1	Atmos Residue AT1							1	1			
VR1	Vacuum Residue VT1							1	1			
HCO	HCO from ccu							1	1			

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

puede ser veneno para el catalizador de reformación. Estas unidades se alimentan de la fracción de nafta media - pesada de la destilación atmosférica (70-180), que primeramente es hidrotratada para luego elevar el octanaje hasta 94 y enviarla así al separador del CCR donde el corte ligero es enviado al isomerizador y el pesado pasa a componente de la gasolina a tanque final. Ante la parada de esta unidad es necesario encontrar un destino, de forma tal que no haya un excedente en el balance existente de producción.

La primera modificación realizada al Caso Base se produjo en la Tabla CAPS, se le colocó el resultado se muestra en la Tabla 3.6, donde se define como valor de capacidad máxima de procesamiento de la unidad hidrotratadora de nafta (NHT1) y del reformador existente (REF) igual a cero.

Tabla 3.6: Modificación de la tabla CAP del PIMS.

	Text	Mín	Máx
CR01	Crude Section		
CAT1	Crude Unit #1 T/D (BLD)	0,00	Diseño
CAT2	Crude Unit #2 T/D (CNC)	0,00	Diseño
CVT1	Vac Unit #1 TPD (BLD)	0,00	Diseño
CVT2	Vac Unit #2 TPD (CNC)	0,00	Diseño
CR03	Naphtha Processing		
CPNU	PolyNaphtha Unit TPD	0,00	Diseño
→ CNH1	Naph Hydrotrt 1 TPD	0,00	0,00
CNH2	Naph Hydrotrt 2 TPD	0,00	Diseño
→ CCCR	Continuous Catalytic Reformer TPD	0,00	Diseño
CREF	Low Press Reformer TPD	0,00	0,00
CRSP	Reformate Splitter	0,00	Diseño
CISO	Isom TPD	0,00	Diseño
CR05	Distillate Processing		
CSWT	Sweet Kero TPD	0,00	Diseño
C2KO	Hydrotrt Kero TPD	0,00	Diseño
CGH1	GO Hydrotrt 1 TPD	0,00	Diseño
CGH2	GO Hydrotrt 2 TPD	0,00	Diseño
CR07	Cracking		
CHCK	Hydro Cracker TPD	0,00	Diseño
CMHC	Mild Hydro Cracker TPD	0,00	Diseño
CCFP	Cat feed pool	0,00	Diseño
CCCU	Cat Cracker TPD	0,00	Diseño

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

CR09	Other Processing		
CDCU	Delayed Coker TPD	0,00	Diseño

Luego en la tabla BLNMIX se le dan nuevos destinos a las corrientes de nafta media (MN1) de destilación atmosférica 1, la cual era alimentación al Reformador junto a la nafta pesada (HN1) de la misma procedencia, pero que ya tenía un segundo destino hacia la mezcla de Turbo combustible (Jet) limitado a un 16% máx. por el punto flash. El destino de ambas corrientes es hacia la mezcla de gasolina DON 87(ver tabla 3.7)

Se efectuó una corrida del modelo, que dejó fuera de balance estas dos corrientes: HN1 y MN1.

Se analizó el comportamiento de las calidades de la gasolina y se pudo comprobar que el requisito mínimo de octanaje de carretera (DON 87 min) estaba en el límite mínimo, por lo que se deduce que estas dos corrientes MN1 y HN1 se estaban limitando en volumen por esta razón, por lo que con el fin de incorporar al esquema toda la nafta como gasolina, y teniendo en cuenta su alto valor comercial, se pasó a eliminar el requerimiento en la tabla BLNSPEC (Ver Tabla Especificaciones de calidad de la gasolina para cada caso en Anexo 13).

Por otra parte existe una limitación en la producción de JET dado por la demanda del mercado, y se decidió aumentar la misma en la Tabla SELL dejando libre la producción máxima en la columna (MAX), considerando que estas paradas por emergencia transcurren en el menor tiempo posible.

Previendo que pudiera quedar un pequeño volumen de la corriente HN1 fuera de balance consideramos un mercado ocasional y un precio de venta existente y decidimos incorporar a la tabla SELL, la producción de nafta para la exportación(LNX) y en la tabla BLNMIX se le dio otro destino a la corriente HN1 hacia LNX (ver TABLA 3.7)

Tabla 3.7: Modificación de la tabla **BLNMIX** del PIMS.

TABLE	Product Blending Map											
	TEXT	LPG	M87	M90	JEX	DSX	DSL	HSF	LSF	BTM	CGF	LNX
Mogas Pool												
CNT	Cracked Naphta ccu		1	1								
ISS	Isomerase		1									

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

LNH	HCK Light Naphtha		1	1									
HRF	Hvy Reformate		1	1									
R94	Reformate 94		1	1									
PGA	Polynaphtha Gasoline		1										
LN1	Nafta Liviana		1	1									
HC4	HCK N-Butane			1									
MN1			1										
Distillate Pool													
GO1	DIESEL						1	1	1				
HN1	Heavy Naphta		1		1		1	1	1				1
LK1	Light Kero AT1				1								
HK1	Heavy Kero AT1						1	1	1				
KH1	Kero Hidrotratado				1								
LK2	Light Kero AT2				1		1						
HK2	Heavy Kero AT2						1						
*KER	Sweet Kero				1								
KEH	HCK Kerosene				1	1	1						
DLH	HCK Diesel					1	1						
HT1	GH1 Gasoil						1						
HT2	GH2 Gasoil					1							
LL1	LLVGO AT1							1	1				
LL2	LLVGO AT2							1	1				
LCO	LCO from ccu							1	1				

Al efectuar la corrida del modelo este converge e incorpora todas las corrientes.

3.3 Esquemas de mezclado para cada caso

La tabla 3.8 muestra la composición del esquema de gasolina para cada caso expuesto incluyendo el Caso Base.

Tabla 3.8: Esquema de mezclado del PIMS para cada caso.

Componentes de la Mezcla	Caso Base	Parada de MHC+ HCK	Parada del NHT1+REF
Nafta ligera (% vol)	3.97	3.37	0.75
Nafta ligera de HCK (% vol)	6.60	0	6.69

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

M Nafta de atm 1			8.43
H Nafta de atm 1			2.71
Reformado Pesado (% vol)	42.23	36.99	30.52
Isomerizado (% vol)	17.14	5.25	20.39
Butano de PNU (% vol)	1.56	0.35	1.63
Nafta de Polinafta (% vol)	4.63	5.94	4.69
Nafta craqueada (% vol)	23.86	45.64	24.17

Como se muestra el caso base como corrientes mayoritarias al Reformado pesado y la Nafta craqueada que son las de mayor aporte en el número de octano, en cuanto al Isomerizado emplea un 17% dada su condición de nulo contenido de azufre, aromáticos y benceno. El butano contribuye al ajuste de la presión de vapor.

