

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

Tesis de grado:

**RECONFIGURACIÓN DE LA REFINERÍA ESMERALDAS
PARA MEJORAR LA CALIDAD DE LOS COMBUSTIBLES**

Realizado por:

ING. DIEGO GERMÁN TAPIA AYALA

Directora de la tesis:

ING. KATTY CORAL CARRILLO, MSc

Como requisito para la obtención del título de:

MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

Quito, 3 de Septiembre de 2013

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, DIEGO GERMAN TAPIA AYALA, con cédula de identidad # 0400588257, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado de calificación profesional; y, que ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por su normativa institucional vigente.

Diego Germán Tapia Ayala

CC: 0400588257

DECLARATORIA

El Presente trabajo de investigación titulado:

**“RECONFIGURACIÓN DE LA REFINERÍA ESMERALDAS
PARA MEJORAR LA CALIDAD DE LOS COMBUSTIBLES”**

Realizado por:

ING. DIEGO GERMAN TAPIA AYALA

Como requisito para la Obtención del Título de:

MAGÍSTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

ha sido dirigida por la profesora

ING. KATTY CORAL CARRILLO

Quien considera que constituye un trabajo original de su autor

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los profesores informantes:

WALBERTO GALLEGOS

ANA RODRÍGUEZ

Después de revisar el trabajo presentado, lo han calificado como
apto para su defensa oral ante el tribunal examinador

Ing. Ana Rodríguez

Ing. Walberto Gallegos

Quito, 3 de septiembre del 2013

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Internacional SEK por entregar conocimiento que no lo había tomado en cuenta en mi actividad profesional pues, incremento mi capacidad de análisis e hizo fácil la toma de decisiones en actividades que relacionan los aspectos ambientales. Mi agradecimiento a la Directora de tesis y al tribunal por las guías oportunas realizadas durante el desarrollo de este documento.

INDICE DE CONTENIDOS

CAPITULO I	14
1.1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	14
1.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.1.1.1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	14
1.1.1.2. PRONÓSTICO	15
1.1.1.3. CONTROL DE PRONÓSTICO	16
1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	16
1.1.3. SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.....	17
1.1.4. OBJETIVO GENERAL.....	17
1.1.5. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	17
1.1.6. JUSTIFICACIONES.....	18
1.2. MARCO TEORICO.....	19
1.2.1. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO SOBRE EL TEMA.....	20
1.2.1.12.1.- Oligomerización	40
1.2.1.12.2.- Proceso de Alquilación.....	42
1.2.1.12.3.- Configuración Compleja o Alta Conversión	43
1.2.1.12.4.- Coquizamiento Retardado	44
1.2.1.12.5.- Desasfaltado.....	46
1.2.1.12.6.- Hidrocraqueamiento.....	47
1.2.1.12.7.- Hidrocraqueo con Lecho Ebullición	49
1.2.1.12.8.- Gasificación	51
1.2.1.12.9. Discusión sobre Tecnologías de Alta Conversión	52
1.2.1.12.10.- Conocimiento de la Calidad del Aire de la Refinería Esmeraldas	54
1.2.2. ADOPCION DE UNA PERSPECTIVA TEORICA.....	57
1.2.3. MARCO CONCEPTUAL	58
1.2.3.3.1.- Gas Licuado de Petróleo GLP.	62
1.2.3.3.2.- Gasolinas	62
1.2.3.3.3. Gasóleo o Diesel	63
1.2.3.3.4. Fuel Oil.....	64
1.2.4. HIPÓTESIS	67
1.2.5. IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES	68
CAPÍTULO II	69
CAPITULO III	92

LISTA DE CUADROS	Pág.
Cuadro 1. Reacciones de hidrotratamiento	17
Cuadro 2. Reacciones de isomerización	21
Cuadro 3. Reacciones de reformación catalítica	24
Cuadro 4. Unidades instaladas en la Refinería Esmeraldas	27
Cuadro 5. Especificación de la carga a oligomerización	31
Cuadro 6. Especificación del oligómero liviano	31
Cuadro 7. Comparación de los procesos de alta conversión	43
Cuadro 8. Resultado del monitorio de las fuentes fijas	45
Cuadro 9. Rendimiento de Refinerías de diferente complejidad	50
Cuadro 10. Efectos por exposición al SO ₂	56
Cuadro 11. Características futuras de la gasolina Súper	64
Cuadro 12. Características futuras de la gasolina Extra	64
Cuadro 13. Especificaciones futuras del Diesel de consumo automotriz	65
Cuadro 14. Características futuras del Diesel de consumo industrial eléctrico y naviero	65
Cuadro 15. Características futuras del Fuel Oil No. 4	66
Cuadro 16. Especificaciones actuales de la gasolina Extra	67
Cuadro 17. Especificaciones de la gasolina Súper	67
Cuadro 18. Especificaciones del Diesel de consumo automotriz	68
Cuadro 19. Especificaciones actuales del Diesel de consumo industrial electro y naviero	68
Cuadro 20. Especificaciones del Fuel Oil No. 6 para térmicas y consumo interno	69
Cuadro 21. Especificaciones de Fuel Oil No. 4 para térmicas y consumo interno	70
Cuadro 22. Características del crudo	71
Cuadro 23. Precios de crudos nacionales	71
Cuadro 24. Costo de los fletes	72
Cuadro 25. Precios internacionales de crudo y derivados	73

Cuadro 26. Características de la nafta importada	74
Cuadro 27. Calidad de la producción actual de la Refinería Esmeraldas	75
Cuadro 28. Variación de la demanda	76
Cuadro 29. Producción e importación de derivados	77
Cuadro 30. Nuevas unidades	81
Cuadro 31. Comparación de los procesos	100
Cuadro 32. Comparación de los Balances másicos	101
Cuadro 33. Comparación de balances volumétricos	103
Cuadro 34. Comparación del consumo de servicios auxiliares	103
Cuadro 35. Composición del Fuel Oil para consumo de la Refinería Esmeraldas	104
Cuadro 36. Calidad del Fuel Oil que se consumirá en Refinería y térmicas	104
Cuadro 37. Importaciones para operar la Refinería según caso 5	105
Cuadro 38. Intercambio con RDP	105
Cuadro 39. Componentes de la gasolina Extra	107
Cuadro 40. Calidad de la gasolina Extra	108
Cuadro 41. Componentes de la gasolina Súper	109
Cuadro 42. Calidad de la gasolina Súper	109
Cuadro 43. Calidad del Jet A1	110
Cuadro 44. Calidad del Diesel	111
Cuadro 45. Componentes del Fuel Oil No. 4	113
Cuadro 46. Calidad del Fuel Oil No. 4	113
Cuadro 47. Componentes del Fuel Oil No. 6	114
Cuadro 48. Calidad del Fuel Oil No. 6	115
Cuadro 49. Montos de las inversiones para cada caso	116
Cuadro 50. Resumen de los resultados de la evaluación económica	117

LISTA DE GRAFICOS	Página
Gráfico 1. Destilación atmosférica 1 de la Refinería Esmeraldas	12
Gráfico 2. Destilación al vacío 1 de la Refinería Esmeraldas	14
Gráfico 3. Estructura reactor regenerador de la unidad de FCC	15
Gráfico 4. Hidrotratamiento de diesel	17
Gráfico 5. Diagrama de flujo de la unidad de visco reducción	17
Gráfico 6. Diagrama de flujo de la unidad de isomerización	19
Gráfico 7. Esquema de reformación catalítica continua	23
Gráfico 8. Proceso de la unidad de recuperación de azufre, proceso Claus	27
Gráfico 9. Esquema actual de los procesos de la Refinería Esmeraldas	29
Gráfico 10. Esquema de la unidad de alquilación	33
Gráfico 11. Esquema de la unidad de coquizamiento retardado	35
Gráfico 12. Esquema de la unidad de desasfaltado	37
Gráfico 13. Esquema de una unidad de hidrocraqueamiento	39
Gráfico 14. Esquema de una unidad de hidrocraqueo con lecho ebullido	40
Gráfico 15. Esquema de una unidad de gasificación de residuos	42
Gráfico 16. Esquema de una unidad de hidrotratamiento	51
Gráfico 17. Esquema de la configuración caso 1 con balance en masa	84
Gráfico 18. Esquema de refinación caso 1 con balance en volumen	85
Gráfico 19. Esquema de la configuración caso 2 con balance en masa	86
Gráfico 20. Esquema de la configuración caso 2 con balance volumétrico	87
Gráfico 21. Esquema de la configuración caso 3 con balance en masa	91
Gráfico 22. Esquema de refinación caso 3 balance en volumen	92

Gráfico 23. Esquema de refinación caso 4 balance volumétrico	94
Gráfico 24. Esquema de la configuración caso 4 A balance en volumen	97
Gráfico 25. Esquema de la configuración caso 4 B con balance en volumen	99
Gráfico 26. Nueva reconfiguración de la Refinería Esmeraldas	121

RESUMEN

Desde hace muchos años el Ecuador enfrenta una situación crítica, caracterizada por graves restricciones para cumplir uno de los objetivos ambientales principales, como es el mejoramiento de la calidad del aire, las limitaciones se producen debido a que todos los automotores consumen combustibles que no están acordes con las normas internacionales de calidad. Por otro lado, EP PETROECUADOR, en algunos segmentos de la cadena de valor, operan con infraestructura obsoleta, mantenimiento deficiente, una antigüedad que rebasan los estándares permisibles, y niveles de saturación que implican riesgos elevados para su operación. Esta situación es especialmente crítica en el caso de la infraestructura de producción de derivados, la cual ha permanecido sin cambios durante casi 20 años, frente a una demanda interna de derivados en calidad y cantidad a tasas muy elevadas. La situación antes descrita ha propiciado un aumento de las importaciones de derivados, fundamentalmente gasolina, diesel y GLP. Esto representa un riesgo para la soberanía energética del país, ya que no es posible disminuir las importaciones de derivados de petróleo. Bajo este contexto, se ha propuesto en ésta investigación el cambio de configuración de la Refinería Esmeraldas diseñada para procesar petróleo local y producir combustibles limpios con calidad Euro V y cubrir la demanda de gasolina y diesel de las provincias de Pichincha, Imbabura, Carchi, Tungurahua, Cotopaxi y Chimborazo, utilizando la programación lineal que procesa datos como: composición, utilizando la programación lineal que procesa datos como: composición físico-química del crudo; precios del crudo y derivados; calidad deseada de los derivados, rendimiento de las unidades y las demandas de

los productos, el programador lineal soluciona las matrices y generó cinco casos posibles de reconfiguración, de los cuales se escogió un esquema.

PALABRAS CLAVES

Refinería de conversión, programación lineal, simulaciones, balance de materiales.

ABSTRACT

For many years the Ecuador faces a critical situation, characterized by severe constraints to fulfill one of the main environmental objectives, such as improving air quality, limitations occur because all fuel consuming vehicles that are not consistent with international quality standards. On the other hand , EP Petroecuador, in some segments of the value chain , operate technologically obsolete infrastructure , poor maintenance , an antique that exceed the permissible standards , and saturation levels that involve a high risk for operation. This situation is particularly critical in the case of derivatives production infrastructure, which has remained unchanged or updated for almost 20 years, compared to a derivative domestic demand increases in quality and quantity at very high rates. The situation described above has led to an increase in imports of oil products, mainly gasoline, diesel and LPG. This represents a risk to the country's energy sovereignty, it is not possible to reduce imports of petroleum products. In this context , it has been proposed in this research the configuration change Esmeraldas refinery designed to process local crude , clean fuels produce Euro V quality and meet the demand for gasoline and diesel in Pichincha , Imbabura , Carchi , Tungurahua , Cotopaxi and Chimborazo , using linear programming processes data as: composition , using linear programming processes data as physical and chemical composition of crude oil prices and derivatives, derivatives desired quality , performance units and product demands , the scheduler solves linear arrays and generated five possible cases reconfiguration, which was chosen scheme.

KEYWORDS

Refinery of conversion, linear programming, simulation, material balance.

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1.1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

La mezcla de gasolina que se obtiene con el actual esquema de refinación, no cumple con las especificaciones de calidad establecidas como requisitos en las normas técnicas nacionales que más adelante se indican, siendo necesario importar gasolina de buena calidad para ajustar la calidad de los combustibles distribuidos en el Ecuador. La unidad de FCC (unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, por sus siglas en inglés), produce gasolinas con valores en el contenido de azufre superiores a 1.600 ppm y la unidad de Viscorreducción produce nafta con aproximadamente 3.500 ppm de azufre. La Norma Ecuatoriana INEN NTE 935, en la actualidad establece 650 ppm de Azufre en la gasolina extra y súper (Estadística del Laboratorio de Control de Calidad, EP Petroecuador, 2012).

Por otro lado, debido al alto contenido de azufre en el Fuel Oil, de aproximadamente 21.000 ppm, utilizado en hornos y calderas de la Refinería Esmeraldas y, en las centrales térmicas de sus zonas de influencia, existe un problema sin resolver, la cantidad de SO₂ en el aire sobrepasa los límites permitidos en el Acuerdo Ministerial No. 091 promulgado en el Registro Oficial No. 430 del 4 de enero del 2007. Las elevadas concentraciones de SO₂ pueden producir enfermedades crónicas como: problemas en las vías respiratorias

llegando inclusive a adquirir el EPOC (Enfermedades Pulmonares por Obstrucción Crónica) (Oviedo, Diapositivas de Riesgos Ambientales, 2012).

La manera de resolver este problema es llevar el análisis al campo tecnológico, de tal manera que permita eliminar el problema desde la raíz; es decir, reduciendo la cantidad de azufre en el combustible líquido (Fuel Oil).

Para la solución del problema es necesaria la reconfiguración de la refinería cuyo principal objetivo es la reducción del contenido de azufre en los combustibles que produce la Refinería Esmeraldas, incluido el combustible que se consume en la refinería y en las centrales térmicas ubicadas en las cercanías de la refinería, de esta manera, se contribuirá a mejorar la calidad de vida de las personas que habitan en los barrios aledaños a la refinería de Esmeraldas, de los trabajadores del complejo de refinación y de todos los habitantes del país donde se consumirán estos combustibles.

La solución del problema se enmarca en la Constitución de la República y en el Plan del Buen Vivir elaborado por la SENPLADES.

1.1.1.2. PRONÓSTICO

Si el Estado Ecuatoriano no toma acción sobre las emisiones de las fuentes fijas de la Refinería Esmeraldas, se incrementarán los casos de enfermedades del sistema respiratorio en los trabajadores y pobladores vecinos al complejo, como consecuencia de esto, la protesta ciudadana sería una respuesta inmediata a la falta de atención en este aspecto; llegando inclusive a situaciones legales que pueden complicar la normal operación de la refinería.

Frente a la refinería de Esmeraldas, se está construyendo una nueva central térmica de aproximadamente de 100MW, cuya fuente de energía será el mismo Fuel Oil que produce y consume la refinería de Esmeraldas. Este hecho, sino se toman medidas tecnológicas, agravará más el problema, toda vez que la central térmica actual de 135MW también consume el fuel oil antes indicado con contenidos de azufre del 2,1% (21.000ppm azufre) (Archivo de Control de Calidad de Refinería Esmeraldas, 2012).

1.1.1.3. CONTROL DE PRONÓSTICO

Reducir el contenido de azufre de las gasolinas a través de procesos de refinación reconfigurados, de tal forma que se reduzca la contaminación ambiental al tiempo de reducir las importaciones de nafta de alto octano.

Reducir la cantidad de azufre contenido en el Fuel Oil mediante la introducción de tecnologías apropiadas, de tal forma que cuando se quemen en los hornos y calderas las emisiones de estas fuentes fijas estén dentro de los límites permisibles de emisiones establecidas en el Acuerdo Ministerial No. 091 Tabla 1, que fija el límite permisible de SO₂ (1.650mg SO₂ /m³ de emisión) (Registro Oficial No. 430, 2007).

1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Es factible reconfigurar la Refinería Esmeraldas con tecnologías viables para modificar el esquema de refinación, de tal forma que permita mejorar la calidad de los combustibles?

1.1.3. SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿De qué manera se seleccionarán las tecnologías para resolver el problema propuesto?

La introducción de nuevas tecnologías para modificar el esquema de refinación involucra inversiones. ¿Las indicadas inversiones incrementarán el margen de refinación?

¿Cuál sería el nivel SO_2 en las emisiones de las fuentes fijas una vez que se haya reconfigurado el esquema de refinación de la refinería de Esmeraldas?

¿Cuál sería el impacto ambiental posterior a la instalación de las nuevas tecnologías de proceso?

¿De qué forma se evidenciaría el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes de los barrios aledaños a la refinería de Esmeraldas?

1.1.4. OBJETIVO GENERAL

1.1.4.1 Reconfigurar el esquema de procesos de refinación de la Refinería de Esmeraldas para mejorar la calidad de los combustibles líquidos, utilizando la programación lineal, modelando la refinería existente y creando casos factibles de reconfiguración.

1.1.5. OBJETIVOS ESPECIFICOS

1.1.5.1. Reconfigurar la Refinería para disminuir la cantidad de azufre en el fuel oíl que se consume en la refinería Esmeraldas, Central Térmica de Esmeraldas (actual) y Central Térmica futura utilizando modelos de programación lineal.

1.1.5.1. Mediante simulaciones, crear modelos de refinación para disminuir la cantidad de azufre en las gasolinas que produce la refinería de Esmeraldas y que provienen de la unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado (FCC), unidad de Viscosreducción, y otras unidades que podrían instalarse como producto del estudio de reconfiguración de la refinería.

1.1.5.2. Conseguir. A través de la reconfiguración, incrementar los volúmenes de combustibles líquidos al máximo posible, de tal manera que se eleve el margen de refinación. Consecuencia de lo indicado, se logrará que los proyectos ambientales propuestos se financien por si solos.

1.1.6. JUSTIFICACIONES

La Refinería Esmeraldas importa aproximadamente 21.000 BPD de nafta de 95 número de Octano RON con bajo contenido de azufre (menos de 50 ppm) para mezclar con las actuales producciones de nafta y de esta manera lograr especificar según la norma INEN NTE 935 (Instituto Ecuatoriano de Normalización) para la comercialización (Estadística de la Gerencia de Comercio Internacional, EP Petroecuador, 2012)

El mayor consumo de combustibles en fuentes móviles lo realiza el parque automotor. La Norma INEN NTE 935 vigente, determina que el contenido de azufre máximo en las gasolinas es de 650 ppm, valor que a nivel internacional es considerado alto. La norma Internacional (EURO IV) establece que las gasolinas deben tener menos de 50 ppm de azufre y la EURO V establece menos de 10 ppm (Worldwide Fuel Charter, 2006)

El combustible para los automotores livianos que circulan en Quito, proviene de la Refinería Esmeraldas mediante el poliducto Esmeraldas – Santo Domingo y Santo Domingo – Quito. Con la reconfiguración de la Refinería Esmeraldas, el consumidor final de Quito tendrá a su alcance gasolinas con menos de 50 ppm de azufre, contribuyendo de esta manera al mejoramiento de la calidad del aire de Quito.

La Refinería Esmeraldas y las Térmicas (actual y futura) consumirán aproximadamente 12.000 BPD de Fuel Oil cuyo contenido de azufre es de 2.1%, cantidad que se considera muy alta y que está produciendo emisiones fuera de norma (Estadística de Programación y laboratorio de Control de Calidad de la Refinería Esmeraldas, 2012)

La reconfiguración de la refinería traerá consigo un mejoramiento en el rendimiento económico que permitirá financiar el proyecto.

1.2. MARCO TEORICO

1.2.1. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO SOBRE EL TEMA

Se tiene conocimiento que existe la tecnología para procesar los residuos atmosféricos y de vacío, los mismos que mediante la acción de catalizadores y reacciones con hidrógeno, incrementan la producción de productos blancos como: Gas Licuado de Petróleo GLP, gasolinas, y diesel y a la vez mejoran calidad de los indicados combustibles hasta obtener las normas internacionales EURO IV, EURO V e inclusive EURO VI.

En los últimos diez años, en Norteamérica, las refinerías con mediana conversión que producían derivados con baja calidad de combustibles y con una excesiva cantidad de residuos, optaron por modificar el esquema de refinación introduciendo tecnologías de alta conversión.

En América Latina, países como: Chile y Venezuela han implementado tecnologías de alta conversión con gran éxito; otros países de la región como: Perú y Colombia están en planes de reconfigurar sus respectivas refinerías de acuerdo a las necesidades que están presentes.

En cuanto a Ecuador, EP Petroecuador a través de empresas dueñas de tecnología, ha analizado la posibilidad de implementar la tecnología de alta conversión en la refinería de Esmeraldas. El desacierto de estas contrataciones es la poca imparcialidad que presentan los licenciantes o dueños de tecnología, debido a que, cada cual tiende a recomendar sus propios procesos.

El autor del presente trabajo está en la capacidad de realizar un estudio de manera independiente y recomendar el esquema y las tecnologías más adecuados para resolver los problemas planteados.

La Refinería Estatal Esmeraldas, REE, se encuentra ubicada en la ciudad de Esmeraldas en el km 4,5 vía Atacames. Actualmente procesa 110.000 barriles de petróleo entre 23 y 27 grados API el cual es transportado desde los campos petroleros del Oriente ecuatoriano a través del Sistema de Oleoducto Trans-ecuatoriano (SOTE), parte de este crudo es refinado y el resto se destina a la exportación a través del Terminal Marítimo Balao. (Instituto Francés del Petróleo, 1994).

La REE inició su operación en 1976, con una capacidad de 55.000 barriles diarios, con un crudo de 28 °API, en 1987 se realizó su primera ampliación a 90 mil barriles diarios, manteniendo la misma calidad del crudo. A comienzos de 1995, se inició la segunda ampliación, a 110 mil barriles diarios, con la característica de acondicionamiento para tratar los crudos pesados 23 a 27.5 °API (Intendencia de Refinación de la Refinería Esmeraldas, 2012).

La Refinería de Esmeraldas produce Gasolina Extra y Súper, Diesel Premium, Jet A1, Gas Licuado de Petróleo GLP), Fuel Oil No. 4, Fuel Oil No. 6, Cemento Asfáltico, además de Butano, Propano y Azufre Sólido. (Intendencia de Refinación de la Refinería Esmeraldas, 2012).

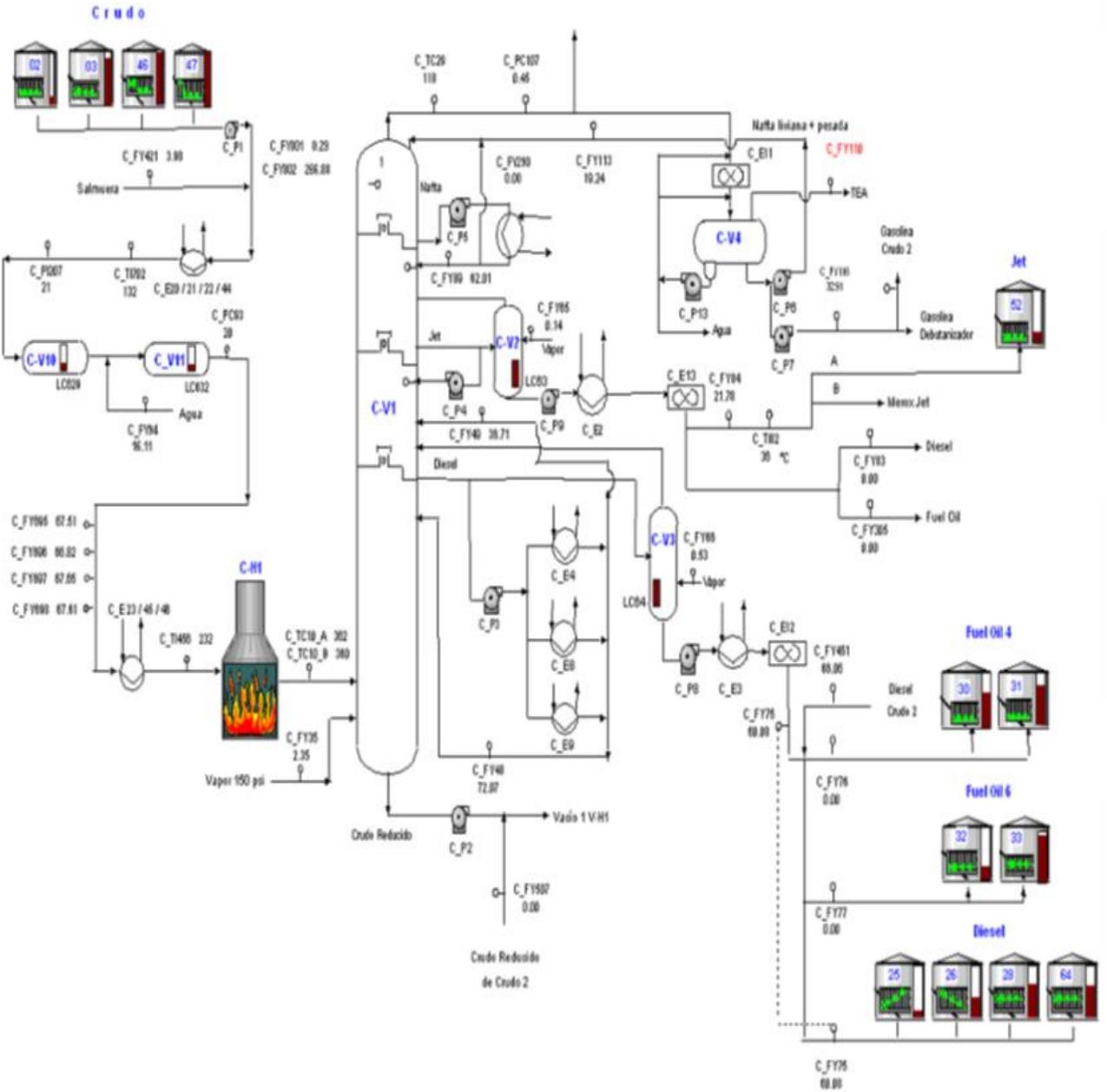
Para producir los combustibles antes citados requiere de la operación y mantenimiento de las siguientes unidades de procesos:

1.2.1.1. Destilación Atmosférica.-

Consta de dos unidades de 55.000 BDP de capacidad cada una. Procesa crudos de entre 23-27,2 °API. En estas unidades, la materia prima es sometida previamente al proceso de desalado para la eliminación de cloruros (sales) con lo cual se evita la corrosión de los equipos. El crudo se calienta a 350°C e ingresa a las torres de destilación atmosférica, en donde se produce la separación de los distintos productos sobre la base de los diferentes puntos de ebullición (Intendencia de Refinación de la Refinería Esmeraldas, 2012).