Los esquemas de mezclado para los casos de parada por emergencia, mantienen como componentes mayoritarios la nafta del CCU y el Reformado pesado, pero incorpora corrientes directas de destilación como la nafta ligera, media y pesada.

Tabla 3.9: Calidad de la gasolina para cada caso.

Especificaciones de Calidad	Caso Base	Parada de MHC+ HCK	Parada de NHT1+REF
RVP	15,1997	15,1997	15,19
MON	82,4534	82,4534	80,54
DON	87,0107	87,0107	84,52
ARO	29,9004	30,2	24,2
BEN	0,5475	0,73	0,62
SUL	0,0003	0,0005	0,001
OLF	12,8782	21,23	13,05
RON	91,568	92	88,51

Al analizar la calidad de la gasolina para cada esquema propuesto (tabla 3.9), podemos decir que la mezcla para el caso base cumple los requerimientos de calidad de la gasolina para la exportación DON 87 según tabla 2.8 capítulo 2 de este trabajo.

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

El esquema propuesto para el caso sin MHC+HCK, la gasolina no cumple con las especificaciones de contenido de aromáticos y de benceno por lo que no puede ser exportada aunque se puede comercializar como Gasolina Motor 90 octanos, clasificación establecida en el catálogo de especificaciones de Cupet, para el mercado local (anexo7).

En cuanto a la calidad de la gasolina según el esquema de mezclado para el caso sin REF existente, no cumple con las especificaciones de la Gasolina para el mercado local RON 90 pero excede los requisitos de la gasolina para el mercado local RON 83 ya que esta especificación es RON= 88.51. Si se comercializa como RON 83, se harían regalos de calidad al cliente. Por lo que se recomienda evaluar económicamente si es más factible venderla como gasolina local RON 90 y ser penalizados.

3.4 Análisis de la Función Objetivo o Margen de Refinación para cada caso.

Tabla 3.10: Función objetivo para cada caso.

CASOS	Valor de la función objetivo (M USD/Día)
Caso Base	2315,8
Sin MHC+HCK	339,46
Sin NHT1+REF	1877,65

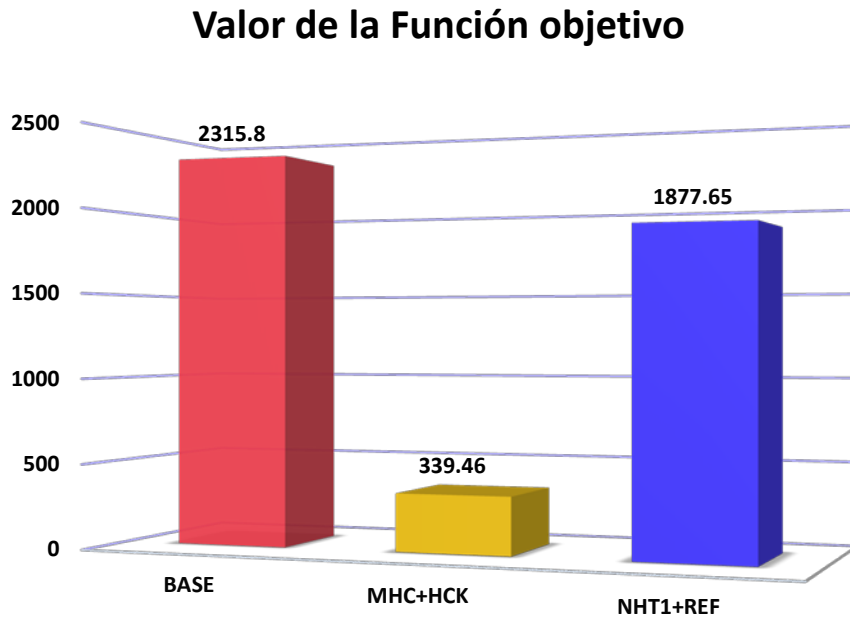


Figura 3.5: Grafica de comportamiento de la función objetivo para cada caso

Como se muestra en la Figura 3.5, la función objetivo disminuyó considerablemente en el caso Sin MHC+HCK, esto se debió a que se dejó de producir 23 896 Bbs/ día de gasolina lo cual equivale a 3 214 728,880 USD/ día (Reporte del PIMS). Se debe resaltar que esta disminución de la producción de gasolina también se vio influenciada por la reducción de la capacidad del CCU ante el cambio en la alimentación.

Al referirnos al caso Sin Reformador Existente, existe menos afectación, esto dado por el ruteo de las corrientes directas de destilación en la obtención de productos para la venta, lo que evitó incurrir en más gastos, se produjo mayor volumen de JET, producto de alto valor agregado, pero se debe señalar que fue imposible cumplir con los requerimientos de calidad de la gasolina para el mercado internacional, por lo que se produjo solo para el mercado local RON 90.



Conclusiones

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

- El esquema de mezclado para la gasolina propuesto para el caso en que todas las unidades de proceso se encuentra en operación es: 3.97 % de nafta liviana, 6.60% de Nafta ligera del HCK, 42.23 % de reformado pesado, 17.14 % isomerizado, 1.56 % butano de PNU, 4.63% nafta de la polinafta, 23.86 % de nafta craqueada.
- El esquema de mezclado para la gasolina propuesto para el caso de parada del MHC+HCK es: 2.80% de n- butano de PNU, 45.88% de nafta craqueada, 36.94 % de reformado pesado, 5.11 % de isomerizado, 2.94 % de nafta liviana, 5.97 % de gasolina polimerizada e incorporando un 0.35 % de butano de PNU.
- El esquema de mezclado para la gasolina propuesto para el caso de parada del Reformador Existente es: 0.75 % de nafta ligera, 6.69% de nafta ligera HCK, 8.43 %.
- Ante ambos escenarios de parada de las unidades de proceso MHC+HCK y Reformador Existente, y para un esquema de mezclado óptimo es imposible cumplir con los requerimientos de calidad para la gasolina DON 87.
- El esquema de mezclado propuesto para la gasolina, ante la parada por emergencia de las unidades MHC+HCK, cumple con las especificaciones de la Gasolina Motor 90 octanos destinada al mercado local.
- El esquema de mezclado propuesto para la gasolina, ante la parada por emergencia del Reformador Existente, cumple con las especificaciones de la Gasolina Motor 83 octanos destinada al mercado local.



Recomendaciones

RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

- Aplicar, dado el caso, el esquema de mezclado de gasolina propuesto para cada escenario de parada de planta expuesto en este trabajo.
- Realizar el análisis del comportamiento de la calidad de todos los productos de refinación ante este y otros escenarios de parada de plantas.
- Desarrollar un análisis de factibilidad para determinar las pérdidas económicas ocasionadas por la disminución de la producción de la gasolina, así como las ocasionadas por incumplimientos o regalías de calidad.
- Utilizar el algoritmo presentado para la elaboración futura de nuevos casos, procedimientos y con fines de programación.



Bibliografia

BIBLIOGRAFÍA

Abdullah M. Aitani, G. J. A. (2004). *Catalytic naphtha reforming*. CRC Press.

A.J. Gruia, J. S. (1996). *Science and Technology*. Marce Decker Inc.

Akzo Nobel. (2000). *Hydroprocessing Course*.

Alberto Quiros Corradi. (1997, junio 15). Las finanzas del petróleo (II), (El Nacional).

American Society for Testing and Materials. ASTM D5134 Standard Test Method for Detailed Analysis of Petroleum Naphthas through n-Nonane by Capillary Gas Chromatography (1997).

Anne K Rhodes. (1996, marzo 18). Venezuelan refiner completes \$2.5-billion refinery expansion, (Oil and Gas Journal Special).

A. Pietri. (1970). Representación de mezclas de gasolina en un modelo lineal. Caracas, Venezuela: U.C.V. – E.I.Q.

Arno de Klerk. (2008). *Fisher-tropsch refining* (Doctoral). University of Pretoria.

A. Taha. (2014). *Investigación de Operaciones* (7ma Edición.). México: Prentice Hall.

A. Vian Ortuño. (1997). *Introducción a la Química Industrial* (Segunda.). Madrid: Reverte, S.A.

Axens. (2011). *Process Data Book Isomerization unit* (Volume 1). Expansion of Camilo Cienfuegos Refinery.

Axens. (2011). *Process Data Book Catalytic Reformation unit* (Volume 1). Camilo Cienfuegos Refinery.

Axens. (2011). *Process Data Book Polynaphtha unit* (Volume 1). Expansion of Camilo Cienfuegos Refinery.

BIBLIOGRAFÍA

Axens. (2011). *Process Data Book Catalytic Cracking unit* (Volume 1). Expansion of Camilo Cienfuegos Refinery.

Axens. (2010). *Process Data Book Hydrocracking unit* (Volume 1). Expansion of Camilo Cienfuegos Refinery.

Bechtel Corporation. (1994). *PIMS USER'S MANUAL Versión 7.00*. U.S.A.

C. Azofeifa. (2003). Aplicación de Excel en la Investigación de Operaciones. Recuperado a partir de <http://www.una.ac.cr/mate/publicac/excel.htm>

CEPET. (1992). *Procesos de refinación*. Caracas, Venezuela.

CORPOVEN. (1999). Documento Técnico: Pasantía Regalías El Palito.

Eiman Ali. (2008). *Improvement of Gasoline Octane Number by Blending Gasoline with Selective Components*. (Degree of Master of Science in Chemical Engineering/Oil Refinery & Petrochemical Industry.). University Of Technology, Bagdad.

Ernest E. Ludwig. (1999). *Applied process design for chemical and petrochemical plants*. (3ra ed.). Houston, TX: Gulf Publishing Company.

E. Tarifa. (2001). *Optimización y Simulación de Procesos*. Universidad Nacional de Jujuy. Argentina.

E. Verruschi et al. (2009). Cómo planificar optimamente la cadena de suministros de una Refinería de Petróleos. *53, 13*.

F. Quintana. (s. f.). *Síntesis de procesos: Optimización Del Diseño De Plantas Química*. Departamento de Ingeniería Química Industrial y Medio Ambiente. Madrid. España.: Universidad Politécnica de Madrid.

G. J. Antos. (1995). *Catalytic Naphtha Reforming*. Marcel Dekker.

BIBLIOGRAFÍA

G. Speight. (2006). *The Chemistry and Technology of Petroleum* (Fourth.). New York: Taylor & Francis Group.

James Gary. (1979). *Petroleum Refinery Distillation*. Houston Texas: Gulf Publishing Company.

J.F. Le Page. (1987). *Applied Heterogeneous Catalysis*. Technip.

J. H. Gary, & G.E. Handwerk. (2001). *Petroleum Refining: Technology and Economics* (4ta ed.). New York: Basel: Marcel Dekker, Inc.

J. Lluch Urpí. (2000). *Tecnología y Margen del Refino*.

J. Marín. (2006). *Solver: La Navaja Suiza de la Programación Lineal*. Recuperado a partir de <http://jmingeneria.com/index.html?tabladecontenido.htm>

J.P. Favennec. (2001). *Refinery operation and management* (Technip., Vol. 5). París.

J.P. Wauquier. (2000). *Petroleum refining*. (Technip., Vol. 2). París.

J.P. Wauquier. (s. f.). *Crude oil petroleum products process flowsheets*. (Technip.). París: Instituto Francés del Petróleo.

LAGOVEN. (1996, octubre). *Guía de Especificaciones de Calidad de Productos LAGOVEN*.

L. ARTEAGA, & J. CHÁVEZ. (2000, noviembre). *Optimización de mezclas en la preparación de gasolinas terminadas*. PEMEX-Refinación.

L. VALERA, & R. HOLER. (1988). *Manual de Naftas y Gasolinas de la Refinería de Amuay*. LAGOVEN, Ingeniería de Procesos.

Manual de Operaciones. (1992). *Mezclador de gasolina*. Refinería Amuay.

M. A. Ramos Carpio. (1997). *Refino de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica*. Madrid, España: Fundación Fomento Innovación Industrial.

BIBLIOGRAFÍA

Mark P. Lapinski. (2008). Increasing catalytic reforming yields. *Catalysis*.

MathPro. (2011, octubre 24). Economía de la Energía: Optimización Aplicada. Recuperado a partir de www.mathproinc.com

M. Sahdev, Srivastava, & K. Jain. (2004). *Petroleum Refinery Planning and Optimization Using Linear Programming*. Recuperado a partir de http://www.cheresources.com/refinery_planning_optimization.shtml.