Gráfico 1

Destilación Atmosférica 1 de la Refinería Esmeraldas



Fuente: Badillo, Refinería Esmeraldas, 2013

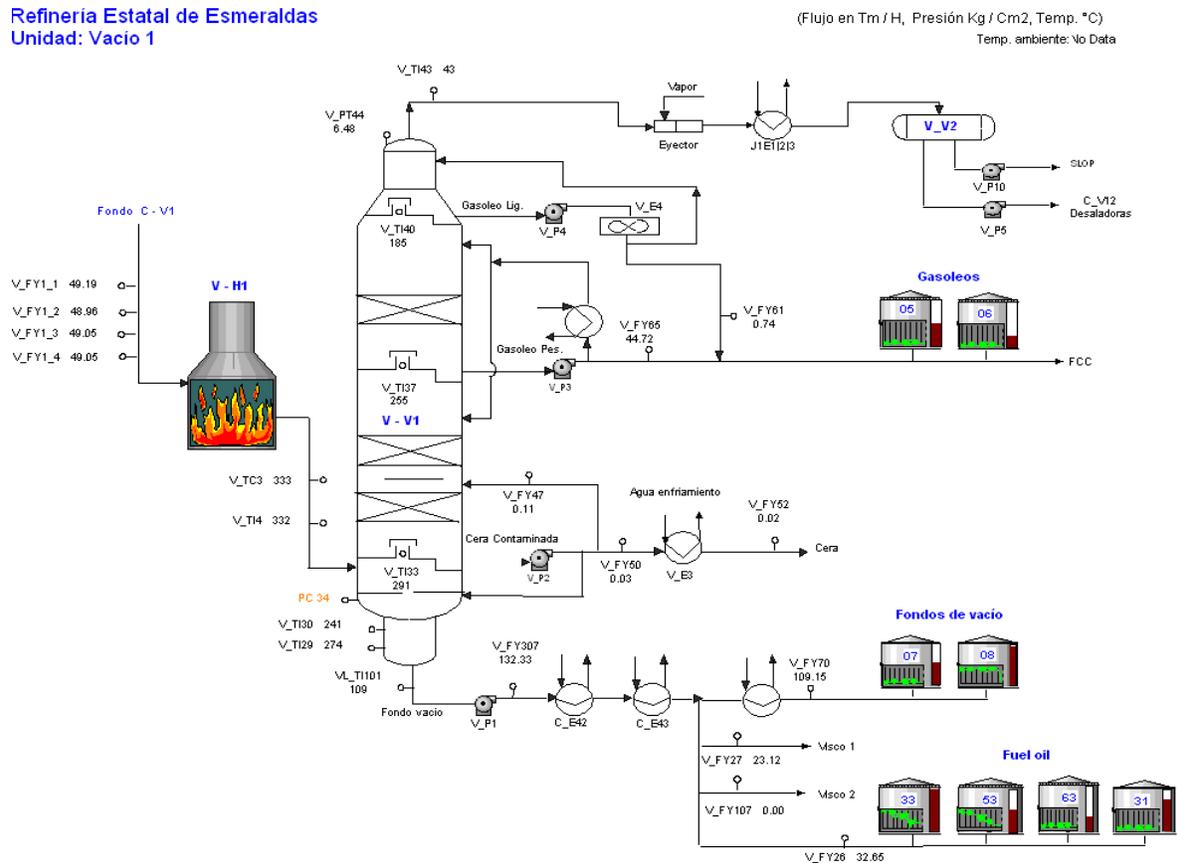
1.2.1.2. Unidad de Vacío

El crudo reducido, formado por fracciones de petróleo sobre los 350°C, se descompone térmicamente, se somete a fraccionamiento a presión de vacío. En este proceso, el crudo reducido, previamente calentado, se separa en gasóleo (pesado y liviano) y fondos de vacío. Los gasóleos sirven de alimentación a las Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado (FCC) (Badillo, Manual de Operaciones, Refinería Esmeraldas, 2013)

Gráfico 2

Destilación al Vacío 1 de la Refinería Esmeraldas

Refinería Estatal de Esmeraldas
Unidad: Vacío 1



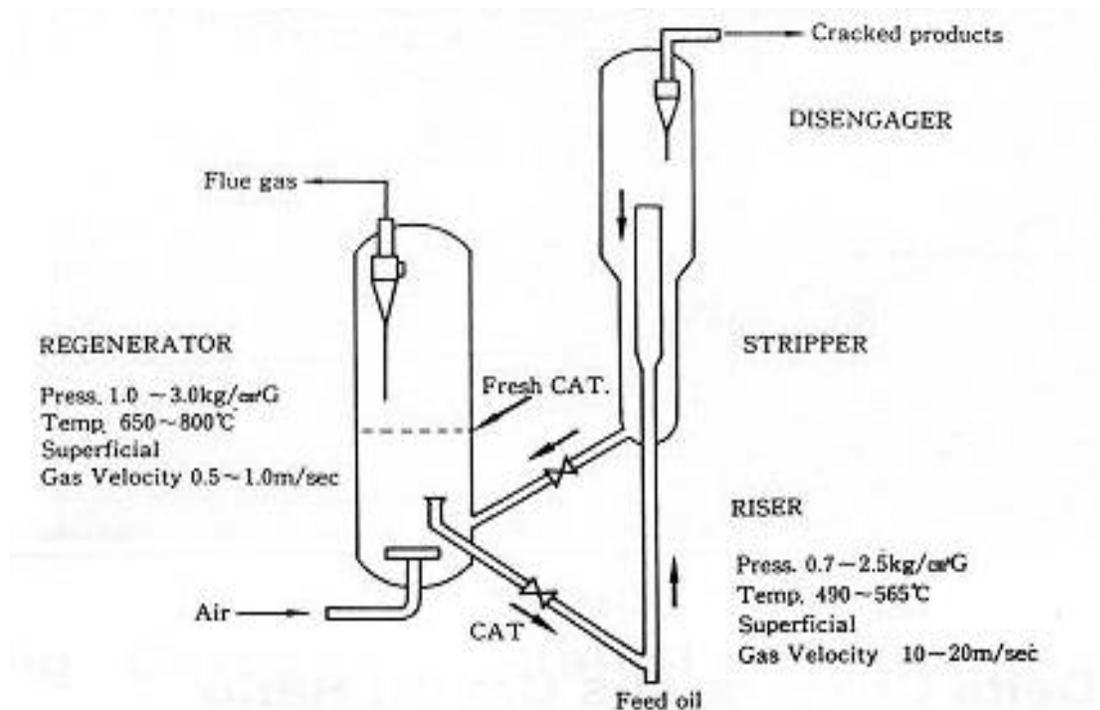
Fuente: Badillo, Manual de Operaciones, Refinería Esmeraldas, 2013

1.2.1.3. Unidad de Craqueo Catalítico Fluido FCC.-

En esta unidad, con una capacidad de 18.000 BPD, la alimentación (gasóleo de vacío) formada por largas cadenas moleculares, sometida a temperaturas de unos 520°C en contacto con el catalizador zeolítico en estado fluidizado, se transforma por craqueo catalítico en fracciones más livianas como: gases, GLP, gasolina de alto octanaje, y destilados medios conocidos como aceites cíclicos que se usan como diluyentes del Fuel-Oil (Guerrero, Manual de Operaciones, Refinería Esmeraldas, 2013)

Gráfico 3

Estructura Reactor Regenerador de la Unidad de FCC



Fuente: Universal Oil Products (UOP), 1995.

La unidad de FCC será ampliada en el año 2014, procesará 20.000 BPD de carga, compuesta por 16.500 BPD de Gasóleo de Vacío (VGO) y 3.500 BPD de Gasóleo de Destilación atmosférica (VGA). El nuevo reactor tendrá un nuevo sistema de inyección de carga, de mayor eficiencia, aumentará en un 3% la producción de gasolina y reducirá la producción de aceites cíclicos; el nuevo regenerador dispondrá de un sistema de enfriamiento de catalizador, se prevé que el catalizador, por efecto de la mayor cantidad de Carbón Conradson al incorporar el gasóleo atmosférico AGO en la carga las temperaturas en el regenerador estarán sobre los 700°C, para bajar dichas temperaturas Universal Oil Products UOP ha propuesto la instalación de un enfriador de catalizador (UOP, Ampliación de la Unidad FCC. 2012).

1.2.1.4. Unidad de Hidrotratamiento de Diesel

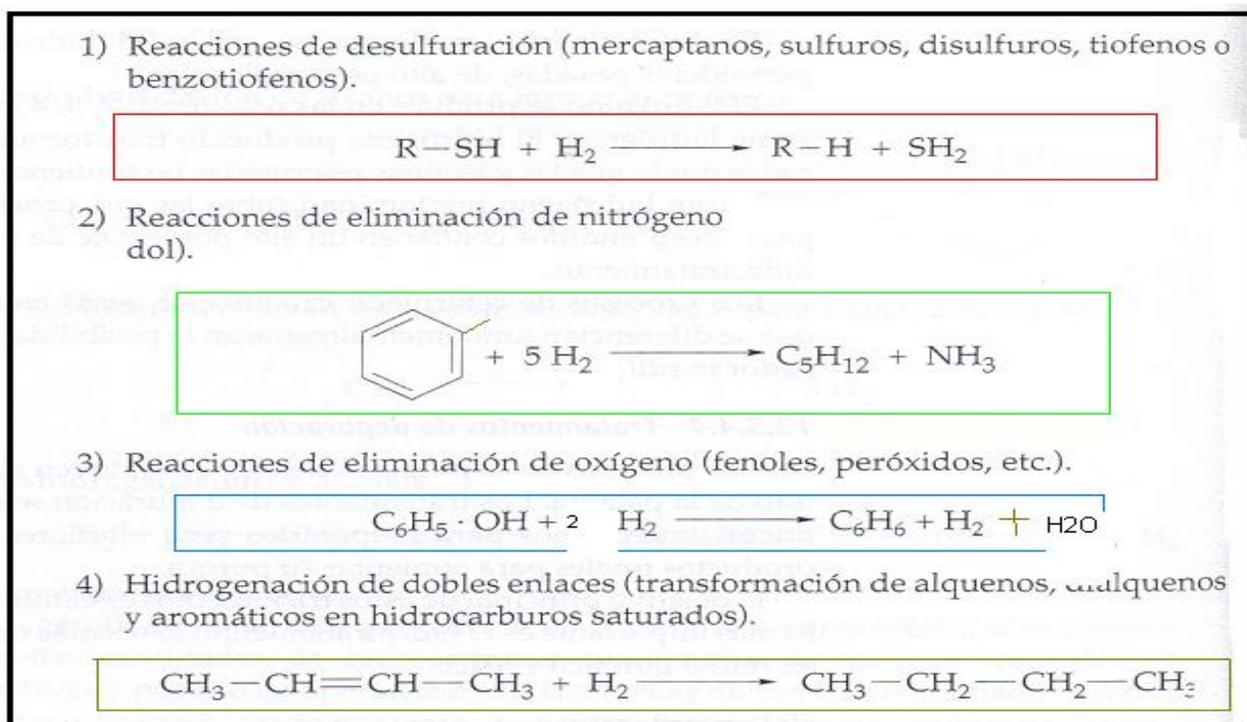
Esta unidad procesa 24.500 BPD de diesel proveniente de la destilación atmosférica, fue instalada en el año 1997, fue diseñada y construida para producir diesel con bajo contenido de Azufre, es decir con menos de 500 ppm de azufre, el proceso utilizado pertenece a la empresa francesa AXENS, compañía que forma parte del grupo del Instituto Francés del Petróleo IFP. El proceso utiliza reactores de lecho fijo con catalizador de Níquel Molibdeno en base alúmina (IFP, Ingeniería Básica Crudos Pesados, 1993)

Hidrodesulfuración, como producto se tiene la liberación de ácido sulfhídrico, este gas se encuentra en mezcla con el gas combustible (C1 y C2), el gas combustible amargo es enviado hacia una unidad de endulzamiento con aminas. El gas combustible que sale de la tratadora con aminas es enviado al cabezal de gas para uso de la refinería y el gas sulfhídrico puro se envía al proceso Claus para la conversión a Azufre elemental.

El NH_3 producto de las reacciones de Desnitrificación que ocurre también en esta planta, es enviado al Horno Primario del Proceso Claus para la oxidación.

Cuadro 1

Reacciones de Hidrotratamiento



FUENTE: Vian, Introducción a la Química Industrial, 1997

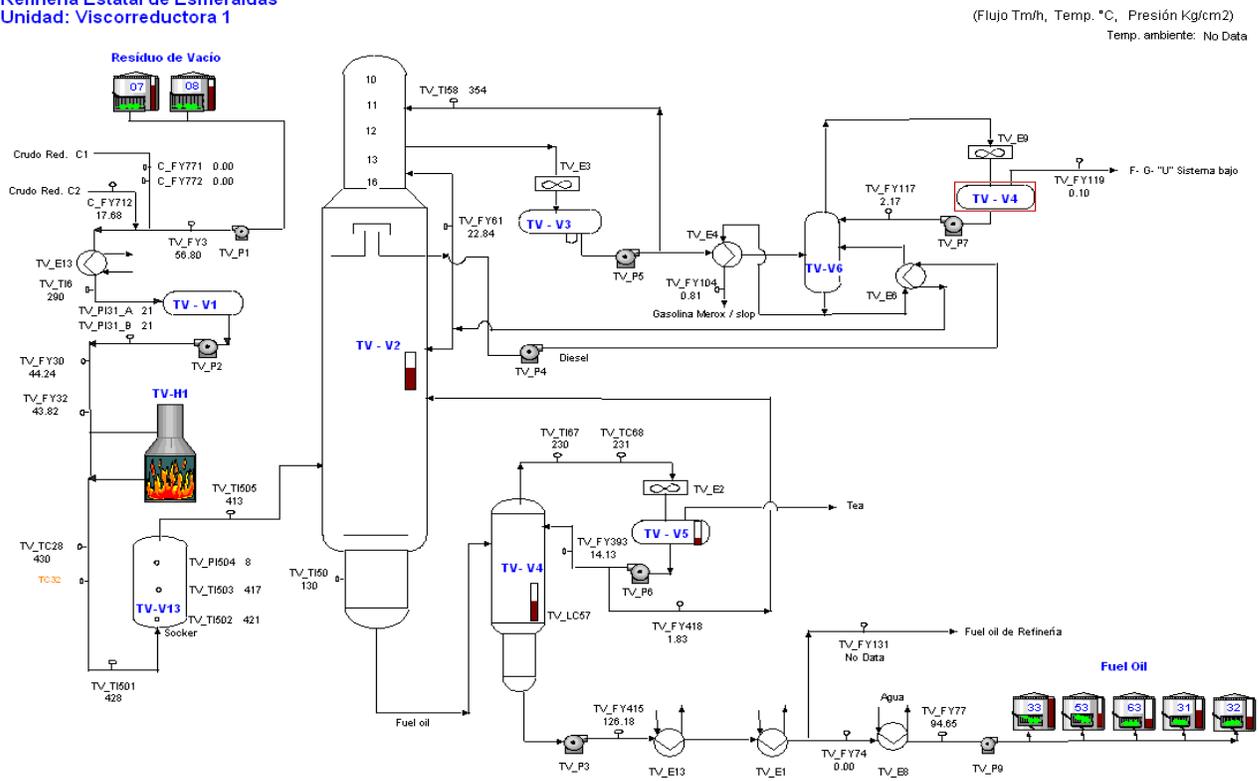
1.2.1.5. Unidad Viscorreductora

En estas unidades, los fondos de vacío de un alto peso molecular y con alta viscosidad, mediante craqueo térmico, producen el rompimiento molecular del fondo de las unidades de vacío, obteniéndose un producto menos viscoso, adecuado para usarse como Fuel-Oíl, reduciéndose así el uso de diluyentes en la preparación de este producto.

Gráfico 5

Gráfico de flujo se la unidad de viscorreducción

Refinería Estatal de Esmeraldas
Unidad: Viscorreductora 1



FUENTE: Badillo, Manual de Operaciones de Refinería Esmeraldas, 2013

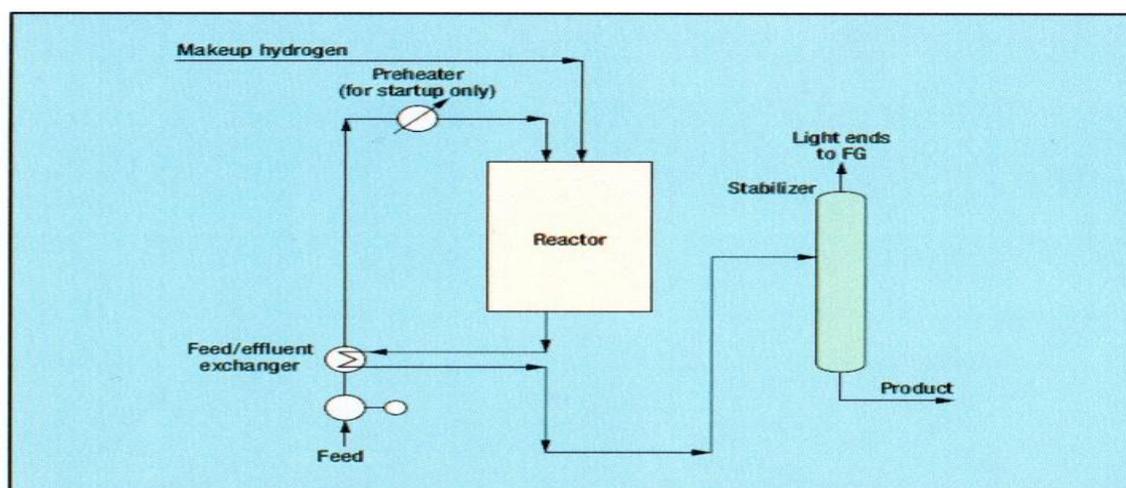
1.2.1.6. Unidad Reformadora Semiregenerativa

Con capacidad de 2.780 BPD de nafta de destilación primaria. La nafta pesada obtenida en las Unidades de Crudo, es de muy bajo octanaje (53 octanos), lo que la hace inadecuada para su uso como combustible de automotores; por esta razón en esta unidad, usando un tren de retores, catalizadores de platino y renio, y temperaturas de entre 475°C y 500°C, se modifica la estructura molecular de los componentes de la nafta para obtener compuestos de 90 octanos. (Intendencia de Refinación de la Refinería Esmeraldas, 2012).

Esta Unidad en el año 2006, se transformó para isomerizar la nafta liviana proveniente de las unidades de destilación atmosférica. La nafta que produce esta planta no tiene azufre el Presión de Vapor Reid (PVR) está en alrededor de 13 PSI, y su Número de Octano RON está en aproximadamente 85 (UOP, 2002)

Gráfico 6

Gráfico de flujo de la Unidad de Isomerización

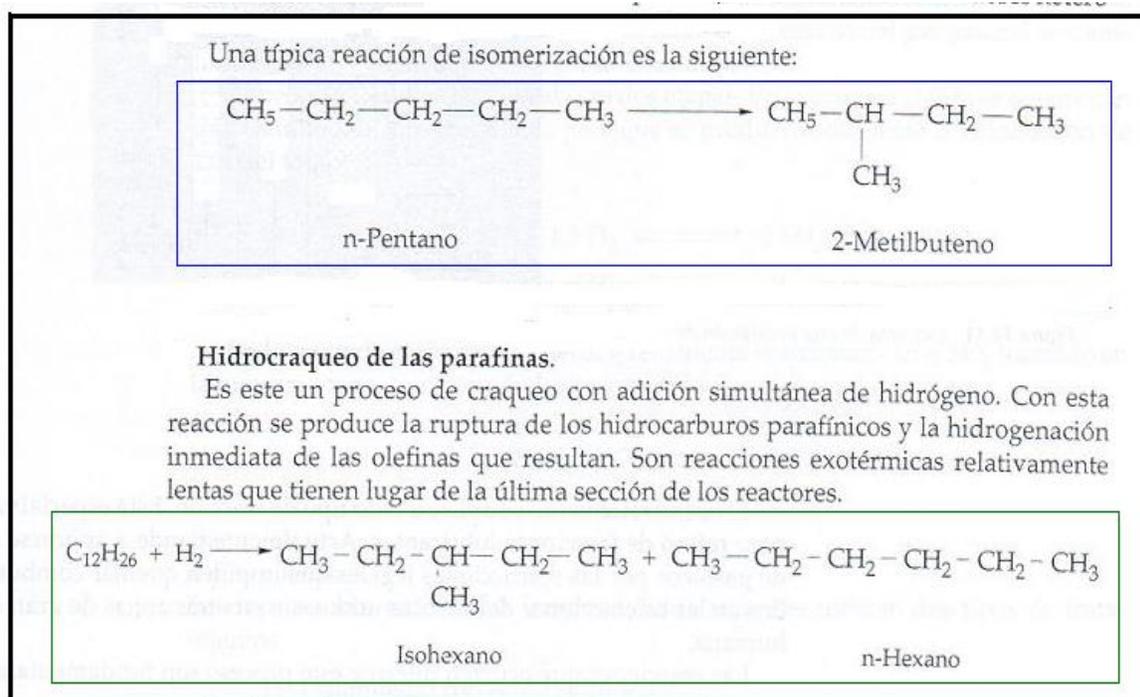


Fuente: Hydrocarbon Processing, Refining Processes Handbook, 2008.

En el cuadro 2 se muestran las reacciones que se llevan a cabo en el reactor de la Isomerizadora, como se indica en el cuadro, existen dos reacciones principales, la isomerización propiamente dicha y el rompimiento de moléculas grandes de hidrocarburos, es decir, el hidrocrqueo, la desventaja de esta última es la formación de carbón en el catalizador.

Cuadro 2

Reacciones de Isomerización



Fuente: Vian, Introducción a la Química Industrial, 1997

1.2.1.7. Unidad Reformadora Catalítica Continua (CCR)

Esta unidad también llamada Octanizing, diseñada por el Instituto Francés de Petróleo IFP, está en capacidad de elevar el Número de Octano de la nafta pesada, desde 60 RON hasta 100 RON, la gasolina reformada prácticamente no tiene azufre y posee un bajo RVP, cercano a 6 PSI. El incremento de octanaje se debe principalmente a la transformación de los alcanos en aromáticos, gracias a la acción de un catalizador y a determinadas temperaturas (IFP, 1994).