Muñecas Vidal M. Á. (2005). Caracterización y tratamiento del crudo de petróleo.

N. Pasadakis, Ch. Foteinopoulos, & V. Gaganis. (2006). Octane number prediction for gasoline blends, (*Fuel Processing Technology*).

Paul Geladi, & B. Kowalski. (1985). *Partial Least Squares Regression: A Tutorial*. Laboratory for Chemometrics and Center for Process Analytical Chemistry: University of Washington.

PDVSA. (2003). Introducción a los procesos de refinación. Refinería El Palito. Venezuela.

PDVSA-INTERVEP. (1994). Manual de Documentación Técnica del Modelo VTE.

Pierre Leprince. (2001). *Conversion Processes* (Technip., Vol. 3). París: Instituto Francés del petróleo.

P Leprince. (1995). *Petroleum Refining: Conversión Procceses* (Vol. Tomo 3). Paris, Francia: Institut Français du Pétrole Publications.

P. R Pujado, D. S. J. J. (2006). *Handbook of petroleum processing*. Springer.

R.A. Van. (2001, agosto). La gasolina y el gasóleo diesel a partir del 2005, (*Ingeniería Química*).

Reza Khavari Kohnehshahri. (2011). Modeling and Numerical Simulation of Catalytic Reforming Reactors, *1*, 7.

BIBLIOGRAFÍA

Ronald H. Fischer. (1987, junio 30). Production of high octane gasoline.

Steven M. Maggard. (1990, octubre 16). Octane measuring process and device.

Tom Darin Liskey. (1997, marzo 6). Marginal field crude production up, (The Daily Journal).

Unión Cuba Petróleos. (2008, diciembre). Catálogo de especificaciones de Cupet.

William Luyben. (1992). Process modeling simulation and control for Chemical Engineers. *Nueva York*.

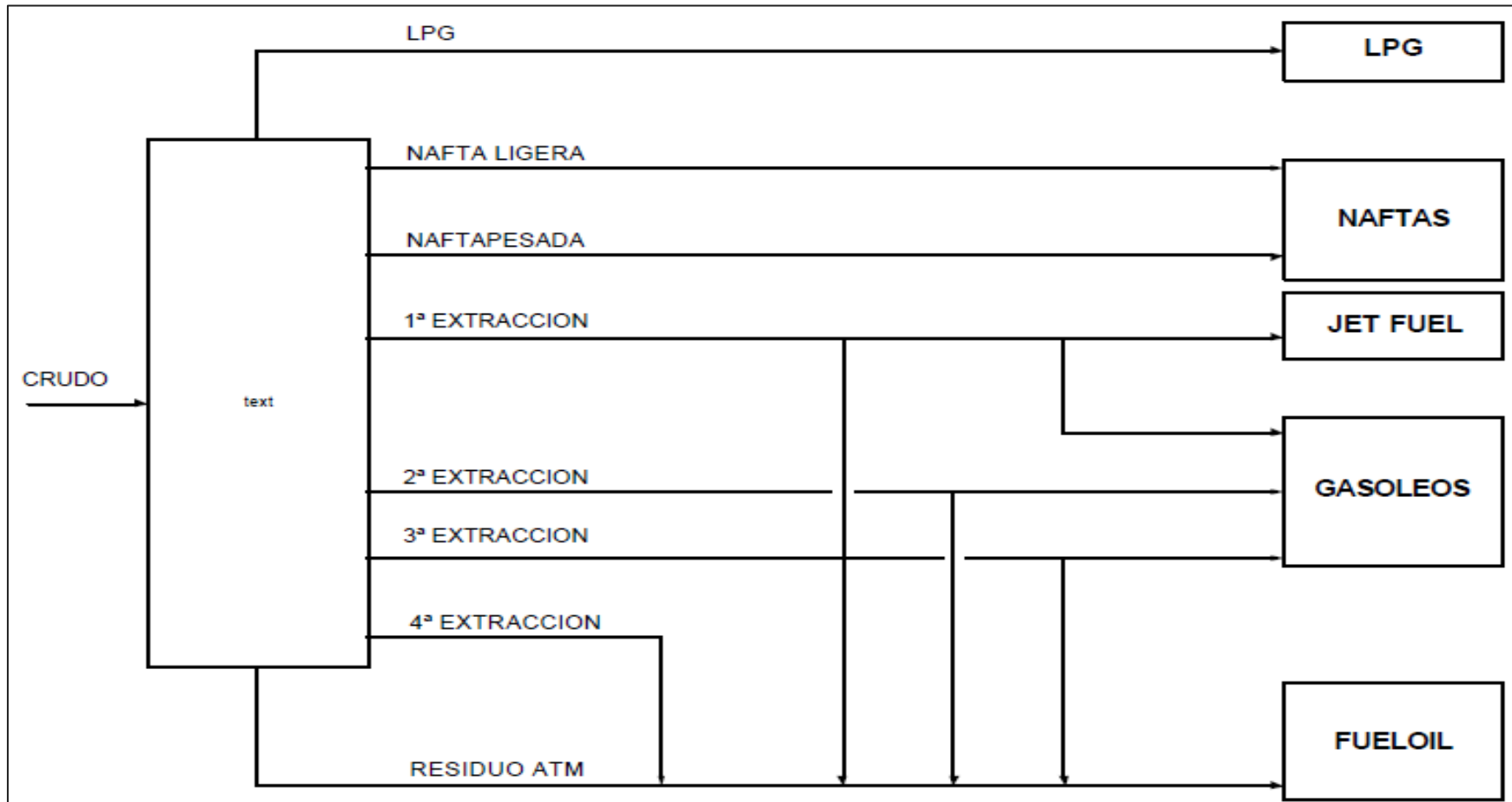


Anexos

ANEXOS

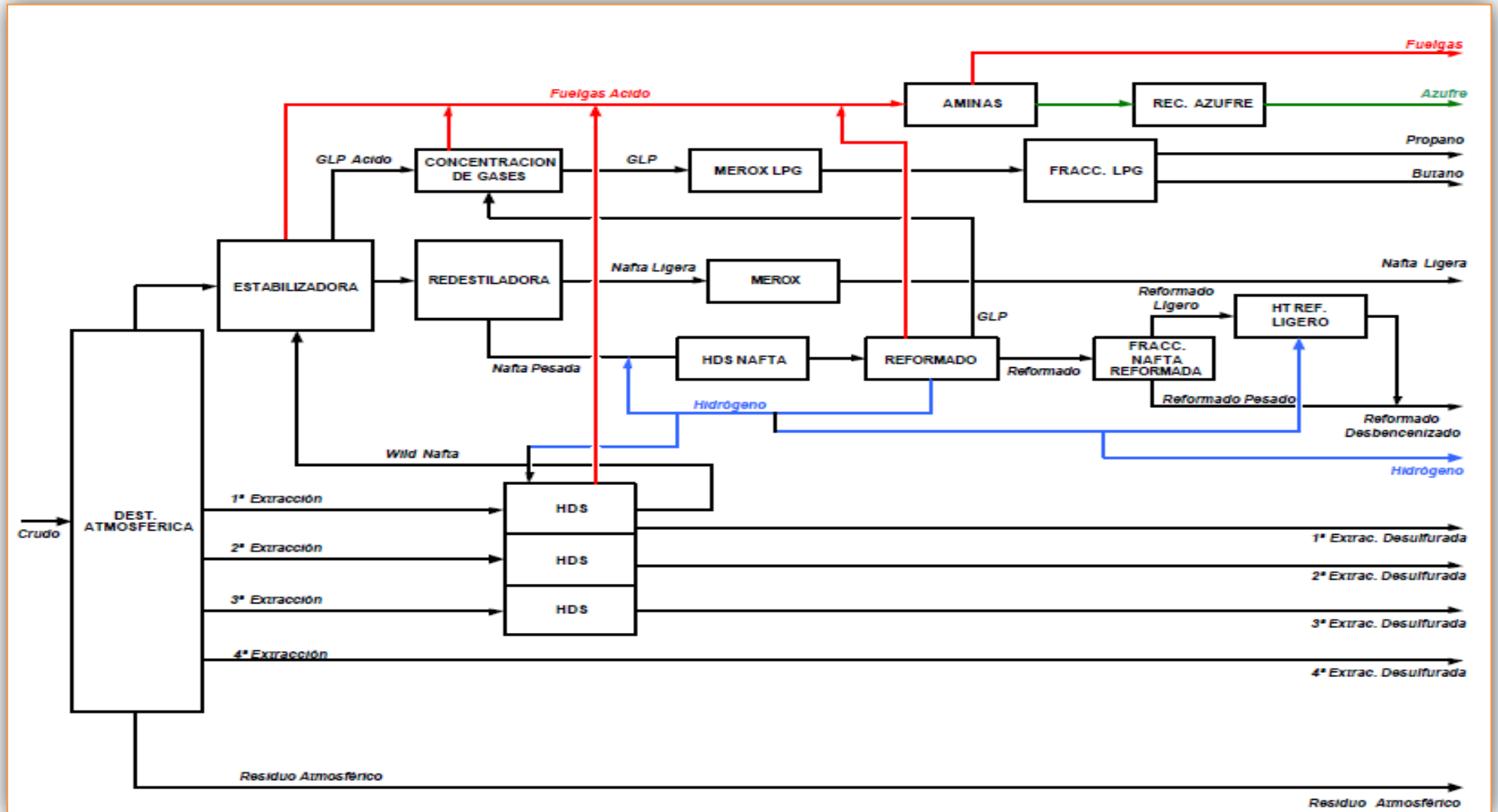
ANEXOS

Anexo 1: Esquema representativo del sistema de Topping. Fuente: Urpí, 2008.



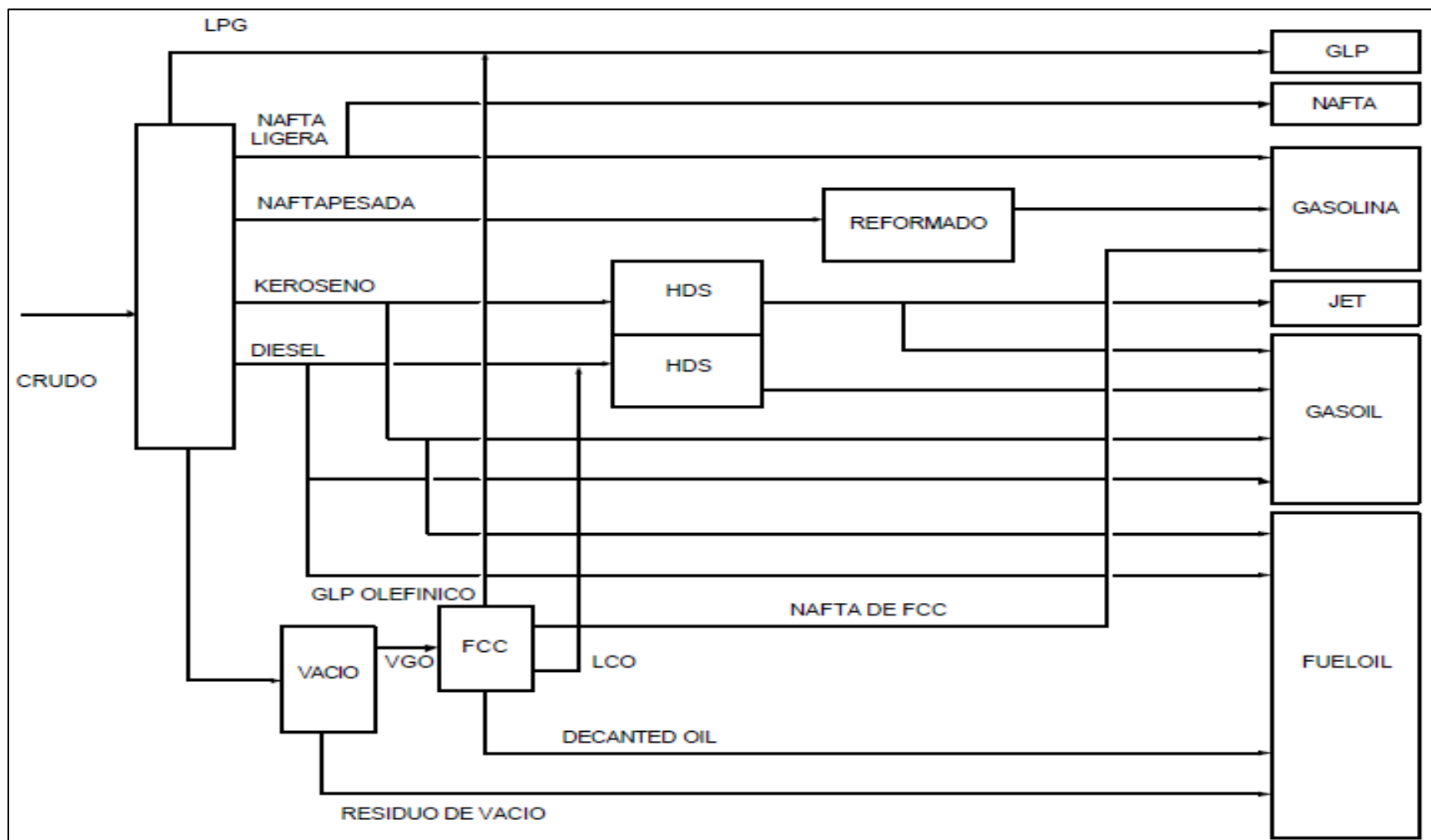
ANEXOS

Anexo 2: Esquema representativo del sistema Hidroskimming. Fuente: Urpí, 2008.