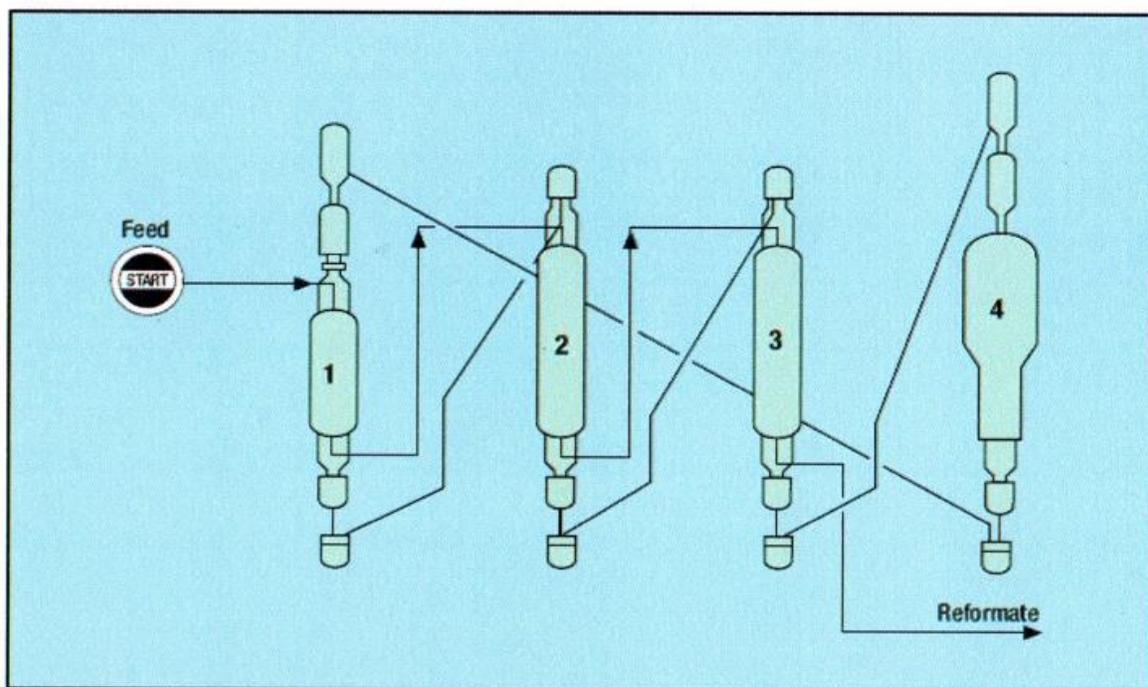
Las reacciones que se producen en el proceso de reformación catalítica continua CCR son las siguientes:

- Deshidrogenación de las cadenas cíclicas: transformación de los cicloalcános en aromáticos, son reacciones endotérmicas.
- Deshidrogenación de alcanos para formar aromáticos.
- Deshidrogenación de alquilciclopentanos para formar aromáticos.
- Deshidrogenación de alcanos para formar olefinas (Vian, 2008)

En el siguiente gráfico se muestra el esquema de la unidad de Reformación Catalítica Continua; 1,2 y 3 corresponden a los tres reactores donde se desarrollan las reacciones antes indicadas, el equipo 4 es el regenerador de catalizador, aquí se quema el carbón contenido en el catalizador y se activa el catalizador mediante la adición de cloro. El catalizador una vez regenerado se somete a un proceso de reducción, antes de iniciar nuevamente el ciclo.

Gráfico 7

Esquema de Reformación Catalítica Continua

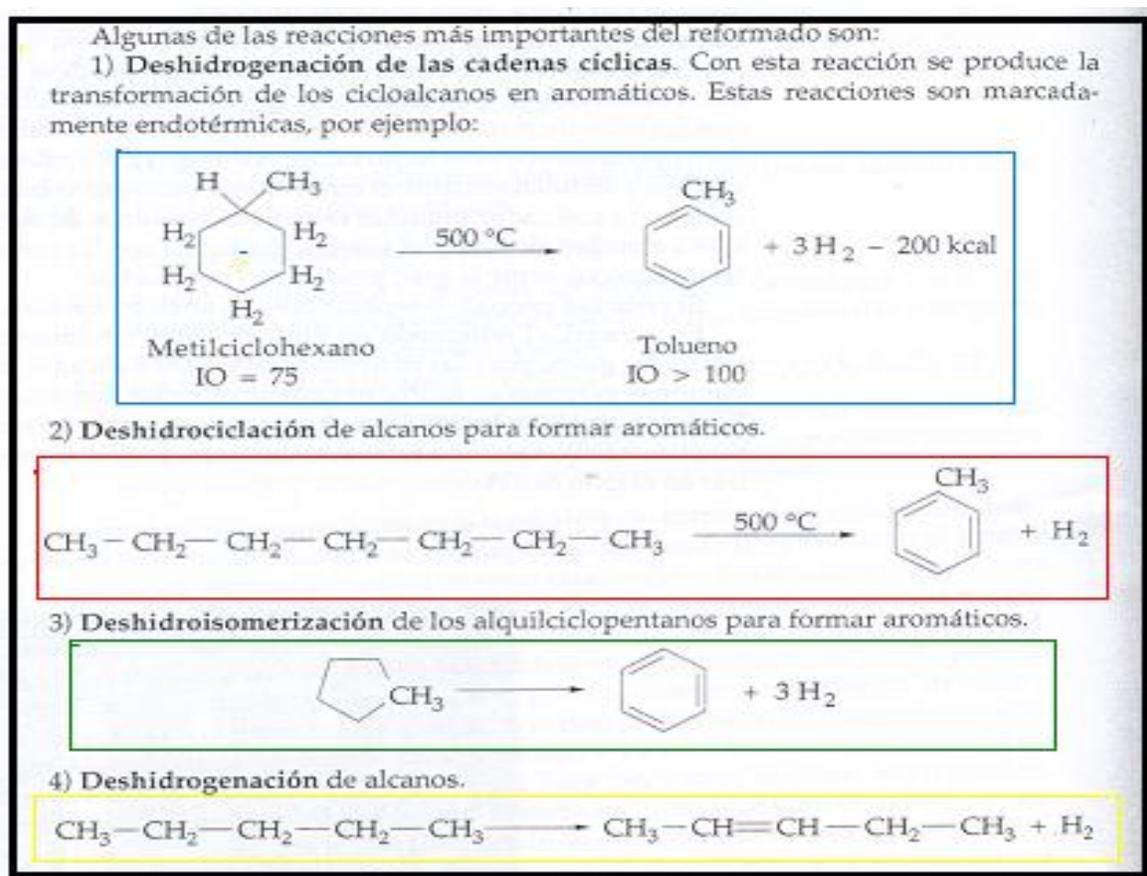


FUENTE: Hidrocarbon Processing, Refining, Processes Handbook, 2008

Las cuatro reacciones que principalmente se desarrollan en la unidad CCR, se describen a continuación, se puede notar que en todas las reacciones existe liberación de hidrógeno, situación que eleva la importancia de esta unidad, ya que, suministra hidrógeno para los procesos de hidrodesulfuración e isomerización.

Cuadro 3

Reacciones de Reformación Catalítica



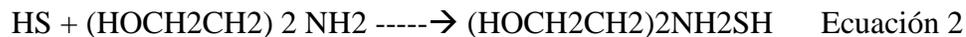
FUENTE: Vian, Introducción a la Química Industrial, 2006.

1.2.1.8. Procesos Merox y Tratamiento con Amina

Estas unidades de tratamiento son diseñadas para mejorar la calidad de la gasolina y del LPG. Su función es transformar los productos nocivos de azufre como el sulfuro de hidrógeno y mercaptanos y su disminución en los productos terminados. El azufre no es removido, es transformado a disulfuros, los mismos que se mezclan con la gasolina, es decir que la cantidad de azufre permanece en la gasolina. Con éste proceso no se obtienen

productos con bajo contenido de azufre, lo que se hace es quitarle a la gasolina los malos olores, la corrosividad y la peligrosidad por el H₂S.

Mediante unabsorbedor de amina, en uncontactor en contracorriente de alta eficiencia que provee contacto íntimo entre el LPG y la solución de amina circulante se remueve el gas sulfhídrico H₂S La reacción es como sigue:



(Guerrero, Manual de Operaciones de Refinería Esmeraldas, 2006)

La solución de amina es contaminada con el H₂S después de estar en contacto con el LPG, esta amina requiere regeneración. Para el efecto la amina es enviada a un regenerador similar a una columna despojadora. El H₂S es despojado y separado por la solución de amina por calor, el cual asciende en forma gaseosa hacia el tope de la columna. (Coordinación de Operaciones de Refinería Esmeraldas, 2006)

1.2.1.9. Tratamiento de jet-fuel

Este proceso mejora la calidad del jet-fuel; elimina totalmente el agua que puede contener este combustible, además, elimina ácidos grasos, con lo cual se satisface las normas de calidad de los combustibles de aviación. El proceso consta de un separador electrostático

de los ácidos grasos, un lavador de agua para disolver los remanentes de sosa cáustica, un filtro de sal para atrapar el agua y un filtro de arcilla para eliminar los surfactantes.

1.2.1.10. Tratamiento de Gases y Aguas Amargas

Los gases tales como: gas sulfhídrico y nitrógeno, contenidos en el petróleo y los que se generan en las unidades de proceso de Refinería Esmeraldas, se utilizan como combustible en la refinería. Estos gases requieren la eliminación de compuestos de azufre y nitrógeno, que de no hacerlo, contaminarán el ambiente al ser quemados en los hornos y calderas.

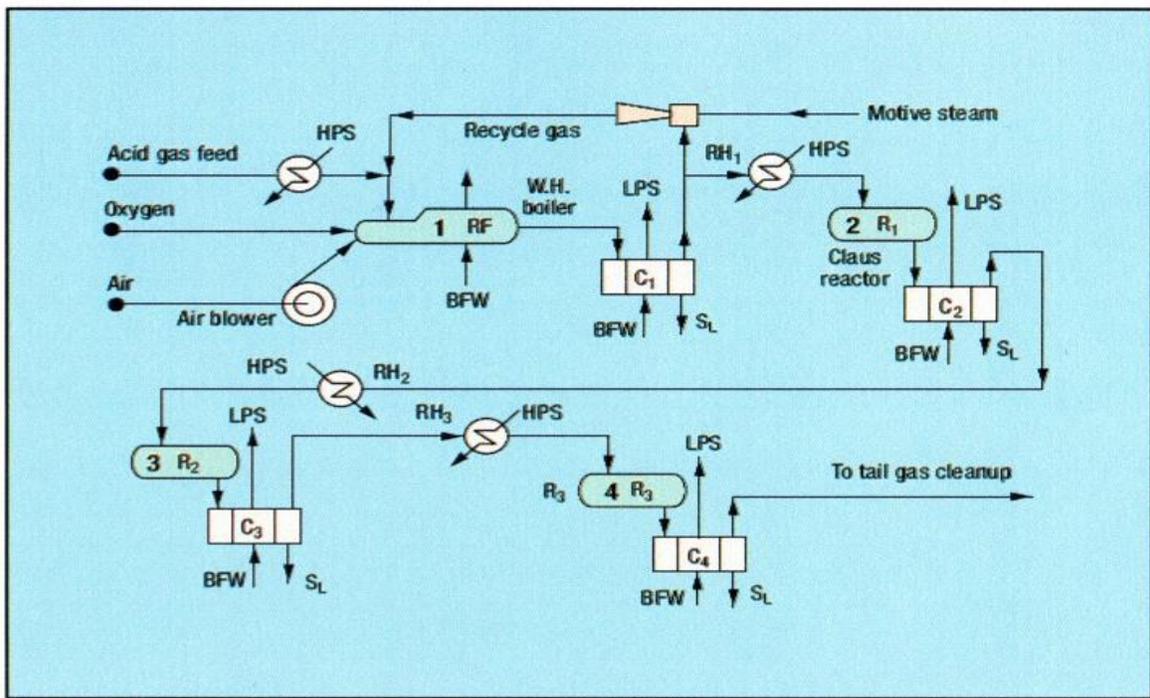
Las aguas industriales, que se generan en las diferentes unidades del proceso, se envían a esta unidad para su eliminación de compuestos de azufre y nitrógeno, posteriormente se reutilizan o son vertidas al río Tehaone, libres de contaminantes.

1.2.1.11.- Unidad de Recuperación de Azufre

El gas sulfhídrico que se obtiene del tratamiento de los gases de refinería, del tratamiento de aguas amargas y del proceso Merox LPG, mediante el proceso Claus, permite producir azufre de alta pureza.

Gráfico 8

Proceso de la Unidad de Recuperación de Azufre, Proceso Claus



Fuente: Hydrocarbon Processes, Refining Processes Handbook, 2008

En el siguiente cuadro se muestran todas las unidades de proceso que actualmente tiene la Refinería Esmeraldas, se indican los códigos de cada planta, su descripción y la capacidad instalada.

Cuadro 4

Unidades Instaladas en la Refinería Esmeraldas

UNIDAD	DESCRIPCIÓN	MEDIDA	CAPACIDAD
G Gas	Concentración de gases		
CDU1	Unidad de Destilación de Crudo 1	BPD	55.000
CDU2	Unidad de Destilación de Crudo 2	BPD	55.000

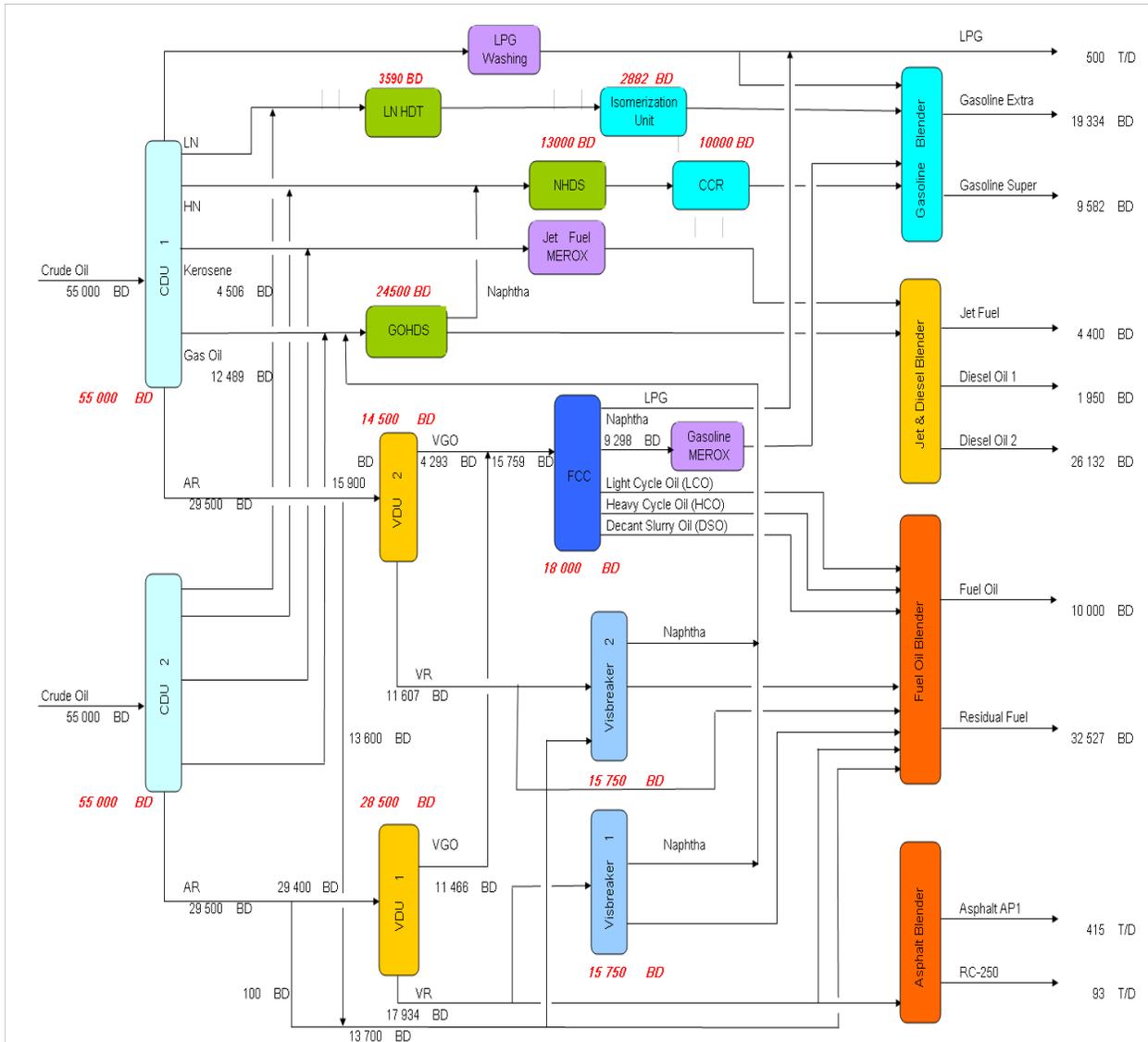
V	Unidad de Vacío 1	BPD	29.400
VL	Unidad de Vacío 2	BPD	15.900
TV	Unidad de reducción de viscosidad 1	BPD	15.750
TV1	Unidad de reducción de viscosidad 2	BPD	15.750
PL	Unidad de hidrotreatmento nafta liviana	BPD	3.590
PI	Unidad de Isomerización	BPD	2.882
P1	Unidad de Hidrotreatmento nafta pesada	BPD	13.000
P2	Unidad de Reformación Catalítica Continua	BPD	10.000
ME1	Unidad de tratamiento de Jet Fuel	BPD	15.000
HDS	Unidad de Hidrotreatmento de Diesel	BPD	24.500
FCC	Unidad de Craqueo Catalítico Fluido	BPD	18.000
ME2	Unidad Merox Gasolina	BPD	11.000
ME3	Unidad Merox LPG antigua	BPD	2.210
ME3	Unidad Merox LPG nueva	BPD	3.314
U	Unidad de tratamiento de gas baja presión A	kg/h	3.866
U	Unidad de tratamiento de gas alta presión A	kg/h	9.663
U1	Unidad de tratamiento de gas baja presión N	kg/h	5.912
U1	Unidad de tratamiento de gas alta presión N	kg/h	11.274
Z1	Unidad de tratamiento de aguas amargas A	kg/h	23.700
Z2	Unidad de tratamiento de aguas amargas N	kg/h	7.569
S	Unidad de recuperación de azufre Antigua	TM/día	13.2
S1	Unidad de recuperación de azufre Nueva	TM/día	50

FUENTE: Información obtenida de Refinería Esmeraldas, 2013

Lo indicado en el cuadro 4 se muestra en el siguiente esquema, en un Gráfico de flujo de procesos, cada corriente está expresada en barriles por día, excepto el GLP y asfalto que están en Toneladas Métricas.

Gráfico 9

Esquema actual de los procesos de la Refinería Esmeraldas



Fuente: Subgerencia de Operaciones de la Gerencia de Refinación EP, 2013

1.2.1.12.- Posibles Tecnologías para la Nueva Configuración

A continuación se describen los procesos y rendimientos de las plantas nuevas, que se instalarían en la refinería para completar el esquema de refinación con el objetivo de mejorar la calidad de los combustibles e incrementar su rentabilidad.

1.2.1.12.1.- Oligomerización

La Unidad de Oligomerización (OL) está diseñada para procesar el GLP de la Unidad Endulzante de GLP (LS) para transformar olefinas ligeras en olefinas más pesadas a fin de mejorar el número de octanaje de la gasolina.

La alimentación de la unidad está compuesta por GLP de la Unidad Endulzante de GLP (LS). El flujo normal de alimentación de la unidad. El flujo diseñado es 100% del flujo de operación normal. El sobre diseño hidráulico se considerará de acuerdo al Criterio de Dimensionamiento y Bases de Diseño Total (Axens, Mejoramiento de la Calidad de Combustibles, 2012).

La Unidad incluye las siguientes principales secciones:

- Sección de Reacción
- Sección del Debutanizador
- Sección del Splitter
- Sección para afrontar a la potencial presencia de diolefinas (Axens, 2012)

Los principales productos de la unidad serán: GLP, Oligómero Liviano y Oligómero Pesado. El GLP se lo enviará a la Planta de Gas Saturado (GP). La especificación principal a ser conocida es la siguiente:

Cuadro 5

Especificación de la Carga a Oligomerización

Especificaciones	Valor
C5 + contenido, % en volumen	1.8 Max.

Fuente: Axens, 2012

El Oligómero Liviano se lo enviará a la mezcla de Gasolina. La especificación principal a ser conocida es la siguiente:

Cuadro 6

Especificación del Oligómero Liviano

Especificaciones	Valor
Total azufre, ppm peso	< 40
Destilación ASTM D86 LV; FBP, °C	< 220
RVP, kPa	< 30
RON (Número de Octano)	< 97.5

FUENTE: Axens, 2012

El Oligómero Pesado será enviado a la existente Unidad HDS de Gasoil (D)

El diseño del equipo y la filosofía de ahorro serán considerados para operar en un programa de cambio de 4 años. La duración del ciclo del catalizador será al menos de 2 años

y preferiblemente de 4 años. El licenciante deberá justificar la duración de los ciclos más cortos de 4 años, y si es relevante el estado de duración del cambio/regeneración intermedio del catalizador (Axens, 2012)

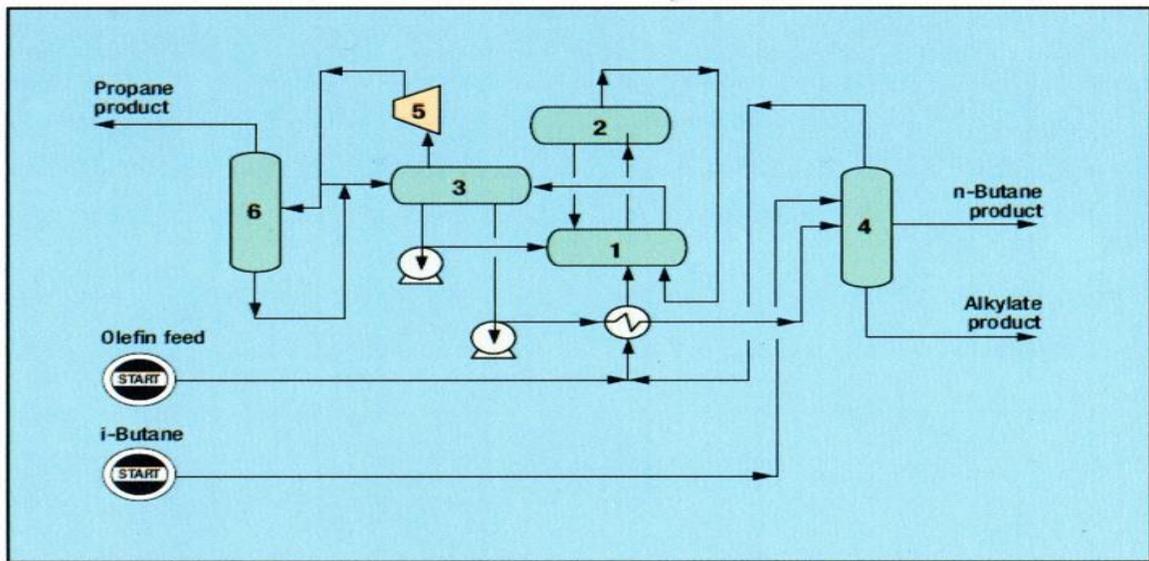
1.2.1.12.2.- Proceso de Alquilación

Este proceso se lo utiliza para incrementar el octano de la gasolina de manera ostensible, se puede obtener gasolinas hasta con 100 RON, esta gasolina está libre de Benceno, Aromáticos y Azufre, utiliza como materia prima a las olefinas del GLP proveniente de la unidad de FCC (Hydrocarbon Processes, 2008)

- Los butilenos, propilenos e isobutanos en presencia de ácido sulfúrico son cargados a un reactor.
- En el reactor la fase líquida se hace circular a gran velocidad para aumentar el contacto entre reactantes.
- La temperatura de reacción es mantenida a menos de 1 F, de manera uniforme, por lo tanto se requiere de un sistema de refrigeración.
- Los productos del reactor pasan un des isobutanizador.
- El isobutano es separado para luego reciclarlo (HydrocarbonProcesses, 2008)

Gráfico 10

Esquema de una Unidad de Alquilación.



Fuente: Hydrocarbon Processing, Refining Processes Handbook, 2008

1.2.1.12.3.- Configuración Compleja o Alta Conversión

Este tipo de refinerías, a parte de las unidades: hidroskiming, FCC, modificadoras y depuradoras, tienen uno o más de los siguientes procesos modernos:

- ❖ Coquizamiento retardado
- ❖ Desasfaltado
- ❖ Hidrocracking
- ❖ Hidrocracking con lecho ebullido H-OIL
- ❖ Fexi-coking
- ❖ Gasificación.

1.2.1.12.4.- Coquizamiento Retardado

Este proceso es el más difundido para procesar el fondo de vacío, existen más de 50 plantas instaladas por UOP (Universal Oil Products) y Foster Wheeler, los inconvenientes que se presentan son que: los productos que blancos que salen de ésta unidad deben ser sometidos a un hidrotreatmento para lograr las especificaciones de calidad requeridas, otro inconveniente es la comercialización del coque, si este coque de petróleo tiene bajo contenido de metales y azufre puede ser vendido a para anodos en la industria de producción de aluminio, si el coque tiene los contaminantes antes indicados se puede utilizar como energía en la industria del cemento.