ANEXOS

Anexo 3: Esquema representativo del sistema de Conversión. Fuente: Urpí, 2008.



ANEXOS

Anexo 5: TABLE **BLNMIX** Caso parada de MHC+HCK.

TABLE	BLNMIX	Table of Contents										
*	Product Blending Map											
	TEXT	LPG	M87	M90	JEX	DSX	DSL	HSF	LSF	BTM	CGF	LNx
*	LPG											
NC3	Propane	1,000										
NC4	N-Butane	1,000										
IC4	I-Butane	1,000										
P3n	Propane from PNU	1,000										
P3=	Propylene from PNU	1,000										
B4i	iButane from PNU	1,000	1,000									
B4n	nButane from PNU	1,000	1,000									
B4=	Butylene from PNU	1,000										
PNF		1,000										
K4n		1,000	1,000	1,000								
K4t		1,000	1,000	1,000								
*	Mogas Pool											
CNT	Cracked Naphta from ccu		1,000	1,000								
ISS	Isomerase		1,000									
LNH	HCK LIGTH NAPHTHA		1,000	1,000								
HRF	Hvy Reformate		1,000	1,000								
R94	Reformate 94		1,000	1,000								
PGA	Polynaphtha Gasoline		1,000									
LN1	Nafta Liviana		1,000	1,000								1,000
HC4	HCK N-Butane			1,000								
*	Distillate Pool											
GO1	DIESEL						1,000	1,000	1,000			
HN1	Heavy Naphta				1,000		1,000	1,000	1,000			
LK1	Light Kero AT1				1,000							

ANEXOS

HK1	Heavy Kero AT1						1,000	1,000	1,000			
KH1	Kero Hidrotratado				1,000							
LK2	Light Kero AT2				1,000		1,000					
HK2	Heavy Kero AT2						1,000					
*KER	Sweet Kero				1,000							
KEH	HCK Kerosene				1,000	1,000	1,000					
DLH	HCK Diesel					1,000	1,000					
HT1	GH1 Gasoil						1,000					
HT2	GH2 Gasoil					1,000						
LL1	LLVGO AT1							1,000	1,000			
LL2	LLVGO AT2							1,000	1,000			
LCO	LCO from ccu							1,000	1,000			
*	Fuel Pool											
AR1	Atmos Residue AT1							1,000	1,000			
VR1	Vacuum Residue VT1							1,000	1,000			
HCO	HCO from ccu							1,000	1,000			
VR2	Vacuum Residue VT2									1,000		
HV2	High vacuum Gasoil VT2									1,000		
PFG	Gas Combustible										1,000	

ANEXOS

Anexo 6: Nomenclatura empleada por el PIMS.

Unidades:

GSU: Unidad de Endulzamiento de Gas
NH1: Hidrotratador de nafta 1
NH2: Hidrotratador de nafta 2
REF: Reformador existente
CCR: Reformación Catalítica Continua
RSP: Splitter de Reformación
RFT: mezcla del reformado pesado
RFL: mezcla del reformado ligero
ISO: Isomerización
PNU: Unidad de Polinafta
HYD: Planta de Hidrógeno
SGU: Planta de Gas Saturado
2KO: HKT
GH1: HDT-1
GH2: HDT-2
CFP: Corriente de Alimentación al CCU
CCU: Unidad de Craqueo Catalítico
DCU: Unidad coquificación retardada
HCK: Hidrocraqueo Catalítico
MHC: Hidrocraqueo Catalítico
SRU: Unidad de Recuperación de azufre

Componentes de los destilados:

GO1: Diesel
HN1: Nafta pesada
LK1: Kero ligero AT1
HK1: Kero pesado AT1
KH1: Kero Hidrotratado
LK2: Kero ligero AT2
HK2: Kero pesado AT2
KEH: Keroseno de HCK
DLH: Diesel de HCK
HT1: Gasoil de GH1
HT2: Gasoil de GH2

Productos:

LPG: Gas Licuado del Petróleo
M87: DON 87 para exportación
M90: Gasolina Local
LNX: Nafta Liviana
JEX: Jet A1
DSX: Diesel de Exportación
DSL: Diesel Local
HSF: Fuel Oil 1200
LSF: Fuel Oil 450
BTM: Bitumen
COQ: Coque
SRU1: Azufre

Componentes del Mogas:

CNT: Nafta Craqueada de CCU
ISS: Isomerizado
LNH: Nafta ligera de HCK
HRF: Reformado pesado
R94: Reformado 94
PGA: Gasolina de Polinafta
LN1: Nafta liviana
HC4: n-butano
LN1: Nafta ligera

Componentes del Fuel:

AR1: Atmos Residue AT1
VR1: Vacuum Residue AT1
HCO: HCO from ccu
VR2: Vacuum Residue VT2
HV2: Gasoil pesado de vacío VT2
LV2: Gasoil ligero de vacío 2
PFG: Gas Combustible
GOH: Aceite no convertido de HCK
NC3: Propano
IC4: iso- butano
NC4: Butano

Anexo 7: Especificaciones de la gasolina comercial. Fuente: Catálogo de ventas de Cupet.