Otra de las aplicaciones del coque es quemarlo para producir vapor y luego generar electricidad, el inconveniente de esto es la gran cantidad de yeso que se produce y que debe darse la disposición final adecuada, también esta el problema de las altas concentraciones de dióxido de azufre en las emisiones de la caldera de generación de vapor, para resolver este problema se deben instalat lavadores para absorber el SO₂.

Las condiciones de operación son: 900-950 °F, 15-100 PSI

Los rendimientos en porcentajes en peso son como sigue:

Gas:	8,7
Nafta:	14,7
Gasoil:	48,3

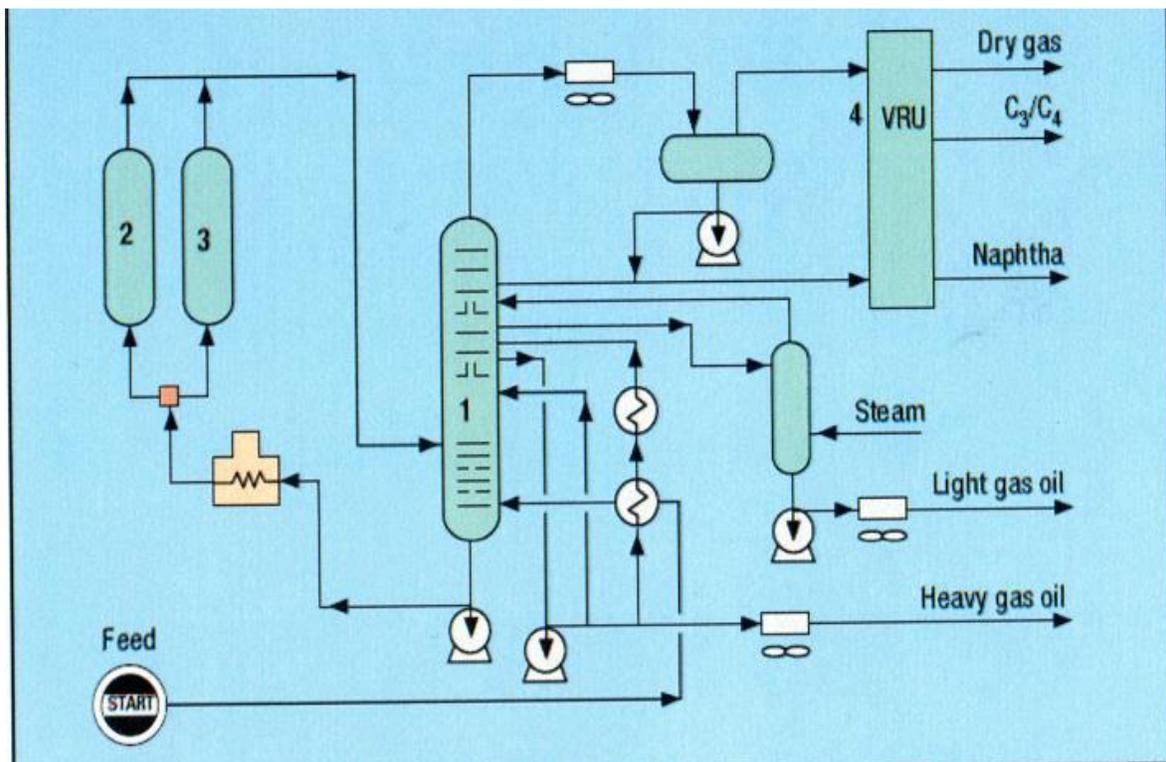
Coke: 29,3(Hidrocarbon Processing, 2008)

El coque producido por esta planta, físicamente es un material sólido que contiene azufre , níquel y vanadio, por lo general es pulverizado y almacenado para la comercialización o para realizar la co-generación de electricidad.

En Brasil por ejemplo, el coque se utiliza para fabricar los ánodos para la industria de obtención de aluminio, en Chile el principal uso del coque es para generación de electricidad.

Gráfico11

Esquema de una Unidad de Coquizamiento Retardado.



Fuente: Hidrocarbon Processing . Refining Processes Handbook, 2008

1.2.1.12.5.- Desasfaltado

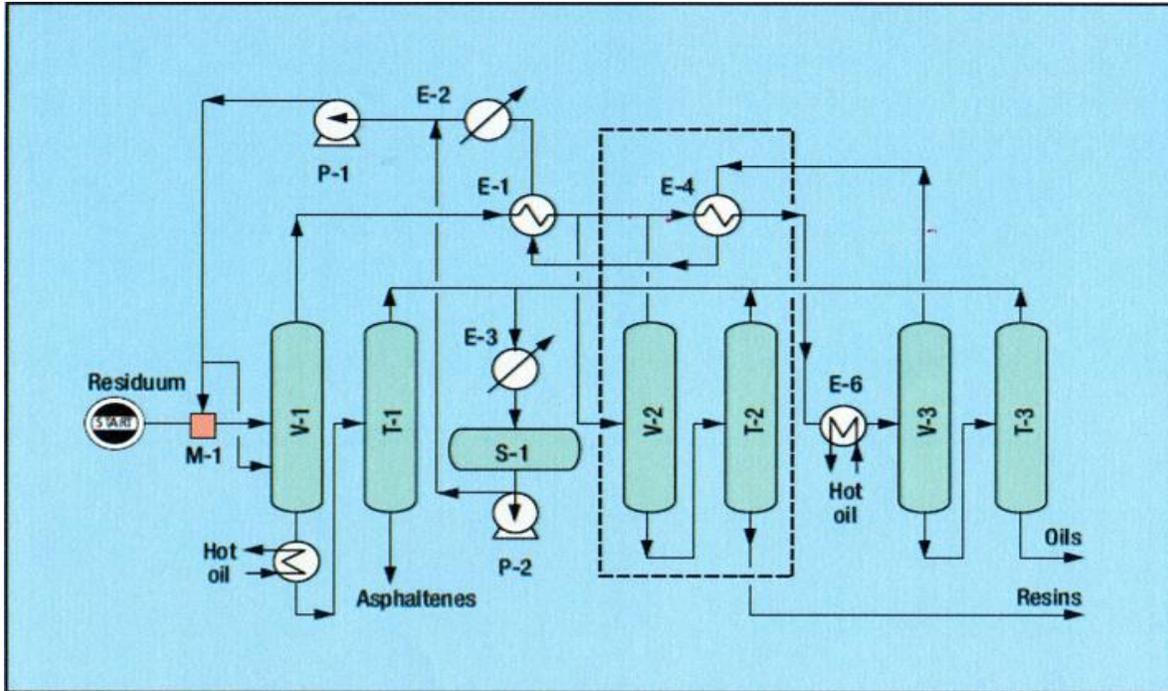
Es usado para extraer la máxima cantidad de carga para la unidad de FCC o Hidro-cracking, mediante la acción de un solvente (desde propano hasta hexano). El aceite desasfaltado (DAO), producto de este proceso, contiene baja cantidad de metales, y bajo Carbón Conradson. Un resumen del proceso es como sigue:

- El residuo que proviene del fondo de la Unidad de vacío es mezclado con solvente antes de entrar al des-asfaltador.
- El solvente extrae primero compuestos no-asfaltenos y parafinas, los hidrocarburos ricos en asfaltenos son enviados desde el fondo del des-asfaltador hacia el separador.
- Del separador se obtiene: de la parte superior el solvente recuperado y por el fondo la carga para la FCC o Hidro-cracking, el solvente recuperado mediante sucesivos enfriamientos nuevamente se mezcla con la carga.
- De éste proceso también se puede obtener resinas que corresponden a compuestos cíclicos presentes en las corrientes de fondo de la torre vacío (Hydrocarbon Processing, 2008).

Relación de flujo Solvente/carga = 3 a 8

Gráfico 12

Esquema de una Unidad de Desasfaltado.



Fuente: Hidrocarbon Processing, Refining Processes handbook, 2008.

1.2.1.12.6.- Hidrocraqueamiento

Procesa el DAO procedente del desasfaltado, Como también Gas Oil de FCC o de Destilación atmosférica. También procesa fondo de vacío. Estas unidades a parte de cortar las cadenas grandes de hidrocarburos de los residuos los hidrogena para completar las moléculas y de esta manera obtener gasolina y diesel, el hidrógeno presente en los reactores también cumple con la función de hidrosulfurar, es decir que los productos salen con menos cantidad de azufre y lo que se requiere es un hidrot ratamiento complementario si es necesario.

Este proceso tiene lechos fijos de catalizador, la corrida de operación, dependiendo de la severidad, por lo general dura entre 12 y 18 meses. Luego de estos tiempos se debe parar la unidad para regenerar el catalizador con el propósito de devolverle la actividad o cambiarlo cuando ha cumplido el número de regeneraciones permitidas.

La carga y el H₂ por la acción de un catalizador se produce la desulfuración, desnitrogenación y el hidrocracking.

La carga contiene:

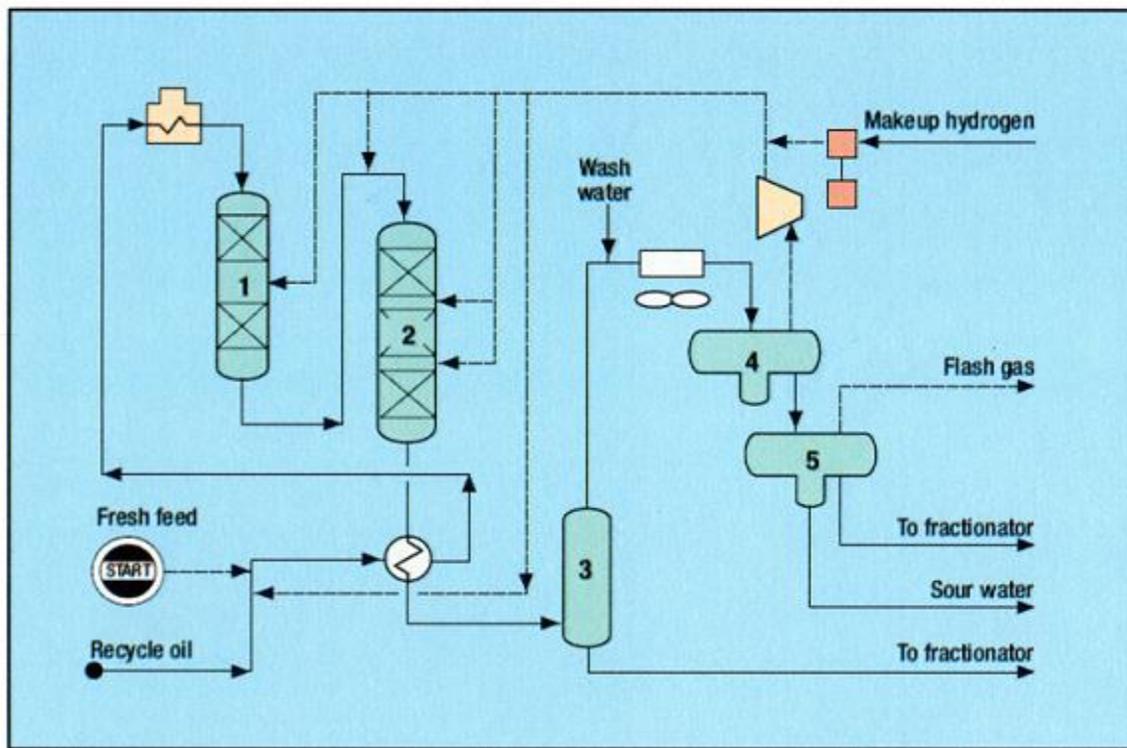
- API: 8,4 hasta 27,8
- Destilado al 10% = 481°F hasta 640 °F
- PFE = 674 hasta 1.100 °F.
- Azufre = 0,54 hasta 4,57 wt%
- Nitrógeno = 0,024 hasta 0,269 Wt%.

El rendimiento de productos (en porcentaje en volúmen) es el siguiente:

- Butanos = 3,0
- Gasolina liviana = 6,6
- Nafta pesada = 11,2
- Destilados = 92,3
- CONSUMOS:
- Hidrógeno: 1.550 scf/bbl. (Hydrocarbon Processes, 2008)

Gráfico 13

Esquema de una Unidad de Hidrocraqueamiento.



Fuente: Hydrocarbon Processing, Refining Processes Handbook, 2008

1.2.1.12.7.- Hidrocrqueo con Lecho Ebulldo

Es un proceso con lecho ebulldo para procesar residuo atmosférico o residuo de vacío. Procesa cargas con alto contenido de metales, CCR y contenido de asfaltenos. Sirve para producir productos blancos o para hacer el crudo sintético. A diferencia del anterior proceso

- El Hidrógeno y la carga son calentados en hornos separados.
- En el reactor existe una recirculación interna, mediante una bomba para mantener el lecho en ebullición.

- El catalizador puede ser reemplazado periódicamente sin parar la unidad, los catalizadores son diferentes dependiendo del tipo de carga y de los objetivos, la conversión puede seleccionarse desde 50 hasta 80% y una desulfurización del 85%.

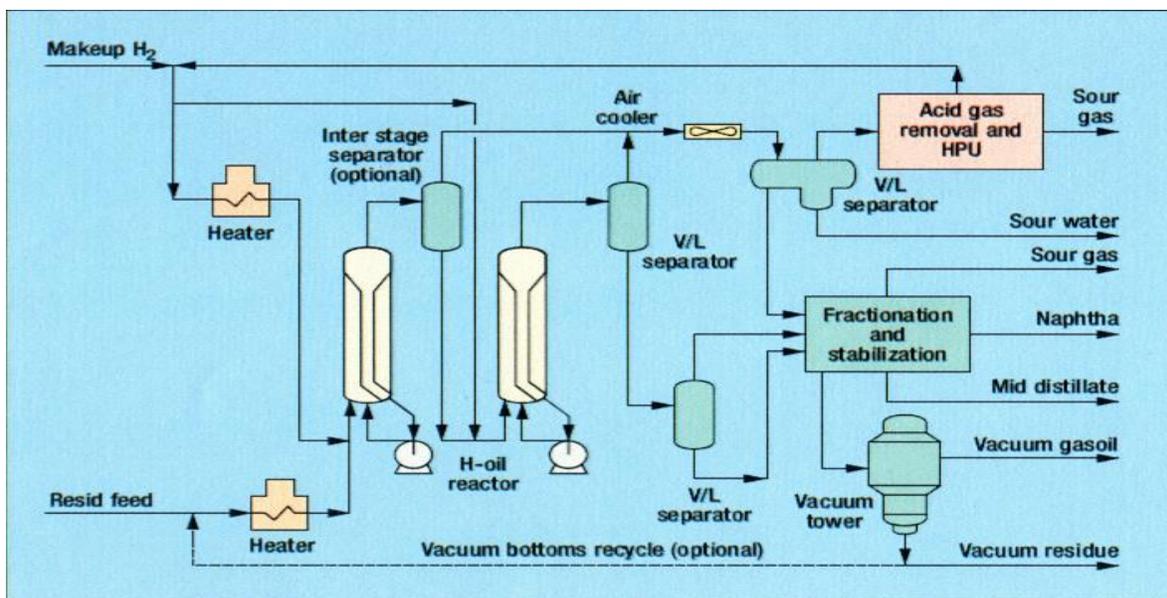
Condiciones operacionales:

- Temperatura: 770 – 820 °F
- Presión Parcial del Hidrógeno : 1.600 – 1950 psi
- Velocidad espacial: 0,25 - 0,6 1/hora
- Conversión: 50 – 80 WT%.

Ejemplo: 550 °F, 66% de Conversión se obtiene: Fuel Oil con menos de 1% de azufre, 25% de Diesel y 30% de VGO, el D2 luego se hidrotrata para bajar aún más el azufre. (Hydrocarbon Processes, 2008).

Gráfico 14

Esquema de una Unidad de Hidrocrqueo con Lecho Ebulrido.



Fuente: Hidrocarbon Processing, Refining Processes Handbook, 2008

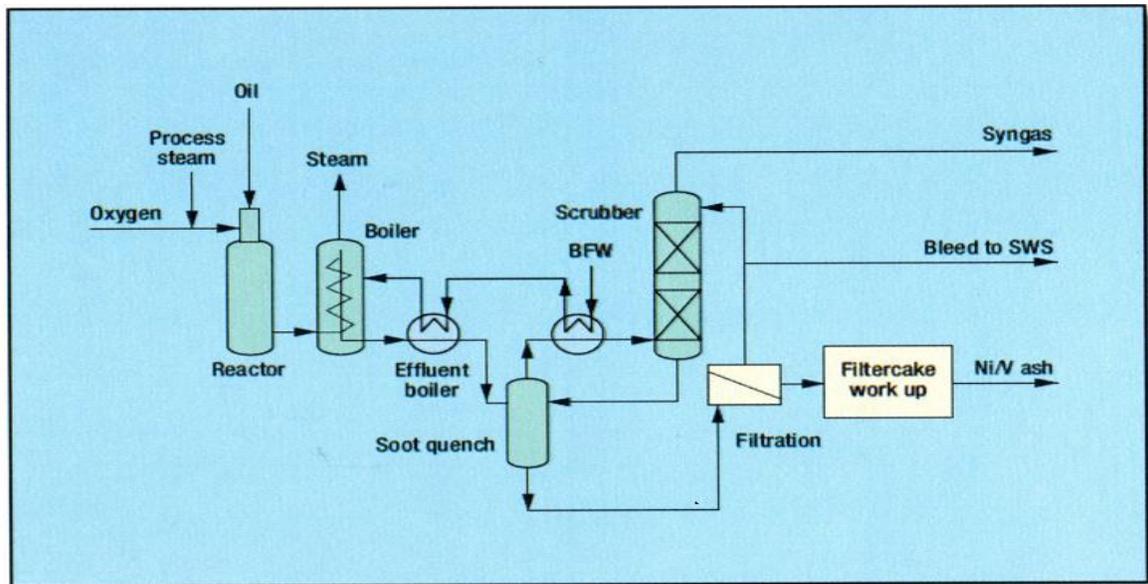
1.2.1.12.8.- Gasificación

Convierte los residuos (valor económico casi cero) con una gran cantidad de azufre y metales en gas de síntesis y óxidos metálicos comercializables. Como producto principal se obtiene el gas de síntesis ($\text{CO} + \text{H}_2$), el gas de síntesis puede ser usado para generar vapor o para extraer el H_2 , molécula utilizada en la refinería para los procesos (hidrotratamiento e Hidro-cracking). El gas de síntesis también es utilizado para quemar en los hornos y calderas de la refinería.

El residuo + O_2 puro + vapor, producen una reacción exotérmica, cuya temperatura es aprovechada para generar vapor de alta presión 100 at. Se producen alrededor de 2,5 Toneladas Métricas TM por cada TM de carga. El carbón no convertido y las cenizas son recuperados para extraer óxidos metálicos (principalmente pentóxido de vanadio) fácilmente comercializables (Hidrocarbon Process, 2008).

Gráfico 15

Esquema de una Unidad de Gasificación de Residuos.



Fuente: Hydrocarbon Processing, Refining Processes Handbook, 2008

1.2.1.12.9. Discusión sobre Tecnologías de Alta Conversión

La conversión profunda viene desde hace 20 años, en estos años, en el mundo no se han construido nuevas refinerías en gran número, los que han hecho las refinerías del mundo es modernizar sus instalaciones e incorporar a sus instalaciones existentes unidades de alta conversión acompañadas de unidades que depuran a los combustibles, esto es, la instalación de unidades de hidrodesulfuración.

A los largo de estos veinte años, la industria de la refinación ya tiene lecciones aprendidas en lo referente al procesamiento de residuos, se ha logrado caracterizar de manera completa los residuos y se sabe exactamente que tipo y, cuanto de metales pesados se tienen en los fondos de vacío, fondos de destilación atmosférica, asfaltos, aceites cíclicos y coque. Estas caracterizaciones han permitido, conjuntamente con las premisas de necesidades en

cuanto a calidad y a oferta de productos limpios escoger de manera precisa el tipo de tecnología, o la combinación de dos o más tecnologías en el procesamiento de residuos.

En los siguientes cuadros se muestra un comparativo de los diferentes procesos empleados en la conversión profunda descritos anteriormente, se ha resaltado sus ventajas y desventajas para cada proceso, de ésta forma muchos países se han ayudado para tomar las decisiones que mejor convienen.

Cadro 7

Comparación de los procesos de alta conversión.

PROCESO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Coquización Retardada	Tecnología probada de amplia utilización , construcciones recientes, costo moderado	Bajo valor del coque en el mercado. Los productos requieren de post-tratamiento para eliminar contaminantes.
Desasfaltadora (ROSE)	Tecnología probada, de utilización relativamente común, confiable	Reducción limitada de los residuos respecto a los objetivos
Desasfaltadora (ROSE) y Coquización Retardada	Tecnología probada. Se ajusta a un perfil de reducción gradual de la producción de residual	Mayor costo de inversión, el coque con poco valor en el mercado.
Hidrocracking	Tecnología probada, de utilización relativamente común, permite orientar la producción a gasolina o destilados medios	Altos costos de inversión, curva de aprendizaje larga, operación compleja.
H-OIL (con o sin coquización)	Tecnología probada, pero con experiencia limitada en la industria, buen patrón de rendimientos	Baja confiabilidad (especialmente en PEMEX), alto costo de inversión, conversión limitada, produce Fuel Oil.

Fuente: Análisis PEMEX refinación 2007

PROCESO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
HDS de residuo / FCC de residuo	Opción altamente selectiva de rendimiento	Altos costos de inversión, materia prima de difícil manejo, altos costos de operación (catalizadores, H ₂)
Fluid Coking	Tecnología probada, muy pocas instalaciones nuevas, menor producción de coque que en coquización retardada	Baja confiabilidad, curva de aprendizaje larga, bajo valor del coque, baja calidad del coque.
Flexicoking	Tecnología probada, muy pocas instalaciones, mejores rendimientos que en coquización retardada, no hay producción de coque.	Alto costo de inversión, baja confiabilidad, curva de aprendizaje larga
Gasificación de residuales	No impacta a las operaciones de la refinera, elimina infraestructura para disposición del coque, se puede recuperar CO ₂ , genera hidrógeno para los procesos, se derivan otros tipos de industrias.	Baja confiabilidad, se requiere de manejo óptimo del recurso para producción segura de energía, no hay mejora en los rendimientos.

Fuente: Análisis PEMEX refinación 2007

1.2.1.12.10.- Conocimiento de la Calidad del Aire de la Refinería Esmeraldas

Para conocer el impacto de la situación actual de las emisiones de las fuentes fijas de la Refinería Esmeraldas al quemar de manera permanente el Fuel Oil en los hornos, calderas y centrales térmicas se ha recurrido a la Auditoría Ambiental Integral de La Refinería Esmeraldas del año 2001 y al monitoreo en línea de las emisiones que en la actualidad existen. En la auditoría antes indicada se señala:

Tal como se puede observar en los resultados el parámetro de dióxido de azufre, en el monitoreo de fuentes fijas no cumple con el Límite Máximo permisible en las Calderas 4 y 5 las mismas que sobrepasan la norma, lo que puede deberse generalmente a los niveles del

contenido de azufre que posee el combustible utilizado, sin descartar también la alteración del estado mecánico o estructural (roturas, desconexiones o corrosividad de algún material) de las calderas. Los parámetros de óxidos de nitrógeno NOx y material particulado MP los valores se encuentran por debajo del establecido en la normativa.

Cuadro 8

Resultados del Monitoreo de las Fuentes Fijas

Resultado de monitoreo de Fuente fija No. 1				
Parámetro	Unidad	resultado	Tabla 1 Libro VI Anexo 3	Estado
CO	mg/m ³	30	sí cumple	
Nox	mg/m ³	616	sí cumple	sí cumple
SO₂	mg/m ³	1922	no cumple	no cumple
MP	mg/m ³	3	sí cumple	sí cumple
Resultado del monitoreo de la fuente fija No. 2				
CO	mg/m ³	30	sí cumple	
Nox	mg/m ³	621	sí cumple	sí cumple
SO₂	mg/m ³	2119	no cumple	no cumple
MP	mg/m ³	3	sí cumple	sí cumple

Fuente: Reporte de Monitoreo de la Refinería de Esmeraldas

Fuente: Auditoría Ambiental Integral de La Refinería Esmeraldas del año 2001

Como se puede observar en los resultados el parámetro de dióxido de azufre no cumple con el Límite Máximo permisible en las calderas 4 y 5 las mismas que sobrepasan la norma, lo que puede deberse generalmente a los niveles del contenido de azufre que posee el combustible utilizado, sin descartar también la alteración del estado mecánico o estructural (roturas, desconexiones o corrosividad de algún material) de las calderas. Los parámetros de NOx y MP los valores se encuentran por debajo del establecido en la normativa.