<p style="text-align: center;">UNIÓN CubaPetróleo Gestión de la Calidad</p>					
Código		Versión		Páginas	
OC-GC/C 0614		02		14 de 81	
PRODUCTO: GASOLINA MOTOR SIN PLOMO 83 OCTANOS GASOLINA MOTOR SIN PLOMO 90 OCTANOS GASOLINA MOTOR SIN PLOMO 94 OCTANOS			CODIGOS: 2253010002 2253010004 2253010006		
EMPRESAS PRODUCTORAS: REFINERÍA "NICO LÓPEZ" REFINERÍA "HERMANOS DÍAZ" REFINERÍA "SERGIO SOTO" PRODUCTO IMPORTADO			PRINCIPALES CONSUMIDORES: MERCADO NACIONAL		
DESCRIPCION DEL PRODUCTO:		LÍQUIDO CLARO, TRANSPARENTE Y VOLÁTIL, OBTENIDO EN LA REFINACIÓN DEL PETRÓLEO CRUDO, MEDIANTE MEZCLAS DE DIFERENTES COMPONENTES.			
ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO					
INDICES DE CALIDAD	U/M	METODO DE ENSAYO	VALOR ESPECIFICADO		
			RON 83	RON 90	RON 94
1- No. DE OCTANO: INVESTIGATIVO (RON) MOTOR (MON)	- -	ASTM D 2699 ASTM D 2700	83 mín Reportar	90 mín Reportar	94 mín Reportar
2- PLOMO	g Pb/L	ASTM-D 3237, D 5059, IP 224	0.013 máx		
3- DESTILACION: INICIAL	°C	NC ASTM D 86	35 mín		
10 % EVAP.	°C		70 máx		
50 % EVAP.	°C		77 - 125		
90 % EVAP.	°C		190 máx		
FINAL	°C		225 máx		
RESIDUO	% v/v		2.0 máx		
RECOBRADO	% v/v		95 mín		
4- PRESION DE VAPOR A 37.8 °C	kPa (kgf/cm ²)	ASTM D 323, D 5190, D 5191	68 máx. (0.70 máx.)		
6- CORROSION AL Cu, 3h A 50 °C	-	NC ASTM D 130	1 máx		
7- GOMA EXISTENTE	mg/100 mL	NC ASTM D 381	5 máx		
8- PERIODO DE INDUCCION	min	ASTM D 525	240 mín (1)		
9- AZUFRE TOTAL	% m/m	NC ASTM D 1266, 4294	0.10 máx		
10- DENSIDAD A 15 °C	g/cm ³	NC ASTM-D 1298, 4052	Reportar		
11- APARIENCIA	-	VISUAL	(2)		
12- BENCENO	% v/v	ASTM D 3606	Reportar		
13- COMPOSICION: OLEFINAS	% v/v	REPORTAR	(3)		
AROMATICOS	% v/v		(3)		
SATURADOS	% v/v		(3)		

Anexo 8: Tabla SUBMODS Caso Base

* TABLE	SUBMODS
*	Submodel List
	TEXT
SCD1	CDU1, Mode 1
SCD2	CDU2, Mode 2
SGSU	Gas Sweeting Unit
SNH1	Naphtha Hydrotreater 1
SNH2	Naphtha Hydrotreater 2
SREF	HN Reformer 1
SCCR	HN Reformer 2
SRSP	Reformate Splitter
SRFT	Heavy Reformate Pool
SRFL	Ligth reformate Pool
SISO	LN Isomerization
SPNU	PolyNaphtha
SHYD	Hydrogen Plant CCR
SSGU	Sat Gas Plant
S2KO	HKT
SGH1	HDT -1
SGH2	HDT-2
SCFP	Cat feed pool
SCCU	Cat Cracking Unit
SDCU	Delayed Coker
*SVRP	Feed VB & AQC
SVBU	Visbreaker
*SAQC	Aquaconversion
SHCK	Hydrocracker
SMHC	Mild Hydrocracker
SSRU	Sulfur Recovery Unit
SPFS	Plant Fuel System
SWTV	Weight to Volume
SVTW	Volume to Weight

ANEXOS

Anexo 9: Tabla BLNREST

* TABLE	BLNREST	Table of Contents													
*	Blending Data - Rest of Stocks														
	TEXT	SPG	SPV	SUL	FRI	!FRI	FLI	!FLS	SMK	CTN	CLI	ARO	VBI	CCN	VAN
*	Distillate Pool														
*KER	Swt Kerosene	0,833		0,300	0,206	-52,600	263,41	140,000	22,000			24,000			
KEH	HCK Kerosene	0,799		0,001	0,158	-61,600	326,89	131,000	25,000	60,000	3,743	5,000			
DLH	HCK Diesel	0,829		0,001			326,89	131,000		60,000	167,182				
MGO	MHCGO from MHC	0,841		0,001			417,14	121,000		60,000	167,182				
PGO	PGO from PNU	0,841		0,000			417,14	121,000		60,000	167,182				
HT2	GH2 Diesel	0,841		0,001			417,14	121,000		51,000	167,182				
*HT2	GH2 Diesel														
*HT1	GH1 Diesel	0,856		0,199			534,56	111,000		50,000					
HT1	GH1 Diesel														
CGO	DCU LCGO									50,000					
*	Fuel Pool														
LL1	LLVGO AT1						11,73	286,000		50,000					
LL2	LLVGO AT2						11,73	286,000		50,000					
VR1	Vacumm Residue AV1						4,25	341,000							
VR2	Vacumm Residue AV2						4,25	341,000							
LCO	LCO from CCU	0,974		2,100			76,905	194,000		17,000		86,300	52,727		0,000
HCO	HCO from CCU	1,132		3,000			76,905	194,000					25,4749	9,200	0,000
GOH	HCK UNCONVERTED OIL	0,833		0,002			325,45	131,182					37,661	0,000	0,000
MUC	Unconverted from MHC	0,833		0,002			325,45	131,182					37,661	0,000	
*	Bitumen Pool														
BIT	Bitumen	1,027													
*	Coke														
COK	Coke	1,360		4,900											
LSA	PERDIDAS	0,800	1,250												

ANEXOS

Anexo 10: Tabla BLNSPEC

* TABLE	BLNSPEC		Table of Contents							
	TEXT	LPG	M87	M90	JEX	DSX	DSL	HSF	LSF	LNx
	RVP Max Spec, PSI	142,2	8,8	9,7						
XRVI	RVP Index	491,2	15,2	17,1						
NMON	MON min		82,0							
NRON	RON min			90,0						
NDON	DON (RON+MON)/2 min		87,0							
XARO	Aromatics, LV%		29		25					
XBEN	Benzenes, LV%		0,62							
XSUL	Sulfur, WT%		0,001	0,10	0,30	0,001	0,50	5,00	3,50	
XOLF	Olefins, LV%		30							
NSPG	Specific Gravity				0,7750		0,8150			
XSPG	Specific Gravity				0,8400	0,8450	0,8650	1,0100	0,9910	
XFRI	FREEZING POINT INDEX				0,2063875					
*	FREEZING POINT °F				-52,6					
XFLI	FLASH INDEX				698,6437	508,5142	508,5142	241,8335	241,8335	
*	MIN.FLASH POINT°F				100	113	113	144	144	
NSMK	SMOKE POINT NUMBER				19					
*	SMOKE POINT INDEX				0,0526316					
XCLI	IND.PTO.NUBE					240,7682				
*	PTO.NUBE °C					5				
NCTN	Cetane Number					51	46			
XVBI	Viscosity index max @ 50°C - 122°F (cSt)								23,75	
*	Viscosity @ 50°C - 122°F (cSt)								180,00	
NVBI	Viscosity index max @ 50°C - 122°F (cSt)							17,13	20,30	