Los valores obtenidos con el modelo para concentraciones de CO, SO₂, NO_x y Partículas en puntos determinados de los receptores definidos se tienen valores más altos a las 3 horas, 24 horas que para valores límites anuales.

Para la población de La Propicia se encuentran las concentraciones más elevadas en cuanto a análisis en poblaciones se refiere; tenemos la concentración de 0.07 µg/m³ de CO, 69.53 µg/m³ de SO₂, 21.03 µg/m³ de NO_x y 1.4 µg/m³ de Material Particulado para 24 horas. Estas concentraciones están bajo el límite de Norma de Calidad de Aire pero indican que son contaminantes significativos el SO₂, NO_x y Partículas por no cumplir con los límites de la tabla 3 del Anexo 3 del TULAS.

La siguiente población con mayor concentración de contaminantes es el sector de Vuelta Larga, sector aledaño a La Propicia, donde se tienen concentraciones de 0.06 µg/m³ de CO, 62.42 µg/m³ de SO₂, 18.9 µg/m³ de NO_x y 1.25 µg/m³ de Material Particulado para 24 horas de análisis (Auditoría Ambiental Integral de La Refinería Esmeraldas del año 2001).

No existe incumplimiento de los límites de la norma de Calidad de Aire en el área de Influencia analizada (0 a 31 km desde la refinería).

El impacto sobre la calidad del aire ha sido evaluado un impacto significativo, por la actividad de generación de vapor, y los hornos de calentamiento de las unidades de procesos debido a la quema de combustible y consecuentemente la emisión de gases contaminantes.

Hay que tomar en cuenta que tanto los resultados del monitoreo de calidad del aire, como los datos arrojados por el Modelado de Dispersión indican cumplimiento con los LMP establecidos en la normativa. Sin embargo en el monitoreo de emisiones de las fuentes fijas, determinan incumplimiento para el parámetro de SO₂ (Auditoría Ambiental Integral de La Refinería Esmeraldas del año 2001).

Sobre este tema es importante indicar que la Refinería Esmeraldas conjuntamente con la Central Térmica ubicada a pocos metros de la refinería son las únicas industrias que queman el fuel oil, cuyo contenido de azufre supera el 2,1% (21.000 ppm) de azufre. (Estadística de Laboratorio de Control de Calidad de Refinería Esmeraldas, 2012)

1.2.2. ADOPCION DE UNA PERSPECTIVA TEORICA

Para reconfigurar la Refinería Esmeraldas, se utilizará un sistema de programación lineal, que utiliza la Gerencia de Refinación de EP Petroecuador. Con esta herramienta se modelará el estado actual de la Refinería y se insertarán nuevas unidades de procesos que posteriormente se evaluarán, para finalmente escoger el esquema más adecuado según el margen de refinación más conveniente para el país.

Pararealizar las programaciones lineales en busca de mejores oportunidades para una refinería, existen una variedad de paquetes informáticos como por ejemplo: RPMS (Refinery and Petrochemical Modeling System), PIMS (Process Industry Model System), GRTMPS (Generalised Refining Transportation Marketing Planning System); de los cuales, para el

presente trabajo se ha escogido la utilización del paquete RPMS, por ser un sistema que tiene una amplia base de datos para procesos de alta conversión en refinerías estando el autor del presente familiarizado con el uso y aplicación.

Las nuevas unidades a instalarse y las modificaciones de las existentes serán el producto de las simulaciones realizadas. Para realizar las simulaciones se tomará en cuenta no solo la productividad, sino también la calidad de los productos que se obtendrán a partir del nuevo esquema. Como resultado de la adopción de esta perspectiva teórica, se espera que los errores sean mínimos en lo que se refiere al balance de materiales y a la calidad de los productos.

1.2.3. MARCO CONCEPTUAL

La Refinería Esmeraldas procesa petróleo ecuatoriano, mediante un esquema de refinación de mediana conversión, para obtener derivados que no se ajustan a las calidades requeridas por las normas internacionales.

1.2.3.1.- Configuraciones de Refinerías

En la última década, la evolución de los mercados de refinados en el mundo se ha orientado a productos con cada vez más exigentes especificaciones de calidad, lo que ha obligado a los refinadores a incrementar la complejidad de los procesos.

Por otro lado el diferencial de precio entre el crudo pesado y liviano; y el afán de mejorar los márgenes de refinación a obligado a implementar procesos para procesar los residuales. A continuación se indican los diferentes tipos de refinerías clasificadas según su complejidad:

- HIDROSKIMING (HSK).- plantas de destilación, Reforming, Hidrotratamiento de gasolina y Diesel.
- CONFIGURACIÓN FCC.- Destilación primaria, reformación catalítica, alquilación y desintegración catalítica.
- CONFIGURACIÓN COMPLEJA.- Como base tiene a la unidad de FCC más la planta de procesamiento de residuo de vacío. (Vian, 2006)

En el siguiente cuadro se muestran los rendimientos en porcentaje de conversión para los diferentes tipos de refinerías que de manera generalizada existen en el mundo, el Ecuador no se aparta de esta realidad, pues, en la Refinería de La Libertad y la Refinería Shushufindi se tiene una Refinación Simple debido a que únicamente se dispone de dos destiladoras atmosféricas.

En la Refinería Esmeraldas la situación es diferente y con mayor complicación, pues, se tiene una Refinería Compleja, también se denomina de Mediana Conversión o también se dice de una refinería con FCC Craqueo Catalítico Fluído.

En cambio la Refinería Del Pacifico RDP posee un esquema de refinación con conversión profunda, de igual forma, como se verá más adelante, uno de los casos analizados para el nuevo esquema de la refinería de Esmeraldas tendiente a mejorar la calidad de los combustibles se propone reconfigurar hacia una refinería de alta conversión.

Cuadro 9

Rendimiento de Refinerías de Diferente Complejidad

RENDIMIENTO DE UN PETRÓLEO CRUDO EN DISTINTOS PROCESOS					
2%	GLP	4%	GLP	4%	GLP
16%	Gasolina	23%	gasolina	32%	gasolina
28%	Destilados Medios	30%	Destilados Medios	49%	Destilados medios
	Diesel + Kerosene		Diesel + Kerosene		Diesel + Kerosene
51%	Residuo	40%	Residuo	12%	Residuo (carbón)
	Residuo + diluyente = Fuel OIL		Residuo + Diluyente = Fuel Oil		Consumo
3%	Consumo	3%	Consumo	3%	Consumo
100%		100%		100%	
	Refinación Simple		Refinación Compleja		Conversión Profunda
	Destilación Atmosférica		Mediana Conversión		

Fuente: El autor

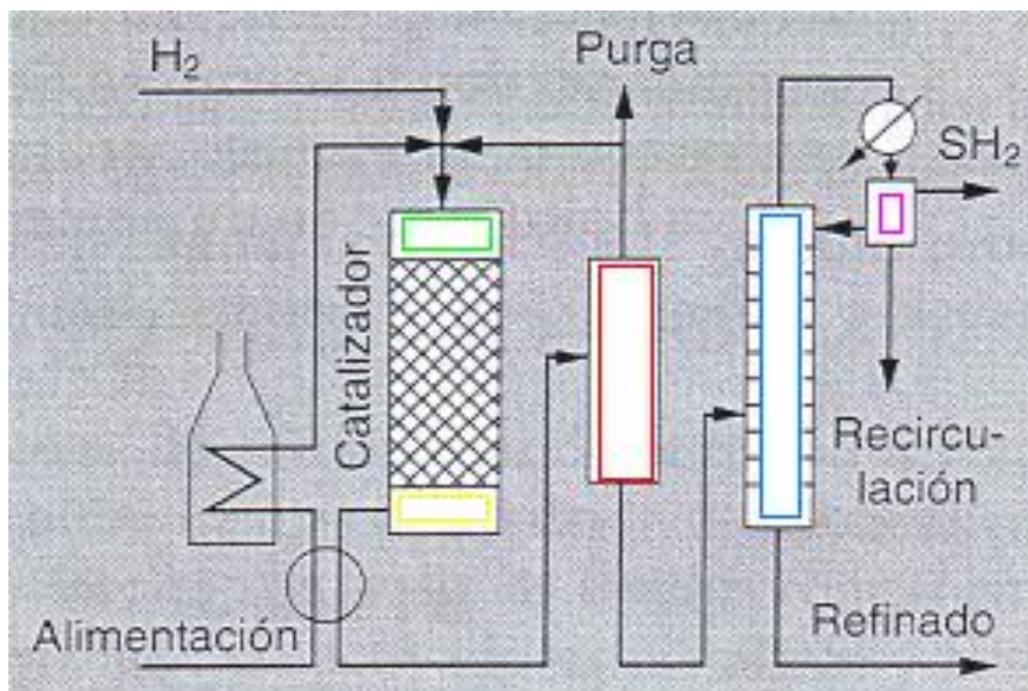
1.2.3.2.-PROCESOS DE HIDROTRATAMIENTO

Los dos procesos de desulfurización usados para la purificación (desulfurización) son: el endulzamiento y el Hidrotratamiento. El endulzamiento es efectivo únicamente para remover mercaptanos, cuando estos tipos de compuestos predominan en las naftas ligeras. El Hidrotratamiento es efectivo para remover todos los compuestos de azufre y hoy en día es el más usado (Speight, 2006).

Es un proceso de depuración y consiste en una hidrogenación catalítica a presión. Es de naturaleza química, en la Figura # 1 representa una instalación simplificada del proceso.

Gráfico 16

Esquema de una instalación de Hidrotratamiento



Fuente: (Vian, Introducción de la Química Industrial, 2006)

El hidrot ratamiento se aplica a todo tipo de fracción. Está indicado para refino de fracciones lubricantes. Actualmente tiende a aplicarse a varios tipos de gasóleos (diesel y Fuel Oil liviano) por las restricciones legales que impiden quemar combustibles azufrados en las termoeléctricas ubicadas en zonas de gran concentración urbana (Vian, 2006).

1.2.3.3.- PRINCIPALES PRODUCTOS DE LA REFINERÍA.

1.2.3.3.1.- Gas Licuado de Petróleo GLP.

Proviene n de la destilación atmosférica y del craqueo, los primeros se utilizan para el consumo doméstico en forma líquida en cilindros a presión y los segundos se emplean para convertirlas en gasolinas por reversión, para obtener alquilatos y para la petroquímica (Vian, 2006).

1.2.3.3.2.- Gasolinas

Gasolina, también llamada fuel (Estados Unidos y Canadá), o petrol (gran Bretaña) o benzine (Europa) es una mezcla de volátiles, hidrocarburos líquidos inflamables derivados del petróleo y usados en motores de combustión interna.

La gasolina es una mezcla de hidrocarburos que usualmente, el punto final de ebullición está entre 180°C (355°F) y 200°C (390°C). Las gasolinas que están dentro de este

rango de ebullición suelen tener entre 4 y 14 átomos de carbón en su estructura y caen dentro de tres tipos generales de hidrocarburos que son: parafinas, olefinas y aromáticos (Speight, 2006)

Tres condiciones que debe reunir una gasolina para un buen rendimiento:

- Volatilidad adecuada para asegurar buena mezcla con el aire, es decir una adecuada presión de vapor (PVR) para facilitar el arranque del motor.
- 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. Hace tiempo se utilizaba el Tetraetilo de Plomo para incrementar el Octanaje, luego se utilizó el Metilterbutil éter (MTBE) y hoy en día Alquilatados, Metanol y Etanol.
- La ausencia de compuestos de azufre en todas sus formas, ya que, se constituyen en sustancias corrosivas y negativos para el ambiente y la salud una vez que se combustionan. Otros productos indeseables en las gasolinas son las poliolefinas que se convierten en polímeros gomosos (Vian, 2006).

1.2.3.3.3. Gasóleo o Diesel

Este producto compite con la gasolina, no solo por su contribución en el transporte pesado sino, también por su aplicación en motores ligeros, su volatilidad va desde 170°C hasta 320°C. Para que un diesel tenga buen desempeño depende de las siguientes características:

- Adecuada composición Química, se ha establecido la condición más favorable es cuando la mezcla parafínica tiene la menor cantidad de aromáticos, esto se traduce en un mayor índice de cetano.
- El punto final de ebullición, mientras menos sea la temperatura de destilación final se evita los humos en el tubo de escape. Y mientras menos viscoso sea el producto la inyección al del carburante es más rápida (Vian, 2006).

Otro producto similar al gasóleo y que se encuentra dentro de los destilados medios de la destilación fraccionada es el Jet Fuel que se utiliza para los turborreactores de avión. Sus condiciones principales son: poco volátiles, para que el líquido no hierba a grandes alturas de vuelo; bajo punto de congelación, para que so se solidifique en el vuelo; y que no forme hollín para evitar el desequilibrio de los rotores (Vian, 2006).

1.2.3.3.4. Fuel Oil

Los Fuel Oil se clasifican en dos principales tipos: Fuel Oil destilado y Fuel Oil residual. El Fuel Oil destilado es vaporizado y condensado durante un proceso de destilación y el punto de ebullición final no es muy alto. El Fuel Oil que contiene alguna cantidad de

residuo de destilación de crudo de rompimiento térmico es un Fuel Oil residual (Speight, 2006)

La destilación atmosférica, la destilación al vacío, la viscorreducción y el fraccionamiento de los compuestos del craqueo en el corte inferior, es decir desde el fondo, se obtienen las fracciones pesadas las mismas que constituyen el residual y para que se convierta en Fuel Oil No. 6 es necesario mezclarlo con hidrocarburos más livianos. Las fracciones menos pesadas se incorporan al diesel.

Fuel Oil No. 6 (también llamado Bunker C o Fuel Oil residual) es mezclado con diluyentes para obtener Fuel Oil más liviano. Este producto es más complejo y posee mayor cantidad de contaminantes que los destilados. Hidrocarburos poliaromáticos y contenido de metales son componentes del Fuel Oil No. 6 (Speight, 2006).

1.2.3.4. EMISIONES DE SO₂.

El dióxido de azufre se emite espontáneamente en la naturaleza por vulcanismo y procesos de combustión. El impacto ambiental generado por el ser humano proviene en primera de la quema de combustibles fósiles sulfurados (carbón, petróleo, derivados del petróleo, gas natural, etc.) en usinas eléctricas e instalaciones de calefacción a distancia, en la industria, en el hogar y en el tránsito vehicular.

Las concentraciones altas de SO₂, se registran en un radio menor a 20 km la fuente de emisión (http://www.ecured.cu/index.php/Di%C3%B3xido_de_azufre).

En el cuadro 10 se muestran los efectos que causa en la salud humana por la exposición a dióxido de azufre.

Cuadro 10

Efectos por exposición al SO₂

Efectos en la salud humana por exposición a dióxido de azufre.

Concentración en 24 horas (ug/m3)	Efecto observado
400 - 900	Posible incremento de los síntomas respiratorios (tos, irritación de la garganta y silbidos en el pecho) en personas con asma.
500 - 1700	Incremento de la síntomas respiratorios en personas con asma y posible agravamiento de las personas con enfermedades pulmonares y cardíacas
1700 - 2300	Incremento significativo de los síntomas respiratorios en personas con asma y agravamiento de las personas con enfermedades pulmonares y cardíacas
2300 - 2900	Síntomas respiratorios severos en personas con asma y riesgo serio de agravamiento de las personas con enfermedades pulmonares y cardíacas
> 2900	Cambios en la función pulmonar y síntomas respiratorios en individuos sanos.

De: CEPIS, OMS/OPS. Curso de orientación para el control de la contaminación del aire

Fuente: Oviedo, diapositivas de la clase Riesgos Ambientales, 2012

Mediante los procesos de refinación que se utilizan en la refinería Esmeraldas, las emisiones no cumplen con los requisitos mínimos establecidos en la normativa vigente, en lo referente a dióxido de azufre SO₂.

La actual central térmica (Termo Esmeraldas), y la nueva central térmica que se encuentra en construcción junto a la existente, al consumir fuel oil con alto contenido de azufre, proveniente de la Refinería Esmeraldas, contribuyen al deterioro de la calidad del aire de la zona.

Como consecuencia de lo anterior, la zona de influencia de la refinería Esmeraldas se encuentra seriamente afectada por la presencia de SO_2 en el aire.

Está demostrado que la presencia de SO_2 en elevadas concentraciones en el aire causan afectaciones en los seres vivos, particularmente en los humanos se producen enfermedades respiratorias. Los cultivos y los ecosistemas se afectan debido a las lluvias ácidas, por la reacción del SO_2 con el agua del ambiente en condiciones meteorológicas determinadas.

El mejoramiento de la calidad de los combustibles está orientado a disminuir la cantidad de azufre. Además, se incrementará el octano en las gasolinas, se mejorará el índice de cetano en el diesel y se disminuirá el contenido de benceno en las gasolinas, de tal forma que dichos combustibles cumplan con las normas internacionales como EURO V.

1.2.4. HIPÓTESIS

Es posible reconfigurar la REE, de tal manera que se incremente la cantidad de derivados en la Refinería Esmeraldas, disminuya la concentración de azufre en los

combustibles, así como también, mejorará la calidad de todos los combustibles procesados en la REE.

1.2.5. IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES

Variables Independientes: son los rendimientos y eficiencias de las tecnologías nuevas a seleccionar para el mejoramiento de los combustibles.

Variables Dependientes: es la cantidad de azufre eliminada de los combustibles, así como la concentración de SO_2 en las emisiones gaseosas.

CAPÍTULO II

MÉTODO

2.1. NIVEL DE ESTUDIO

Explicativo: Describe los procesos de refinación, señala rendimientos y limitaciones, las mismas que son tomadas en cuenta para el modelamiento, y finalmente conseguir el esquema más conveniente para el mejoramiento de los combustibles.

Correlaciones: El reconfigurar la Refinería Esmeraldas, traerá consigo el mejoramiento de los rendimientos, de la calidad de los combustibles, y por consiguiente el mejoramiento de la calidad del aire de la zona donde se producen los combustibles y de las ciudades donde se consumen dichos combustibles.

2.2. MODALIDAD DE INVESTIGACION

La reconfiguración de la Refinería Esmeraldas es un proyecto de desarrollo debido a que es una propuesta práctica, factible y por lo tanto su ejecución es viable.

Además, es un proyecto especial ya que, una vez implementado, la oferta nacional de derivados se incrementará y se eliminará la contaminación ambiental existente en la zona de influencia de la Refinería Esmeraldas.

2.3. MÉTODO

Para llegar a la reconfiguración de la Refinería Esmeraldas es necesario el uso del método **hipotético – deductivo** toda vez que, se parte de una hipótesis y mediante las simulaciones mediante la herramienta RPMS, efectúa las deducciones, las mismas que son verificadas antes de emitir el esquema final.

2.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

Procesos de conversión de la Refinería Esmeraldas.

2.5. SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACION

Para la reconfigurar la Refinería Esmeraldas se utilizará la **experimentación** como instrumento de investigación, consiste en el cambio de variables sobre un modelo de programación lineal construido para el efecto.

2.6. VALIDEZ Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS

El instrumento de la simulación mediante programación lineal es confiable, es utilizado por las consultoras internacionales para encontrar oportunidades para instalar refinerías nuevas o reconfigurar las existentes.

2.7. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

En el programador lineal LP se introduce la siguiente información:

- Calidad de crudo a procesarse.
- Capacidades de operativas de las plantas que actualmente operan con sus rendimientos,
- Se ingresan las especificaciones de calidad de los diferentes productos;

Una vez ingresada esta información, se corre el programa para resolver la matriz, de esta manera se establece la línea base.

Sobre la línea base que es el modelo de partida, se introducen datos de nuevas plantas de procesamiento, de igual forma que la anterior con sus rendimientos y calidades de productos. Se corre el programa y se verifica si la hipótesis planteada se resuelve.

Este procedimiento se repite modificando las variables hasta que el modelo entregue un esquema de refinación de los problemas planteados.

Una vez que se tiene la configuración por la vía de la simulación, de acuerdo con la experiencia del refinador, se hacen los ajustes respectivos para finalmente tener una configuración que sirve de base para las etapas de Ingeniería Básica, Detalle, Procura y Construcción.

2.8. PROCESAMIENTO DE DATOS

Para modelar a la refinería y efectuar las simulaciones, es necesario cargar una serie de datos al modelo, se introducen los siguientes tipos de datos: calidades actuales y futuras

de los derivados, características del crudo carga; precios de carga y productos; demandas actuales y futuras de los derivados; rendimientos de procesos nuevos que son necesarios introducir y calidad de los productos importados.

2.8.1.- CALIDAD ACTUAL Y FUTURA DE LOS DERIVADOS

El Número de Octano para la gasolina Extra será de 91 y para la gasolina Super 95 RON. El contenido de azufre de la gasolina Extra y Super disminuyan de 650 ppm a menos de 50 ppm.

El contenido de Benceno será de máximo 0,6% en volumen, el resto de especificaciones contenida en la Norma vigente seguirán siendo las mismas(Norma NTE INEN 935:2012)

El Diesel de la Refinería Esmeraldas contendrá menos de 50 ppm de azufre y el índice de Cetano será de mínimo 47. El resto de especificaciones para el Diesel serán los mismos que actualmente se tiene en la Norma vigente (Norma NTE INEN 1489:2012).

El Fuel Oil que se produce en la refinería debe ser de máximo 1,0% de azufre, el resto de especificaciones son las que constan en la Norma INEN 1 983:2002. En el Anexo 1 se muestran las normas INEN de los combustibles gasolina, diesel y fuel oil (Norma INEN 1 983:2002)

La calidad del petróleo debe estar entre 23,7 y 27 grado API, para este rango las unidades de destilación están diseñadas. En el Anexo 2 se adjunta la Caracterización del crudo (ASSAY) del crudo Oriente que se utilizó para las simulaciones (IFP-BEICIP FRANLAB, Ingeniería Básica Crudos pesados, 1993).

Las unidades de procesos que se adicionen deben ser previamente seleccionadas y deben estar acordes con la lógica del proceso de refinación, para el presente caso por ejemplo, si necesitamos hidrodesulfurar la nafta de FCC se seleccionará un proceso que más convenga técnica y económicamente, es necesario indicar que existen varias empresas que ofrecen unidades de procesos para el mismo propósito, lo que varía en estas tecnologías es la complejidad para operar, los costos operacionales y la experiencia reflejada en el número de plantas instaladas en el mundo.

Como se indicó anteriormente, el Ecuador importa Nafta de Alto Octano para elaborar las mezclas en las refinerías y en los diferentes terminales para obtener la gasolina Extra y Super,

2.8.1.1. CALIDAD FUTURA DE LOS DERIVADOS

En los siguientes cuadros se muestran las calidades de los derivados que se pretende obtener con la nueva configuración de la refinería. Las calidades de los derivados expuestos son los principales y se han seleccionado tomando en cuenta la criticidad.

Cuadro 11

Características Futuras de la Gasolina Súper

Especificación	Unidad	Valor
RON	Número de octano	Mín 95
Azufre	ppm	Máx. 50
Olefinas	% vol.	Máx. 18
Aromáticos	% vol.	Máx. 35
Benceno	% vol.	Máx. 1
Presión de vapor RVP	kPa	Máx. 56
Oxígeno	% vol.	Máx. 3,5
Destilación a 10%	°C	70
Destilación a 50%	°C	Entre 77 y 121
Destilación a 90%	°C	Máx. 189
Punto final de ebullición	°C	Máx. 215

Fuente: Subgerencia de Operaciones de EP Petroecuador, 2012

Cuadro 12

Características futuras de la gasolina Extra

Especificación	Unidad	Valor
RON	Número de octano	Mín 91
Azufre	ppm	Máx. 50
Olefinas	% vol.	Máx. 18
Aromáticos	% vol.	Máx. 35
Benceno	% vol.	Máx. 1

Presión de vapor RVP	kPa	Máx. 56
Oxígeno	% vol.	Máx. 3,5
Destilación a 10%	°C	70
Destilación a 50%	°C	Entre 77 y 121
Destilación a 90%	°C	Máx. 189
Punto final de ebullición	°C	Máx. 215

Fuente: Subgerencia de Operaciones de EP Petroecuador, 2013

Cuadro 13

Especificaciones futuras del Diesel de Consumo Automotriz

CARACTERÍSTICA	UNIDAD DE MEDIDA	ESPECIFICACIÓN INEN
Contenido de azufre	ppm	Máximo 50
Destilación al 90%	°C	Máximo 360
Índice de Cetano		Mínimo 45

Fuente: Norma INEN 1489: 2012

Cuadro 14

Especificaciones futuras del diesel de consumo industrial, eléctrico y naviero

CARACTERÍSTICA	UNIDAD DE MEDIDA	ESPECIFICACIÓN INEN
Contenido de azufre	ppm	Máximo 2.000
Destilación al 90%	°C	Máximo 500
Índice de Cetano		Mínimo 45

Fuente: Norma INEN 1489:2012

Cuadro 15

Características Futuras del Fuel Oil No. 4

CARACTERÍSTICA	UNIDAD DE MEDIDA	ESPECIFICACIÓN INEN
Contenido de azufre	ppm	Máx. 10.000 ppm
Contenido de Ni	ppm	No tiene especificación
Contenido de Vanadio	ppm	No tiene especificación
Viscosidad	Segundos Redwood a 37.78°C	entre 4.040 y 5.030

Para elaborar el caso base en el simulador, es necesario procesar datos relacionados con la calidad actual de todos los productos terminados. A continuación se señalan las especificaciones principales de los derivados mayor consumo y que su calidad, si bien cumple con las actuales normas INEN, no están acordes con las tendencias internacionales.

2.8.1.2.- CALIDAD ACTUAL DE LOS DERIVADOS

Las gasolinas Extra y Super que se comercializan en el Ecuador cumplen con las normas INEN NTE 935 2012, a continuación, en los cuadros 16 Y 17, se indican las especificación de mayor relevancia y que se han tomado en cuenta en el presente estudio para el mejoramiento de la REE.

Cuadro 16

Especificaciones actuales de la Gasolina Extra

CARACTERISTICA	UNIDAD DE MEDIDA	ESPECIFICACIÓN INEN
Octanaje	RON	Mínimo 87
Contenido de azufre	ppm	Máximo 650
Contenido de olefinas	% vol.	Máximo 18
Contenido de Benceno	% vol.	Máximo 1
RVP	kPa	Máximo 60

Fuente: Norma INEN 9352012

Cuadro 17

Especificaciones de la Gasolina Súper

CARACTERISTICA	UNIDAD DE MEDIDA	ESPECIFICACIÓN INEN
Octanaje	RON	Mínimo 92
Contenido de Azufre	ppm	Máximo 650
Contenido de olefinas	% vol.	Máximo 18
Contenido de Benceno	% vol.	Máximo 2
RVP	kPa	Máximo 60

Fuente: Norma INEN 935 2012

El diesel que se consume en el Ecuador tiene dos destinos, el que usa el sector automotriz el mismo que tiene un contenido de azufre de 500 ppm bajo Norma INEN No. 1489 2012 tabla 3; sin embargo la Refinería en la actualidad produce diesel con menos de 50 ppm de azufre. El otro diesel tiene un contenido de azufre máximo de 7000 ppm, destinado al sector industrial, eléctrico y naviero conforme a la Norma INEN 1489 2012 tabla 2.

El requisito de la Norma INEN 1489 2012 fue aprobado para que entre en vigencia desde abril del 2012 en todo el Ecuador, antes de esa fecha únicamente Quito, Cuenca y parte de Guayaquil mediante ordenanzas municipales consumían diesel de menos de 500 ppm de azufre, el resto del país consumía diesel de menos 7.000 ppm de azufre.

En los cuadros 18 y 19, se muestran las especificaciones principales del Diesel que influyen directamente en la calidad del aire.

Cuadro 18

Especificaciones del Diesel de Consumo Automotriz

CARACTERÍSTICA	UNIDAD DE MEDIDA	ESPECIFICACIÓN INEN
Contenido de azufre	ppm	Máximo 500
Destilación al 90%	°C	Máximo 360
Índice de Cetano		Mínimo 45

Fuente: Norma INEN 1489: 2012

Cuadro 19

Especificaciones actuales del diesel de consumo industrial, eléctrico y naviero

CARACTERÍSTICA	UNIDAD DE MEDIDA	ESPECIFICACIÓN INEN
Contenido de azufre	ppm	Máximo 7.000
Destilación al 90%	°C	Máximo 500
Índice de Cetano		Mínimo 45

Fuente: Norma INEN 1489:2012

Como se puede observar en los cuadros anteriores, la diferencia de calidad en lo que se refiere al contenido de azufre entre el diesel automotriz e industrial es muy grande, esto se debe principalmente a que la Refinaría Amazonas y Refinería de La Libertad no tienen unidad de hidrotratamiento para remover el azufre y son estas las que producen los combustibles industriales.

El Fuel Oil que se comercializa en el Ecuador está sujeto a la Norma INEN 1983 2002 Tabla 2, para el fuel Oil No. 6 la viscosidad está entre 5.030 y 6.020 Segundos Redwood a 37,78°C, el contenido de azufre para este producto es de máximo 25.000 ppm. El Sector Eléctrico e Industrial consume este tipo de Fuel Oil.

El Fuel Oil No. 4 se comercializa con el mismo número de Norma pero mediante la tabla No. 1, la viscosidad de éste Fuel Oil se encuentra entre 4.040 y 5.030 SSR a 37.78°C y, el contenido de azufre es de máximo 23.000 ppm. El sector eléctrico, industrial, naviero y la refinería consumen éste tipo de combustible.

Cuadro 20

Especificaciones del Fuel Oil No. 6, para térmicas y consumo interno

CARACTERÍSTICA	UNIDAD DE MEDIDA	ESPECIFICACIÓN INEN
Contenido de azufre	ppm	253.000 ppm
Contenido de Ni		No tiene especificación
Contenido de Vanadio		No tiene especificación

Viscosidad	Segundos Redwood a 37,78°C	entre 5.030 y 6.020
------------	-------------------------------	---------------------

Fuente: Norma INEN 1983:2002

Cuadro 21

Especificaciones del Fuel Oil No. 4 para térmicas y consumo interno

CARACTERISTICA	UNIDAD DE MEDIDA	ESPECIFICACIÓN INEN
Contenido de azufre	ppm	1.400 ppm
Contenido de Ni		No tiene especificación
Contenido de Vanadio		No tiene especificación
Viscosidad	Segundos Redwood a 37.78°C	entre 4.040 y 5.030

Fuente: Norma INEN 1983:2002

En la Norma Ecuatoriana no se ha establecido como requisito el contenido de Níquel y Vanadio, se conoce que estos metales pesados durante la combustión forman óxidos metálicos que se pegan en los tubos de los hornos y calderas. Al pegarse forman costras sobre las paredes del tubo que hacen ineficiente la operación de calentamiento, con el agravante de una posible ruptura del tubo por los puntos calientes que se forman.

2.8.2.- CARACTERISTICAS Y PRECIOS DEL CRUDO CARGA

Al simulador se carga el ASSAY del crudo, en este caso es el Crudo Oriente, en el siguiente cuadro se exponen las características principales de la alimentación y en el ANEXO 1 se muestra el ASSAY completo utilizado para las simulaciones.

Cuadro 22

Características del crudo

Característica	Valor	Valor
Procedencia	Nacional	Crudo Oriente Ecuatoriano
Densidad	915,3 kg/m ³	23,1 API
Contenido de azufre	1,3% en peso	13.000 ppm

Fuente: EP Petroecuador Subgerencia de Operaciones, 2012

En el siguiente cuadro se muestra una estadística de precios de los crudos nacionales, para las simulaciones se ha tomado los precios del crudo Oriente promedio de los años 2011 y 2012. Estos precios son FOB es decir en el puerto de Balao.

Cuadro 23

Precios de los Crudos Nacionales

US\$/bbl	Avg 11/12	j-11	f-11	m-11	a-11	m-11	j-11	j-11	a-11	s-11	o-11	n-11	d-11	j-12	f-12	m-12	a-12	m-12
WTI	96.8	89	89	103	110	101	96	97	86	85	86	97	99	101	102	106	103	95
Oriente	103.7	85	90	105	113	105	99	104	98	104	104	106	101	104	112	118	114	102
Napo	99.7	81	87	102	109	100	94	99	93	99	100	102	97	100	109	114	110	99

Fuente: EP Petroecuador, Gerencia de Comercio Internacional, 2012

2.8.3.- PRECIOS DE LOS DERIVADOS Y COSTOS DE FLETES

Al programador lineal también se alimentan los precios de cada uno de los productos que se obtendrían con la nueva configuración, estos precios son los que el Ecuador pagaría al importar, el precio se refiere al que el Ecuador cancela por los derivados puestos en los terminales, en este caso el Terminal de Balao.

En el siguiente cuadro se muestra el precio del crudo Oriente y su variación desde julio del 2011 hasta mayo del 2012, al simulador se alimentará el valor promedio.

La Refinería Esmeraldas únicamente procesa Crudo Oriente, por esta razón se tomará el precio promedio de este Crudo para las simulaciones. Como se puede observar el crudo marcador tiene un precio inferior al crudo oriente y Napo situación que demuestra que nuestros crudos estan con buen precio en el mercado internacional. También se puede notar que la diferencia de precio entre el crudo Oriente y Napo es de 6 USD, situación que favorece cuando se opere con conversión profunda, pues esta permite procesar un crudo más pesado.

Cuadro 24

Costos de los fletes

MaritimeFreight		
Producto limpio	3.0	US\$/bbl
LPG	4.1	US\$/bbl
Fuel	1.9	US\$/bbl
DomesticTransportCost		
Esmeraldas-Shushufindi	3.0	US\$/bbl

Fuente: EP petroecuador, Gerencia de Comercio Internacional, 2012

Los precios que se utilizarán en el modelo son los que en el siguiente cuadro se muestran, el valor que se alimenta al modelo es el valor en Costa del Golfo más el transporte desde ese sitio hasta el terminal de marítimo ubicado en las costas de Esmeraldas.

Cuadro 25

Precios internacionales del crudo y derivados

Producto	CIF Ecuador USD/bbl	Transporte USD/bbl	Precio promedio FOB USGC
WTI			96,8
Oriente	103,7		103,7
LPG	72,0	4,14	67,8
Gasolina US Gulf 87 RON	126,2	3,0	123,2
Gasolina US Gulf 93 RON	123,5	3,0	120,5
Nafta bajo octano	117,5	3,0	114,5
Jet Fuel 54 US Gulf	131,1	3,0	128,1
Diesel bajo azufre	128,5	3,0	125,5
Disel de ultra bajo azufre	130,1	3,0	127,1
Fuel Oil No 4	127,8	3,0	124,8
Fuel Oil No. 6	100,6	1,86	98,8
VGO	126,8	3,0	123,8

Fuente: EP Petroecuador, Gerencia de Comercio Internacional, 2012

2.8.4.- CALIDAD DEL PRODUCTO IMPORTADO

Como se indicó anteriormente, el Ecuador importa Nafta de Alto Octano para elaborar las mezclas en las refinerías y en los diferentes terminales para obtener la gasolina Extra y Super, a continuación se muestra un cuadro donde se indican las principales características de calidad de la Nafta de Alto Octano importada,

Cuadro 26

Características de la Nafta Importada

Especificación	Unidad	Valor
RON	Número de Octano	Mín 95
RVP	KPa	Máx 60
Azufre	Wt. ppm	Máx 50
Aromáticos	Vol%	Máx 30
Benzeno	Vol %	Máx 1
Olefinas	Vol %	Máx 20

Fuente: EP Petroecuador, Subgerencia de Operaciones, 2012

2.8.5. - CALIDAD DE LA PRODUCCIÓN DE REFINERÍA ESMERALDAS

La Refinería Esmeraldas por sí sola, no produce gasolina Extra y Super bajo Norma INEN actual, necesita de Nafta Importada para efectuar la mezcla. En el caso específico, la Unidad de FCC produce 10.000 BOPD de gasolina pero con valores muy altos de azufre, sale con 1.700 ppm de azufre, en la actualidad se ha logrado bajar a 1.300 ppm de azufre mediante el uso de aditivos en el catalizador de craqueamiento pero sigue siendo alto, de esta

forma, la mezcla al interior de la refinería se dificulta debido a que las corrientes de las otras unidades productoras de gasolina como por ejemplo la unidad de Reformación Catalítica es baja y existe el limitante del número de octano y el porcentaje de aromáticos.

En el cuadro 27 se muestran las producciones de cada unidad de la Refinería Esmeraldas con los contenidos de azufre y el octanaje, así como también, los volúmenes que se producen. (Estadística de la Subgerencia de Operaciones de la Gerencia de Refinación, 2012).

Cuadro 27

Calidad de la Producción actual de la Refinería Esmeraldas

ESTADÍSTICAS DE CALIDAD CORRIENTES INTERMEDIAS REFINERÍA ESTATAL ESMERALDAS						
UNIDAD	PRODUCTO	CALIDAD			VOLUMEN	
		RON	AZUFRE (ppm)	VISCOSIDAD Redwood a 37,78°C	Bls/día	
CRUDOS	NAFTA LIVIANA	72	50		1.700	
	NAFTA PESADA	65	250		11.000	
SEVIAS	NAFTA	83	2500		250	
FCC	NAFTA TRATADA	92	1.200		10.000	
CCR	NAFTA REFORMADA	76	0		5.500	
HDS	DIESEL CARGA		6.400			
	DIESEL PRODUCTO		< 50		22.000	
	RESIDUO		20.000		30.000	35.000
	FUELOÍL No.6		19.400		5.800	24.000
	FUELOÍL No.4		19.400		4.900	SE PREPARA EN FUNCIÓN DE LA DEMANDA

Fuente: Estadística de la Subgerencia de Operaciones de la Gerencia de Refinación

2.8.6.- DEMANDA ACTUAL Y FUTURA DE DERIVADOS EN ECUADOR

Para que el simulador dimensione el proceso, también es necesario alimentar como dato la demanda de cada uno de los derivados. Del cuadro anterior se puede decir que la tasa de mayor consumo es la gasolina, seguida por el de diesel y GLP. Para el caso de GLP este porcentaje no toma en cuenta el ingreso de las centrales hidro-eléctricas, que de alguna manera podrían desplazar el consumo de GLP doméstico. Con relación al Diesel también se podría decir lo mismo las centrales térmicas a diesel no operarían en vista de la cantidad suficiente de energía hidroeléctrica.

Cuadro 28

Variación de la Demanda

Producto	2009 kbbbl/día	2015 kbbbl/día	2020 kbbbl/día	2030 kbbbl/día	% Variación 2009-20015	% Variación 2015-2020	% Variación 2015-2030
LPG	30.700	38.146	44.160	54.093	3,7	3,0	2,4
Gasolina	51.500	70.057	84.418	110.996	5,3	3,8	3,1
Diesel	72.900	85.037	97.154	123.227	2,6	2,7	2,5
Fuel Oil	35.600	47.533	51.713	60.015	4,9	1,7	1,6
Otros	Na	7.816	8.420	9.514		1,5	1,3
Total	190.700	248.589	285.865	357.895	4,5	2,8	2,5

Fuente: Gerencia de Comercialización, 2012

En el siguiente cuadro se puede notar el grado de dependencia que tiene el país en lo que se refiere a importaciones de derivados, esa situación se debe tomar en cuenta cuando se

analicen los resultados de las simulaciones, pues, a más de mejorar la calidad de los combustibles, con la nueva configuración se debe tender a disminuir las importaciones.

Cuadro 29

Demanda, Producción e Importación de Derivados

CIFRAS REALES 2012 PROMEDIO POR DÍA										
CIFRAS EN BLS/DÍA										
PRODUCTO	DEMANDA	PRODUCCIÓN				PRODUCCIÓN TOTAL NACIONAL	IMPORTACIONES	USD/BL		
		REE	RLL	CIS	TERMINALES					
GLP	32.337	4.734	60	2.511		7.306	24.622	71,44		
GASOLINA EXTRA (87 OCTANOS, 650 PPM DE AZUFRE)	49.865	9.936	4.831	1.087	33.721	49.574	38.885	143,91	RON 95 PARA PREPARACIÓN DE GASOLINAS RON 87/92	
GASOLINA SUPER (92 OCTANOS, 650 PPM DE AZUFRE)	14.607	9.170	150	-	6.226	15.546				
DIESEL PREMIUM (500 PPM DE AZUFRE)	50.185	17.560	-	-		17.560	33.558	136,41	MAX. 500 ppm S	
DIESEL 2 (eléctrico, industrial y naviero) (HASTA 7000 PPM DE AZUFRE)	29.495	3.243	6.560	5.480		15.284	12.952	135,45	MAX. 5000 ppm S	
JET FUEL	6.909	5.217	2.167	166		7.550	-			
ASFALTO AC-20	6.065	6.069	-	-		6.069	-			
ASFALTO RC-250	473	488	-	-		488	-			

Fuente: Subgerencia de Operaciones de Refinación EP Petroecuador, 2013

2.8.7. PLANTEAMIENTO DE CASOS PARA LAS SIMULACIONES

Los procesos que se han visualizado, se han considerado adecuados para efectuar las simulaciones, para realizar las corridas se han clasificado basicamente en 5 casos, el caso 5

es producto de las tres modelaciones anteriores y de la configuración de la Refinería del Pacífico, es decir, es una opción que integra a las dos refinerías.

2.8.7.1. ALTERNATIVA CASO 1

Nueva isomerizadora con unidad (dehisohexanizadora) DIH en lugar de la existente, esta unidad se instalará gracias al aprovechamiento del Reformado liviano de la Unidad de Reformación Catalítica Continua CCR.

Adición de una hidrotratadora de nafta (Hidrotatadora) HDT, que reemplazará a la actual unidad Merox, en esta unidad se tratarán las gasolinas principalmente proveniente de la unidad de FCC

Adición de una unidad de Oligomerización C3 y C4, la carga que utilizará esta unidad será las olefinas del GLP de la Unidad FCC.

Nueva unidad de endulzamiento de GLP para tener 5 ppm de azufre en la carga a la Unidad de Oligomerización.

Modificar y ampliar la unidad de HDS para bajar de 50 ppm a 10 ppm el contenido de azufre.

2.8.7.2.- ALTERNATIVA CASO 2

Nueva unidad de isomerización con DIH, en reemplazo de la existente, igual que en caso anterior.

Hidrotratadora de nafta de craqueada, reemplazara a la unidad Merox, para hidrotratar principalmente la nafta de FCC que en la actualidad tiene entre 1300 y 1600 ppm de azufre.

Adición de una Unidad de Alquilación, se requerirá importar isobutano para la mezcla. La unidad de Alquilación producirá un octanaje de 100 Ron como mínimo

La unidad HDS deberá ser modificada y ampliada para producir diesel con 10 ppm de azufre

Nueva unidad de endulsamiento de LPG para preparar la carga a Oligomerización.

2.8.7.3.- ALTERNATIVA CASO 3

Considerar la conversión del residuo que produce la refinería, aproximadamente 38.000 barriles netos.

Adicionar una Unidad de Hidrocraking con Lecho Ebulido en reemplazo de la dos viscorreductoras

Adicional una unidad DHDS, Adicionar una unidad de producción de hidrógeno, el hidrógeno será utilizado en las unidades HDT, VR y HCK

Adición de una unidad de lavado con aminas y regeneración para depurar los gases.

Adición de una unidad de tratamiento de aguas amargas.

Modificar la actual HDS para producir diesel con menos de 10 ppm de azufre

Nueva unidad de endulzamiento de GLP.

2.8.7.4.- ALTERNATIVA CASO 4

Tomando en cuenta que el residuo de Esmeraldas tiene un alto contenido de metales (Niquel y Vanadio), una de las opciones viables es simular la instalación de una Unidad de Coquizamiento Retardado, acompañado de hidrotratadoras de diesel y nafta, así como también una planta para alquilación.

2.8.7.5.- ALTERNATIVA CASO 5

Hidrotratadora de nafta de craqueada, reemplazara a la unidad Merox. Adición de una Unidad de Alquilación, se requerirá importar isobutano e instalar unidad de endulzamiento de GLP.

El residuo de la Refinería Esmeraldas se lo llevaría mediante buque tanque hacia la Refinería del Pacífico, para que sea alimentado a la unidad de coquizamiento retardado que esta proyectado instalarse en esa nueva refinería.

Cuadro 30

Nuevas Unidades Consideradas en el Modelo

UNIDAD	CODIGO
Nueva isomerizadora	DIH ISO
Separador de reformado	RSP
Hidrotratadora de naftacraqueada	CNHT
Unidad de Oligomerización	OLI
Unidad de Alquilación	ALK
Hidrotratadora de Diesel integrada a RHCK	GTH
Hidrocraqueadora de VGO	HCK
Reformadora Catalítica Continua	CCR
Hidrotratadora de Nafta Liviana	LNHT
Hidrocraqueadora de residuos de vacío	RHCK
Coquizadora retardada	DK
Unidad productora y purificadora de Hidrógeno	H2 Prod
Unidad recuperadora de azufre	S Prod

Fuente: Autor

CAPITULO III

3.1. LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Una vez que se ha cargado toda la información descrita en el Capítulo II, numeral 2.8, se procede a realizar las corridas en el programador lineal, producto del análisis, la información obtenida se ha clasificado en cinco casos.

3.1.1.- CASO 1

El esquema se fundamenta en: Hidrotratamiento de nafta craqueada, Unidad de Oligomerización y Unidad de Isomerización DIH. La refinería operaría a la misma capacidad de operación actual, es decir 110.000 BPD.

Al esquema actual se adicionan las siguientes unidades:

La nafta craqueada de la unidad de FCC será enviada a una unidad de Hidrotratamiento para asegurar que el contenido de azufre en la gasolina sea menos de 10 ppm. En esta planta se removerán los mercaptanos y las diolefinas.

La Gasolina Importada podría ir a través de la Hidrotratadora de nafta de FCC si necesita remover azufre. También se adicionaría una unidad de Oligomerización, Para el

efecto un separador de GLP hará que las olefinas serán oligomerizadas para hacer gasolina de alto octano.

Se instalará una Isomerizadora con DIH (Deisohexanizador) en la nafta liviana hidrotratada para optimizar el octano del isomerato.

Se adicionará un splitter a la CCR para separar el reformado liviano y el reformado pesado. El reformado pesado irá a la mezcla de gasolinas y el reformado liviano irá a la isomerización para remover el benceno y mejorar el octano.

El punto final de destilación del diesel es de 350 °C. Se modificará la existente HDS para producir diesel con menos de 10 ppm de azufre.

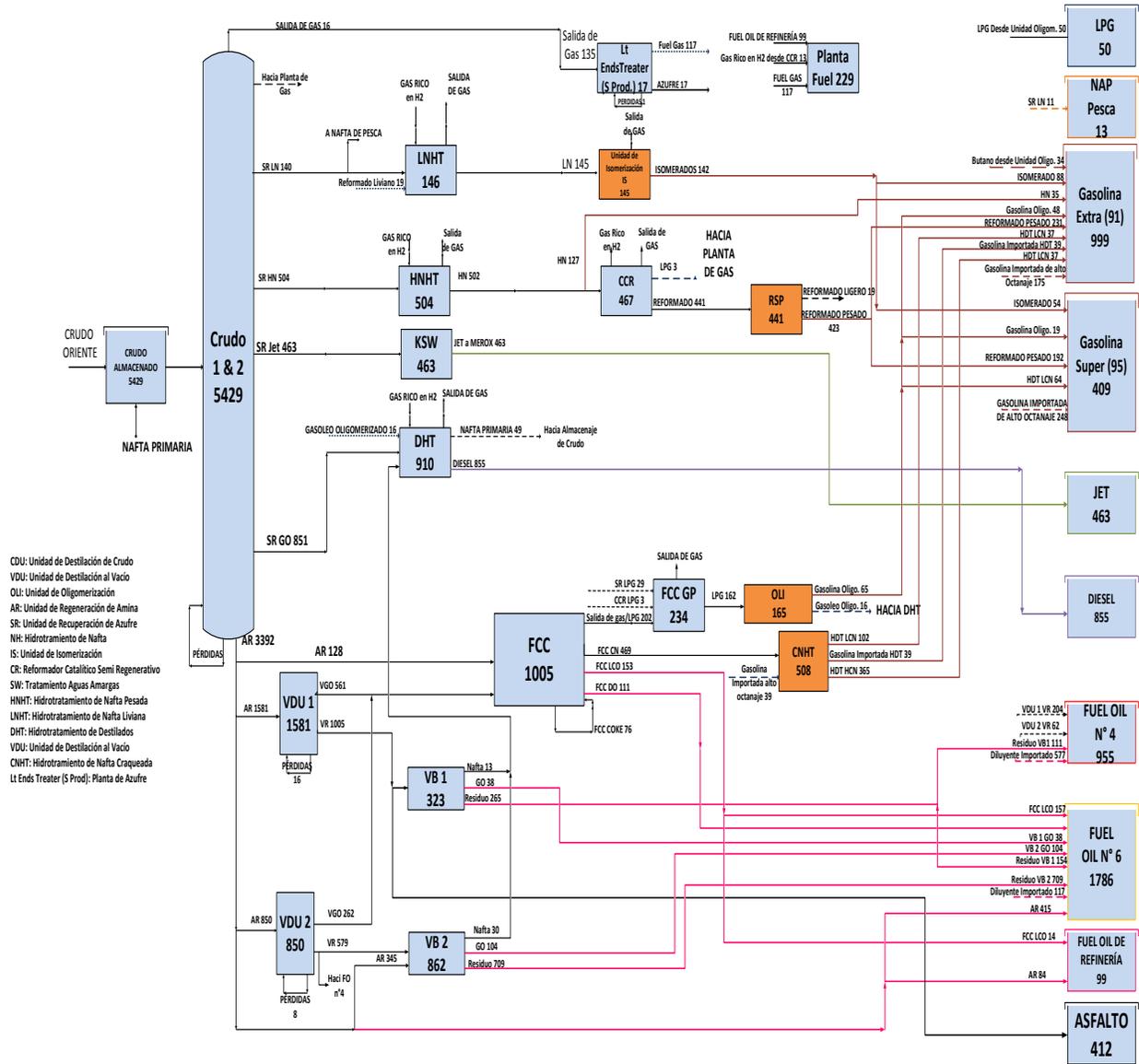
Habrá más VGO para la unidad de FCC con la adición del corte de 373 °C a 350. La unidad de FCC utilizaría menos cantidad de residuo atmosférico como carga

A continuación se muestran los esquemas de refinación, expresados mediante el flujo de procesos, con cifras de carga y productos expresados en masa y volumen, los bloques con color rojo representan las unidades nuevas a instalarse para el Caso 1.