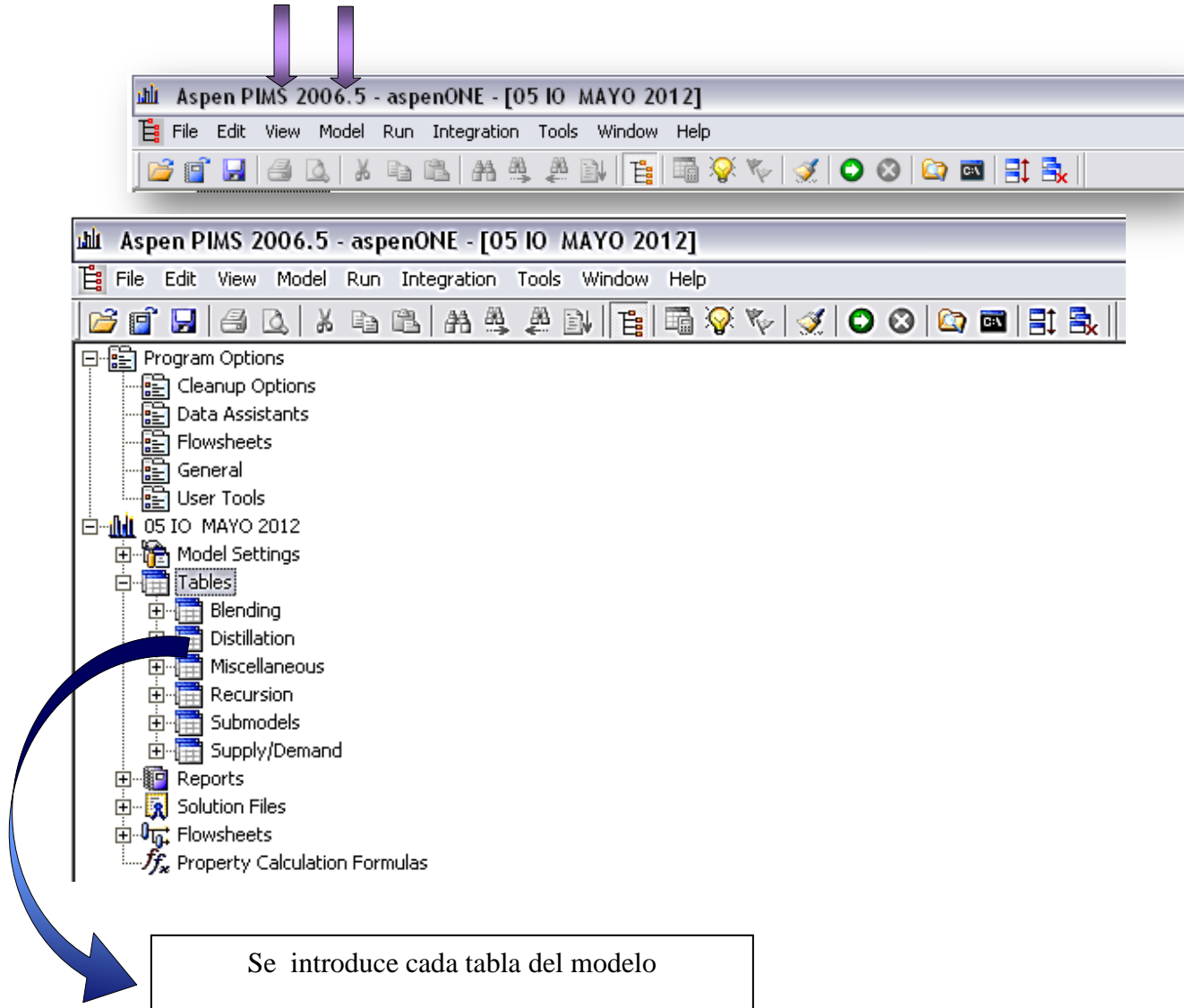
ANEXOS

Anexo 11: Tabla CRDCUTS.

* TABLE	CRDCUTS	Table of Contents		
*	Standard Crude Cutting Schemes and Pooling			
	TEXT	TYPE	CD1	CD2
*	Crude Type ->		"MESA/MEREY"	"MEREY"
*	Operating Mode ->		Fuels	Fuels
NC3	Propane	1	1	1
IC4	Iso-Butane	1	1	1
NC4	Butane	1	1	1
LN1	Light Naphta	1	1	2
MN1	M Naphta	1	1	
HN1	Heavy Naphta	1	1	2
LK1	Light Kero	1	1	2
HK1	Heavy Kero	1	1	2
GO1	Gasoil	1	1	2
AR1	Atmosferic Residue	2	1	2
LL1	LLVGO	3	1	2
LV1	LVGO	3	1	2
HV1	HVGO	3	1	2
VR1	Vacuum Residue	3	1	2

- Tipo 1: corte proviene de una unidad de destilación atmosférica
- Tipo 2: El corte es un residuo de vacío.
- Tipo 3: No cuenta con una disposición final aguas abajo del proceso.

Anexo 12: Ventana del PIMS para introducir el modelo.



ANEXOS

Anexo 13: Tabla Especificaciones de calidad de la gasolina para cada caso.

Especificaciones		Caso Base		Caso sin NHT1+ REF		Caso sin HCK+MHC	
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
RVI	RVP		15		15.20		15.20
MON	MON min	82				82	
DON	DON (RON+MON)/2 min	87				87	
ARO	Aromáticos, LV%		29		29.00		32.00
BEN	Benceno, LV%		0,62		0,62		0,80
SUL	Azufre, WT%		0,0010		0,0010		0,0010
OLF	Olefinas, LV%		30.00		30.00		30.00