En el Gráfico que a continuación se muestra, se puede observar que se instalará, tres unidades nuevas. En este caso es necesario una planta para generar hidrógeno necesaria para el hidrotratamiento.

Gráfico 17

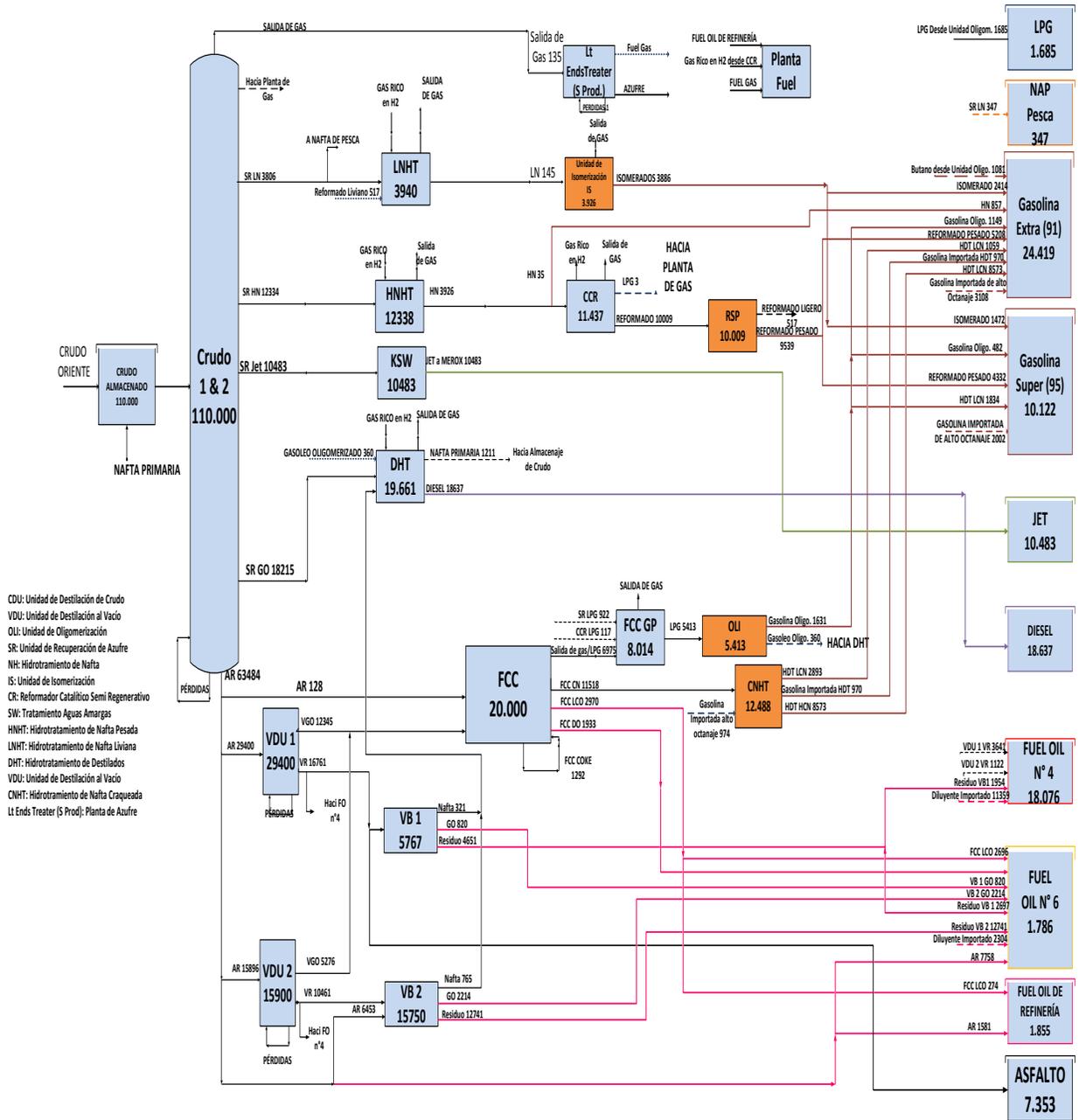
Esquema de la Configuración Caso 1 con Balance en Masa.



Fuente: El Autor, 2013

Gráfico 18

Esquema de refinación Caso 1 Balance en Volumen.



Fuente: El Autor y Axens, 2013

3.1.2.- CASO 2.

Configuración Hidrotamiento de nafta de FCC, unidad de alquilación y unidad isomerizadoraDIH. La refinería operaría al 100% de su capacidad es decir a 110.000 BPD. Este caso es similar al caso base adicionando las siguientes unidades:

El LPG iría a una unidad de alquilación para hacer gasolina de alto octano, para este caso se debe usar un splitter para separar las olefinas que irán como carga a la alquilación.

Se instalaría una unidad de hidrotratamiento de nafta craqueada similar al caso 1.

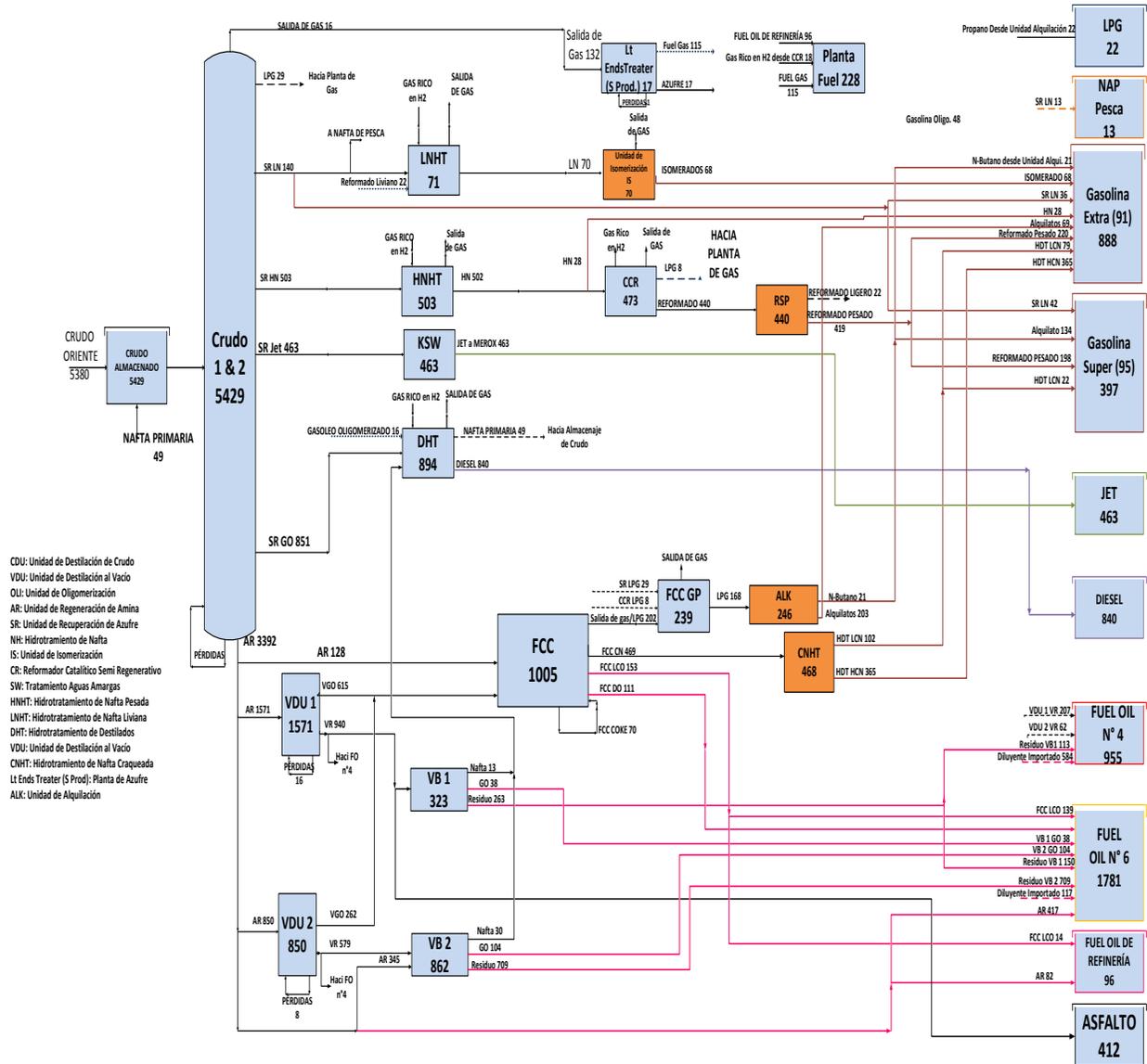
Este caso contempla la instalación de una isomerizadora con Dehisohexanizadora DIH para optimizar el octanaje del isomerato.

Para que sean utilizadas las olefinas C3/C4 del GLP es necesario que el GLP sea sometido a un tratamiento con aminas de tal manera que el GLP salga con 5 ppm de azufre.

Como se puede ver en el caso 2, al igual que en el caso 1 no se contempla el procesamiento de residuo, unicamente se trata de un esquema que sirve para mejorar la calidad de la gasolina, de ninguna manera existe incremento en la producción. En el caso 2, la diferencia, si se compara con el caso 1 es el tipo de unidad para el aprovechamiento de las olefinas de la Unidad de FCC, en el caso 1 se instalaría la Oligomerización y en el caso 2 se instalaría la Alquilación.

Gráfico 19

Esquema de la Configuración Caso 2 con Balance en Masa



Fuente. El Autor, 2013

Gráfico 20

Esquema de Refinación Caso 2 balance en volumen

El VGO va a FCC con residuo atmosférico AR y representa el 12,7% de la carga a la unidad de FCC. Las dos reductoras de vacío serán reemplazadas por una unidad de hidrocraqueo con lecho ebullo RHCK.

Residuos de vacío, residuo atmosférico y Slurry de FCC, serán convertidos mediante la unidad de HCK.

La nafta que salga de la HCK irá a la unidad HDT o directamente a la mezcla de gasolinas. Los destilados medios irán a la HDS de diesel integrada a RHCK para ser mejorado como diesel componente.

La unidad RCHCK para hidrotratar el diesel requiere de una alta presión, debe tener 140 atmósferas, este no puede ser procesado en la unidad HDS existente debido a que tiene baja presión.

El VGO de las unidades existentes de vacío, serán convertidos en la unidad HCK. El aceite no convertido en esta unidad será usado en la refinería como combustible.

La conversión de todo este sistema de fondos será del orden del 70%.

El VGO de la Hidrocraqueadora de lecho ebullo RHCK irá a la Hidrocraqueadora de VGO llamada HCK cuya conversión es del 80%.

La Nafta de la unidad HCK irá a la unidad HDT o directamente al pool de gasolinas. El diesel y el kerosene de alta calidad se envían al pool de diesel.

El hidrocarburo no convertido se utilizara como combustible para hornos y calderas de refinería, este tendrá un bajo contenido de azufre gracias a los procesos de hidrocraqueamiento.

El Jet A1 y el diesel en lo que se refiere a hidrodesulfuración quedan igual que en el caso 1

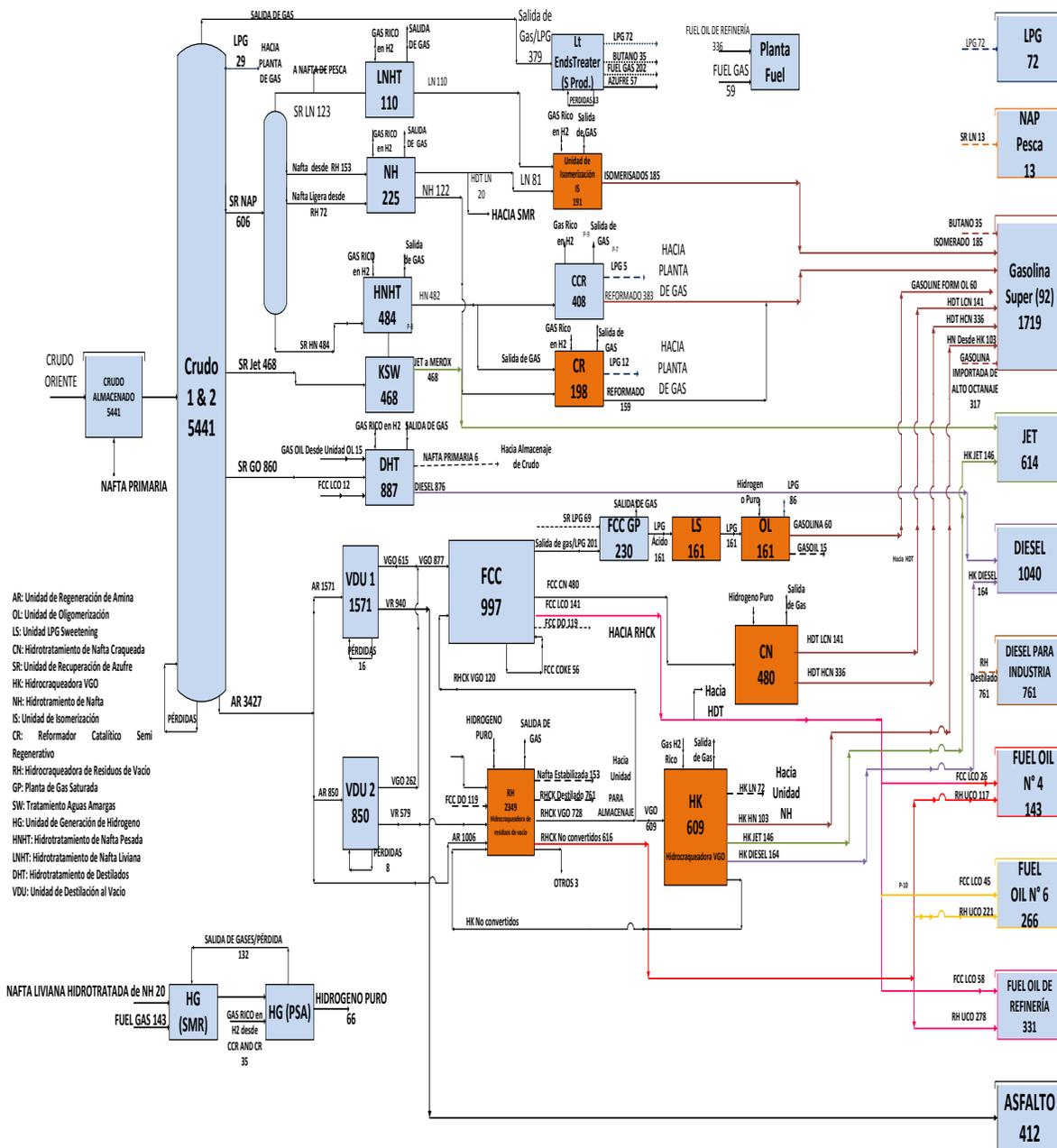
El GLP será endulzado en una nueva planta de aminas para tener 5 ppm de azufre (actualmente tiene 130 ppm). Es necesario endulzar más para cumplir con las especificaciones de la carga a la unidad de Oligomerización.

Para el esquema de VGO de la unidad de FCC igual consideraciones que el caso 1.

En los Gráficos 19 y 20 se muestra los flujogramas de procesos en masa y volúmen respectivamente, con las unidades indicadas anteriormente. En color anaranjado se representan las unidades nuevas a instalarse.

Gráfico 21

Esquema de la Configuración Caso 3 con Balance en Masa.



Fuente: Simulaciones de Axens y EP Petroecuador, 2013

Este caso se fundamenta en la instalación de una unidad de Coquizamiento retardado con una unidad de alquilación y una unidad de hidrotreatmento de naftas.

La Gasolina de la Unidad de FCC y de viscorreducción, ingresan a una unidad de Hidrotreatmento.

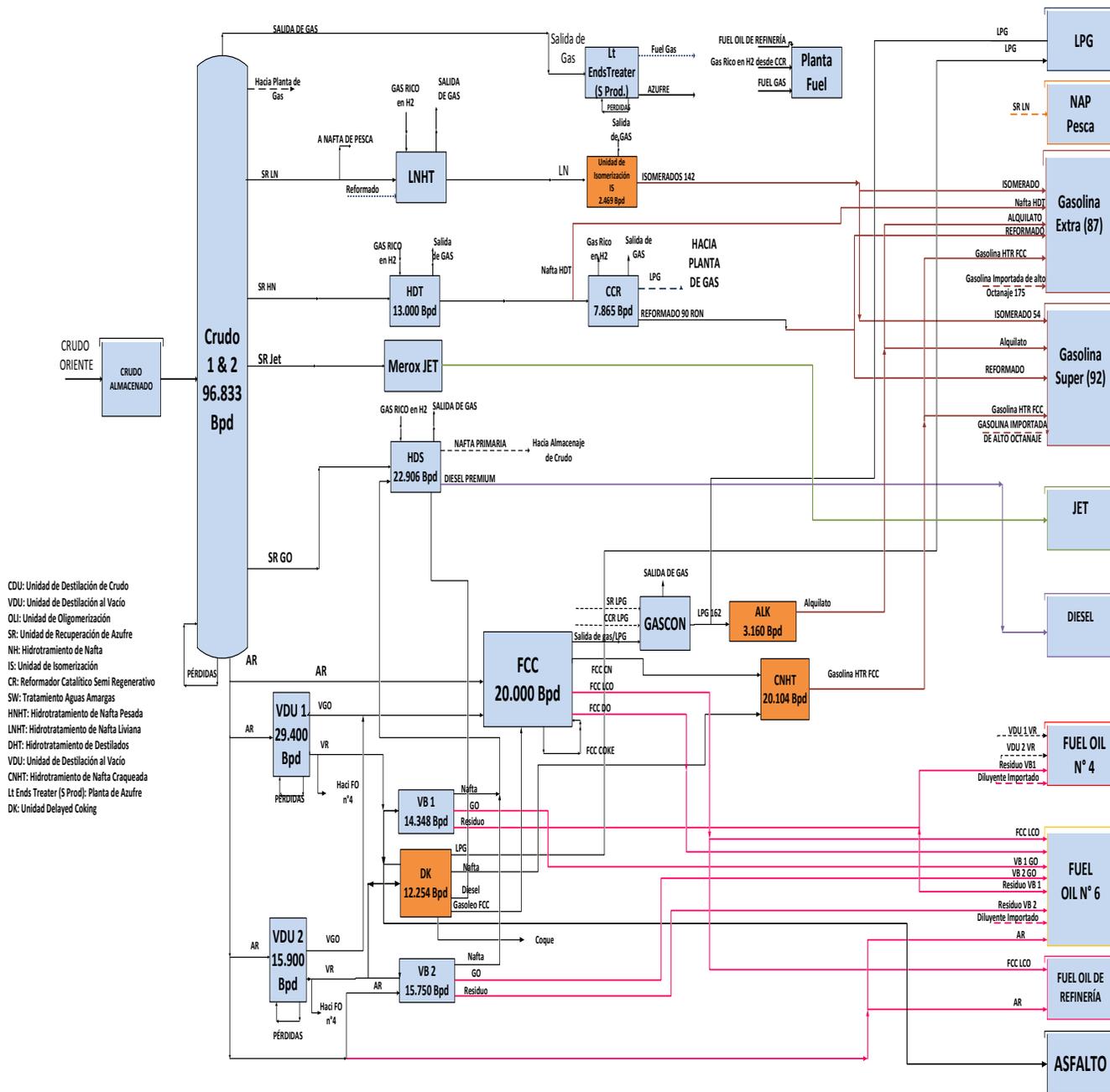
El Diesel producto de la unidad de Coquizamiento Retardado ingresa a una nueva unidad de hidrotreatmento de diesel.

Las Olefinas del LPG de la unidad de FCC se procesarán en una unidad de alquilación cuyo catalizador será el ácido sulfúrico.

En el siguiente Gráfico se muestra una configuración con las unidades antes descritas.

Gráfico 23

Esquema de refinación Caso 4, Balance Volumétrico



Fuente: El autor, 2013

3.1.5. CASO 5

El Ecuador desde el año 2009 planifica la construcción de una nueva refinería, se ha realizado el estudio de visualización, conceptualización y la ingeniería básica se realizó para procesar un crudo de 21,5 API en una refinería de alta conversión con capacidad para procesar 300.000 BPD. En la actualidad se está modificando el alcance del proyecto y se está gestionando una primera fase de la refinería para procesar 200.000 BPD de crudo netamente ecuatoriano, cuya densidad API estaría alrededor de 19 API.

Para disminuir el endeudamiento en el país, se maneja la posibilidad de enviar el residuo para procesarlo en la Refinería del Pacífico (RDP), de esta forma la inversión requerida para la conversión profunda se trasladaría a la Refinería del Pacífico.

En el esquema de la Refinería del Pacífico, sean cuales fueren las unidades de conversión de residuo instalarse, existe la oportunidad de llevar el residuo de la unidad de vacío hacia la refinería del pacífico, según estudios realizados por Wood Mackenzie y Worley Parsons.

Bajo esta consideración, las alternativas expuestas en el caso 1 y 2 serían las que se implementen en la Refinería Esmeraldas, es decir, sin realizar la conversión del residuo.

A continuación se muestran dos esquemas de refinación para integrar la Refinería Esmeraldas con la RDP con el propósito de disminuir la inversión global en materia de refinación en el Ecuador.

3.1.5.1. Primer Esquema de Integración

RDP propone no realizar la alta conversión en REE, a cambio se considera el envío de los fondos de la viscorreductora más el Aceite Cíclico Ligero, más Diesel, más nafta y más Kero a la RDP para que sean procesados en la indicada nueva refinería. A cambio indican que se entregará Diesel desulfurado. Lo que la refinería necesita es Nafta de Alto Octano desulfurada y Fuel Oil con un contenido de menos 1% de azufre.

Este esquema tiene limitantes, toda vez que, la Refinería dispone de una unidad de Hidrodesulfuración, en la actualidad produce Diesel Premium con un contenido de azufre menos que 50 ppm. Según el esquema de la RDP no produce Fuel Oil por lo tanto no tiene lo que la Refinería de Esmeraldas necesita para operar los hornos y calderas.

Se debe tomar en cuenta que, tanto los fondos de la viscorreductora como los fondos de la Unidad de vacío tienen una viscosidad muy alta, llegan a tener alrededor de 200.000 Segundos Redwood, bajo estas condiciones se debe diluir hasta obtener como mínimo 8.000 Segundos Redwood de viscosidad para transportarlo hacia la playa de Balao, cargarlo al Buque Tanque, transportarlo hasta las costas manabitas y descargarlo en el muelle de la RDP, una vez descargado en la RDP, debe ingresar como carga a la destiladora primaria para extraer el diesel que se le inyectó como diluyente.

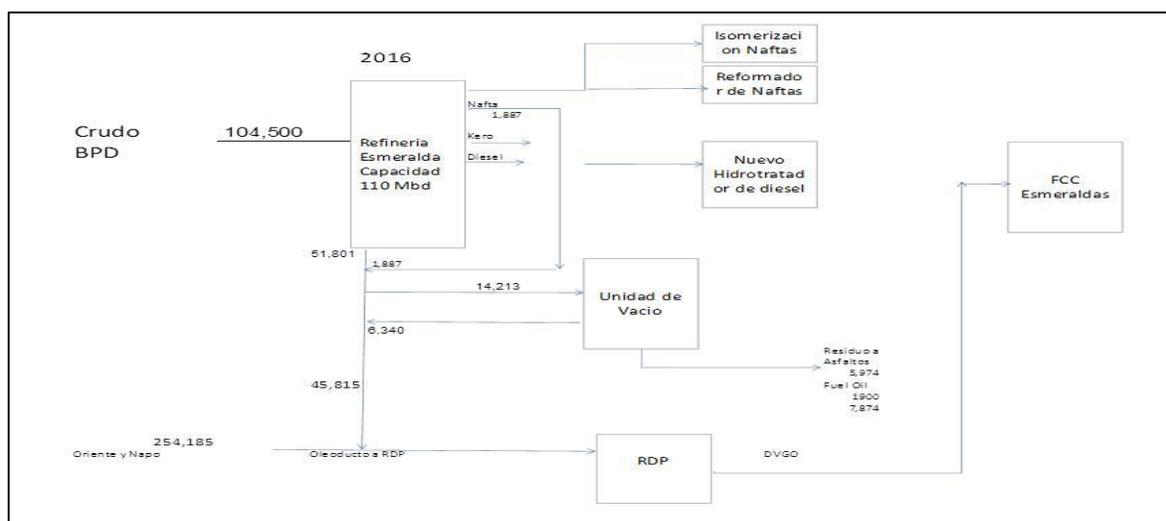
Todo este proceso nos hace comprender que la RDP se deben realizar los diseños y configuraciones para recibir aproximadamente 45.000 BPD de residuo más diesel.

Esmeraldas: la Vacío 1, dejar operando la Vacío 2 para producir asfaltos y los gasóleos enviarlos a la RDP conjuntamente con el Residuo Atmosférico. A cambio la RDP enviaría Gasolina de Alto Octano desulfurada y el gasóleo desulfurado necesario para operar la unidad de FCC. La RDP no producirá en su esquema Fuel Oil por lo tanto no retornaría este tipo de combustible a la Refinería.

En el esquema propuesto en el gráfico 24, prácticamente deja a la Refinería Esmeraldas sin posibilidad de completar su esquema de refinación y además obliga a parar algunas unidades de procesos como son las unidades de vacío y pasaría a depender de manera completa para operar la unidad de FCC, pues, desde esta refinería llegaría el gasóleo para operar.

Gráfico 25

Esquema de la Configuración Caso 4B con Balance en Volúmen.



Fuente: Análisis de integración entre Worley Parsons y EP Petroecuador, 2013

3.2.- PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el siguiente cuadro se listan los resultados que el Programador Lineal LP ha proporcionado, los valores de las cargas obtenidos para cada planta son los que permiten alcanzar la calidad requerida y están en función de los rendimientos que proporciona el tipo de crudo alimentado. En el ANEXO 3 se adjuntan los resultados resumidos la simulación del Caso 4, como un ejemplo de los resultados obtenidos del programador lineal.

Como una alternativa a parte de las simulaciones está el Caso 5, el fondo de vacío debe ser diluido con diesel proporcionado por la Refinería del Pacífico mediante una internación temporal, dicha refinería separara el diesel diluyente y cargará únicamente el residuo a las unidades de alta conversión.

La Refinería de Esmeraldas, para resolver su esquema de mezclas y mejorar los calidad de los combustibles, suscribiría un convenio con la RDP para utilizar una capacidad de la unidad de coquizamiento retardado, la Refinería Esmeraldas le entregará entre 20.000 y 25.000 barriles por día de residuo y, a cambio recibirá los productos que se generarían al procesarse en la unidad de alta conversión. La Refinería Esmeraldas pagaría una tarifa de utilización de las unidades utilizadas para la conversión y depuración.

En el cuadro 31 se muestran las capacidades de las unidades para los diferentes casos.

Cuadro 31

Comparación de los procesos

UNIDAD	CARGA	CASO BASE	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4
Destilación Atmosférica	BPD	110.000	110.000	110.000	110.000	94.340
Destilación al Vacío	BPD	43.500	43.500	43.500	43.500	43.500
Tratamiento de gas	kTPY	225	228	228	235	300
Viscorreducción	BPD	26.891	21.517	26.500	0	30.098
Hidrocraqueadora de residuo	BPD	0	0	0	38.000	0
Cracking Catalítico Fluído	BPD	19.400	20.000	16.047	20.000	20.000
Hidrocraqueadora Alta Presión	BPD	0	0	0	17.090	0
Hidrotratamiento de Diesel	BPD	23 619	19.661	22.84	20.971	22.906
Hidrotratadora de Diesel Nueva	BPD	0	0	0	8.238	0
Hidrotratamiento nafta Liviana	BPD	2. 506	3.940	2.312	7.270	2.469
Hidrotratamiento de Nafta pesada	BPD	13 000	12.338	9.708	15.832	7.865
Separación de Hidrógeno	BPD	0	0	0	11.514	7.558
Hidrotratamiento de Nafta Craqueada	BPD	0	9.543	21.309	8.573	20.104
Reformación Catalítica	BPD	10 000	11.437	7.865	15.775	7.865
Separador de Reformado	BPD	0	10.009	0	13.426	10.000
Isomerización	BPD	2 429	3.926	2312	7.223	2.469
Oligomerización	BPD	0	5.413	0	5.606	0
Unidad de Alkilación	BPD	0	0	2312	0	3.160
Tratamiento Jet A1	BPD	10 452	10.483	5.219	10.551	5.219

Trat. Aminas LPG	BPD	5 327	5.413	5413	5.606	7.200
Aminas y Recuperación S	TMPD	55	49	35	169	43
Planta de Hidrógeno	kTMPY	0	0	0	65	40
Planta Saturación de aromáticos	kTMPY	0	0	0	0	0

Fuente: Axens y el autor, 2013

Una vez que se ha logrado configurar las unidades, es necesario efectuar los balances másicos y volumétricos, de esta forma se confirma que las configuraciones están correctamente elaboradas. Como se puede apreciar en los valores registrados en la siguiente tabla, no todas las simulaciones arrojan que se debe procesar toda la capacidad nominal, por ejemplo en el caso 4 únicamente la simulación recomienda cargar a las unidades de crudo 94.340 barriles por día de crudo Oriente.

De igual forma, se puede notar que en el caso 4, no es necesaria la importación de gasolina de alto octano pero en cambio, se produce una menor cantidad de gasolina Extra y Súper.

Cuadro 32

Comparación de los balances másicos

COMPRAS	UNIDAD	CASO 0	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4
Crudo Oriente	kTM/Y	5.363	5.380	5.380	5.414	5.294
Gasolina Importada	kTM/Y	424	423	0	280	-
Diluyente importado	kTM/Y	436	694	698	0	273
Isobutano Importado	kTM/Y	0	0	78	0	-
Total Compras	kTM/Y	6.224	6.317	6.156	5.695	5.567
LPG	kTM/Y	109	50	22	0	226
Gasolina Extra 87	kTM/Y	915	0	0	0	506

Gasolina Super 92	kTM/Y	609	0	0	0	467
Gasolina Extra 91	kTM/Y	0	999	888	1.247	-
Gasolina Super 95	kTM/Y	0	409	397	541	-
Gasolina Pesca	kTM/Y	11	13	13	13	39
Jet	kTM/Y	462	463	463	753	225
Diesel Premium	kTM/Y	306	0	0	0	1.166
Diesel 2	kTM/Y	725	0	0	0	20
Diesel ULS	kTM/Y	0	855	840	1504	-
Diesel ULSD de RDP	kTM/Y					-
Fuel Oil 4	kTM/Y	362	955	966	195	258
Fuel Oil 6	kTM/Y	1.963	1.786	1.786	373	625
Asfalto	kTM/Y	380	412	412	412	573
Coque	kTM/Y	19	17	17	58	763
Azufre	kTM/Y	19	17	17	58	43
Fuel Refiner	kTM/Y	229	229	228	326	380
Pérdidas	kTM/Y	115	112	107	215	278
Total Ventas	kTM/Y	6.224	6.317	6.156	5.695	5.567

Fuente: El Autor, 2013

En el cuadro siguiente se muestra el balance volumétrico de los cuatro casos analizados. Se puede notar que en los casos 1 y 2 no existe un incremento en el volumen de productos blancos, no así en el caso 3, donde existe un incremento significativo de diesel y

Cuadro 33

Balance Volumétrico

BALANCE VOLUMÉTRICO	UNIDADES	CASO 0	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4
Oriente	BPD	108.410	108.740	110.000	109.440	94.340
Importación de gasolina de alto octanaje	BPD	10.620	6.080	0	7.020	0
Diluyente importado	BPD	8.590	13.660	11.900	0	6.334
Importación i-butano	BPD	0	0	2.480	0	2.480
ENTRADA TOTAL		127.620	128.480	124.380	116.460	103.154
GLP	BPD	3.662	1.685	1.392	0	2.664
Gasolina extra (87)	BPD	22.593	0	13.000	0	13.000
Gasolina super (92)	BPD	15.138	0	12.352	0	12.000
Gasolina extra (91)	BPD	0	24.419		30.613	
Gasolina super (95)	BPD	0	10.122		13.271	
Nafta para pesca	BPD	300	347	1.700	347	2.981
Jet	BPD	10.452	10.483	5.219	17.076	5.219
Diesel premium	BPD	6.668	0	27.875	0	27.052
Diesel N°2	BPD	15.803	0	0	0	455
Diesel 10 ppm	BPD	0	18.637		33.019	
FO N°4A	BPD	6.647	18.076	5.003	3.783	5.030
FO N°6	BPD	36.567	33.163	48.433	7.256	22.990
Asfalto de carretera	BPD	6.773	7.353	7.353	7.353	7.353
SALIDA TOTAL		124.603	124.285	122.324	112.718	98.744

Fuente: El Autor, 2013

Cuadro 34

Comparación del consumo de servicios auxiliares

CONSUMO DE UTILIDADES	CASO 0	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4
Fuel Oil (t/h)	41	43	44	50	47
Energía Electrica (Mw)	13	14	15	38	27
Vapor de alta presión (t/h)	49	70	41	-9	16
Vapor de presión media (t/h)	44	59	63	76	70
Vapor de baja presión (t/h)	6	17	16	18	17
Agua de refrigeración (m3/h)	5 547	5 775	9 590	7 459	8.525

Fuente: El autor, 2013

Para el caso de Fuel Oil que se utilizaría en la refinería en el siguiente cuadro se muestran las corrientes que intervendrían para la preparación y la calidad final de la mezcla para cada caso.

Cuadro 35

Composición del Fuel Oil para consumo de la Refinería Esmeraldas

FUEL OIL DE REFINERÍA		CASO 0	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4
FCC Slurry	KTPY	50,7	0	0	0	0
RHCK Uncov. Oil	KTPY	0	0	0	179,3	0
RHCK VGO	KTPY	0	0	0	28	0
FCC LCO	KTPY	0	14,1	13,7	15,7	13,7
CDU AR	KTPY	46,5	84,5	82,1	0	82,1
HCK UCO	KTPY	0	0	0	28,3	0
TOTAL	KTPY	97,2	98,6	95,8	251,3	95,8

Fuente: El autor

Cuadro 36

Calidad del Fuel Oil que se consumirá en la Refinería y térmicas

PROPIEDADES DEL FUEL OIL DE REFINERIA		CASO 0	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4
Peso específico	-	1.029	0.983	0.983	0.965	0.983
contenido de azufre	ppm	21.125	19.859	19.859	7.800	19.859
Viscosidad a 50°C	cST	600	600	600	600	600
CCR	wt%	14	14	14	14	14

Fuente: el autor, 2013

En el evento de que se escoja la opción cinco, la Refinería Esmeraldas comprará los productos de la tabla siguiente para su operación.

Cuadro 37

Importaciones para operar la refinería según caso 5

PRODUCTO	UNIDADES	CANTIDAD
Importación de gasolina de alto octanaje	BPD	7020
Diluyente importado	BPD	13730
Importación i-butano	BPD	2480

Fuente: El autor, 2013

Para que el caso 5 sea factible técnicamente, en el siguiente cuadro se muestran los volúmenes de productos blancos se recibiría la Refinería Esmeraldas desde la Refinería Del Pacífico RDP, en el cuadro también constan los volúmenes de Fuel Oil que diariamente entregaría la Refinería Esmeraldas a la RDP mediante Buques Tanque, tal como se hace en la actualidad, la diferencia es de que hoy en día el fuel Oil sale por el Terminal Marítimo para exportación.

Cuadro 38

Intercambio con RDP

PRODUCTO QUE REFINERÍA DEL PACÍFICO RDP ENTREGARÍA	UNIDADES	CANTIDAD
GLP	BPD	
Gasolina extra (87)	BPD	0
Gasolina super (92)	BPD	0
Gasolina extra (91)	BPD	8814
Gasolina super (95)	BPD	3533
Nafta para pesca	BPD	0
Jet	BPD	6592
Diesel Premium	BPD	

Diesel N°2	BPD	
Diesel 10 ppm	BPD	14724
PRODUCTOS QUE REFINERA ESMERALDAS ENTREGARÍA		
FO N°4A	BPD	-14502
FO N°6	BPD	-25821

Fuente: El autor, 2013

La única manera de lograr un bajo contenido de azufre en el Fuel Oil es escogiendo el caso 3 o en su defecto el caso 5 siempre y cuando, la Refinería del Pacífico le entregue Fuel Oil No. 4 con bajo contenido de azufre a la Refinería de Esmeraldas y, generadoras termoeléctricas ubicadas frente a la Refinería, solo de esta forma, se podría disminuir el contenido de SO₂ en las emisiones de las fuentes fijas.

En el siguiente cuadro se muestran los diferentes componentes que se utilizarán para preparar la gasolina Extra, para cada caso, se tiene los volúmenes necesarios para lograr la mezcla que se ajusta a todos los requerimientos de calidad

Cuadro 39

Componentes de la gasolina Extra

COMPONENTE		CASO 0	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4
Butano	BPD	965	1.081	0	1.033	0
FCC CN	BPD	13.576	0	4513	0	2763
Isomerización	BPD	0	2.414	1.764	4.464	1485
Reformación Catalítica	BPD	2.684	0	4790	0	5456
Reformado pesado	BPD	0	5.208	0	8.036	0
SR LN	BPD	0	0	0	0	0
HDT HN	BPD	3.153	857	0	0	0
SR HN	BPD	494	0	583	0	738
Gasolina importada de alto octanaje	BPD	4.476	3.108	0	4.525	0
HDT LCN	BPD	0	1.059	0	2.524	0
Gasolina importada HDT	BPD	0	970	0		0
HDT HCN	BPD	0	8.573	0	7.512	0
Gasolina de oligomerización	BPD	0	1.149	0	0	0
Alquilación	BPD	0	0	838	0	2045
Nafta de Visbreaker	BPD			511		466
Nafta de Coking	BPD					48
HCK HN/	BPD	0	0	0	2.519	
TOTAL	BPD	25348	24.419	12999	30.613	13.001

Fuente: De las simulaciones de Axens y EP Petroecuador, 2013

Como se puede notar en el cuadro anterior, en los casos 1 y 2 se continúa importando producto para mezclar, en el caso 1 es necesario seguir importando Nafta de Alto Octano, mientras que en caso 2 requiere importar Butano. En el caso 3 se sigue importando Nafta de Alto Octano pero a diferencia de los anteriores existe un incremento de producción propia de gasolinas.

En el siguiente cuadro se muestran las propiedades físico químicas de la gasolina Extra como se puede ver, el modelo con las mezclas que se propone en el cuadro anterior se lograrán en los tres casos las especificaciones de calidad requeridas, se está proponiendo una excelente calidad de combustibles, el número de octano para la gasolina Extra subiría 3 grados y el contenido de azufre se mejora de 650 ppm a 10 ppm. El benceno catalogado como cancerígeno está por debajo de los establece la Euro V, tiene menos del 1,0%.

Cuadro 40

Calidad de la gasolina Extra

CARACTERISTICAS	CASO 0	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4
Peso específico	0.749	0.757	0.754	0.753	0,755
Contenido de azufre % peso	0.061	0.001	0.003	0.001	0,005
RON	87.0	91.0	87	91.0	87
RVP kPa	60	56	41,65	56	38,8
Aromáticos % en volumen	29.8	35.0	28,2	35.0	27,4
Olefinas % en Volumen	17.1	14.4	12,3	10.5	7,8
Benzeno % en volumen	1.00	0.50	1	0.41	1,0

Fuente: El autor

La mejora en el Octano se debe a la instalación de una unidad que incrementa el octano aprovechando las olefinas del GLP, en el caso 1 y 2 utiliza una unidad de Oligomerización y en el caso 2 se recomienda instalar una unidad de Alquilación. Para mejorar el Octano se propone enviar el reformado liviano a la Isomerizadora,

Para lograr la mejora sustancial en el contenido de azufre de las gasolinas los modelos proponen instalar una unidad de hidrodesulfurización de gasolinas mediante la acción de catalizadores de Cobalto Níquel en base alúmina.

Para preparar la gasolina Super también necesita gasolina importada, excepto para el caso 2 y 4 en el primer caso tampoco se requiere Butano, pero a diferencia de los otros casos ofertan menos cantidad de gasolina, en el siguiente cuadro se muestra lo indicado.

Cuadro 41

Componentes de la Gasolina Súper

COMPONENTES		CASO 0	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4
Butano	BPD	710	0	0	345	0
FCC CN	BPD	0	0	5861	0	8449
Isomerización	BPD	2.391	1.472	0	2.686	
Reformación Catalítica	BPD	5.868	0	5076	0	2535
Reformado pesado	BPD	0	4.332	0	4.672	
SR LN	BPD	0	0	0	0	
HDT HN	BPD	23	0	0	0	
SR HN	BPD	0	0	0	0	71
Gasolina importada de alto octanaje	BPD	6.146	2.002	0	2.491	
HDT LCN	BPD	0	1.834	0	369	
Gasolina importada HDT	BPD	0	0	0	0	
HDT HCN	BPD	0	0	0	1.060	
Gasolina de oligomerización	BPD	0	482	0	1.646	
Alquilación	BPD	0	0	1.415	0	848
Nafta de Coking	BPD					97
HCK HN	BPD	0	0	0	0	
TOTAL	BPD	15138	10.122	12352	13.269	12.000

Fuente: Axens y el autor, 2013

Las propiedades de la gasolina Super que se muestran en el siguiente cuadro y que son producto de las simulaciones realizadas y se logran únicamente si se respetan los volúmenes de los diferentes componentes registrados en la tabla anterior. Como aspecto relevante se puede decir que el Número de Octano se incrementará en tres grados y el contenido de azufre, al igual que la gasolina Extra disminuirá de 650 ppm a 10 ppm.

Cuadro 42

Calidad de la Gasolina Súper

COMPONENTES	CASO 0	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4
Peso específico	0.744	0.748	0.754	0.754	0,8
Contenido de azufre % peso	0.0024	0.001	0.000	0.001	0,005
RON	92.0	95.0	92	95.0	92
RVP en kPa	60	56	36,7	56	43,3
Aromáticos en % vol.	35.0	35.0	33,1	35.0	29,18
Olefinas en % en vol.	6.8	18.0	16,61	18.0	25
Benzeno en % en vol.	1.92	0.27	1	0.31	0,83

Fuente: De las simulaciones de Axens y EP Petroecuador, 2013

Las propiedades del Jet A1, que salen de las destiladoras atmosféricas van a la planta de tratamiento de Jet A1 existente, esta planta no sufre modificación alguna, con la instalación que se dispone, el modelo indica que se puede conseguir la calidad deseada, en el siguiente cuadro se muestran las propiedades físico-químicas del combustible de aviación. Para alcanzar las indicadas especificaciones no es necesario realizar mezclas.

Cuadro 43

Calidad del Jet A1

PROPIEDADES		CASO 0	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4
Peso específico	-	0.817	0.817	-	0.816	-
Contenido de azufre	wt%	0.183	0.183	0,094	0.114	0,097
punto de inflamación	°C	66.000	66.000	-	57.846	-
punto de congelación	°C	-54.000	-54.000	-	-56.070	-

Fuente: Axens y el Autor, 2013

Las propiedades del diesel Premium, para los tres casos, tal como se establece en las premisas se consigue con 10 ppm de azufre lo que lo convierte en Diesel Ultra LowSulfur, Diesel con ultra-bajo contenido de azufre. En estas condiciones el Diesel puede ser comercializado en Quito, ayudando a mejorar la calidad del aire de Quito DM, pero con el compromiso de que el Municipio de Quito elabore un plan para renovar el parque automotor a Diesel que en la actualidad es muy vetusto.

Como se puede visualizar en el siguiente cuadro la mejora sustancial es en el contenido de azufre, el modelo arroja que para los tres casos se consigue bajar el contenido

de azufre hasta 10 ppm, gracias a ampliación de la actual Hidrotratadora de Diesel y a la instalación de una nueva unidad de Hidrodesulfurización.

Cuadro 44

Calidad del Diesel

PROPIEDADES	CASO 0	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4
Peso específico -	0.849	0.849	-	0.843	-
Contenido de azufre % peso	0.005	0.001	0,026	0.001	0,05
Índice de cetano	54.000	-	49,24	-	46,7
Número de cetano	-	52.000	-	52.304	-
Punto de inflamación °C	55.000	55.000	-	58.409	-
Viscosidad a 40 °C cSt	5.160	4.530	2,48	4.167	2,5

Fuente: De las simulaciones de Axens y EP Petroecuador, 2013

Uno de los aspectos importantes de esta tesis es la de demostrar que mediante las simulaciones sobre el modelo de la Refinería Esmeraldas, insertando unidades de alta conversión apropiadas se puede obtener Fuel Oil con un contenido de azufre muy inferior al actual, menos de 1% de azufre..

Las unidades de alta conversión capaces de procesar el residuo de vacío para obtener productos blancos con una moderada cantidad de residuos producen: coque cuando se instala unidades de coquizamiento retardado o Fuel Oil con bajo azufre cuando los residuos de vacío son sometidos a hidrotracraqueamiento.

Estos dos procesos son los más adecuados para instalar en la refinería Esmeraldas debido al alto contenido de Carbón Conradson que tienen los fondos de vacío de esta refinería

y por el alto contenido de metales. Cuando estos elementos son bajos se hubiese podido introducir una unidad de Desasfaltado.

Debido a que la Refinería del Pacífico utilizará el coquizamiento retardado para la alta conversión y producirá alrededor de 3000 TM, situación que complica la comercialización de coque, se ha estimado pertinente optar por la utilización de la tecnología de Hidrocaking con lecho Ebullición, proceso mediante el cual se obtiene gasolina, diesel y fuel oil con bajo contenido de azufre a partir de los fondos de vacío. El Fuel Oil que se obtiene con el indicado proceso se indica en el Caso 3.

En los casos 1 y 2 el Fuel Oil No 4, el mismo que se consume en Refinería Esmeraldas y en las Térmicas Estatales utilizará para la mezcla, diluyente importado similar a la situación actual. En resumen, sí uno de los objetivos de esta Tesis es obtener una configuración para obtener Fuel Oil con bajo contenido de azufre se debe optar con la opción 3 del estudio. En los anteriores cuadros se había indicado que existe un Caso 5, este caso no es producto de una simulación es producto de una adaptación entre el caso 2 y la integración que podría darse con la Refinería Del Pacífico.

Cuadro 45

Componentes del Fuel Oil No. 4

COMPONENTES		CASO 0	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4
Diesel SR	BPD	0	0	0	0	0
CDU AR	BPD	874	0	2090	0	0
VDU VR	BPD	0	4.763	0	0	0
FCC LCO	BPD	1.735	0	1741	207	2286
FCC Slurry	BPD	0	0	0	0	1513
VB GO	BPD	0	0	0	0	0
Residuo VB	BPD	4.038	1.954	0	0	0
RHCK Unconv. Oil	BPD	0	0	0	2.588	0
HCK Uncov. Oil	BPD	0	0	0	988	0
Diluyente importado	BPD	0	11.359	1.172	0	1204
TOTAL	BPD	6647	18076	5003	3783	5003

Fuente: De las simulaciones de Axens y EP Petroecuador, 2013

Las propiedades del Fuel Oil No. 4 para el Caso 0 que es la situación actual muestra que el contenido de azufre es de 21.000 ppm de azufre, para los casos 1 y 2 mediante el uso de diluyente importado de ultra-bajo contenido de azufre se logra disminuir sólo hasta 1,6% de azufre. La reducción sustancial de azufre se logra siempre y cuando en la refinería se instale unidades de Hidrotratamiento con lecho ebullido. Con la calidad de Fuel Oil que se muestra en el caso 3 se lograría que las emisiones de las fuentes fijas de la refinería y de las térmicas reduzcan hasta niveles aceptables de la Norma Ambiental.

Cuadro 46

Calidad del Fuel Oil No. 4

PROPIEDADES	CASO 0	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4
Peso específico	1.007	0.977	-	0.954	-
Contenido de azufre % peso	2.1	1.6	1,71	0.7	1,83
Viscosidad a 50°C cSt	510	400	521,73	510	521,73
CCR % peso	19	14	5,76	22	6,82

Fuente: De las simulaciones de Axens y EP Petroecuador, 2013

Conforme se indica en siguiente cuadro, para el Caso 3 no se requiere de la importación de diluyente para la preparación del Fuel Oil, el combustible líquido para utilizarlo en las Térmicas de Esmeraldas sale de las Hidrocraqueadoras con la especificación requerida.

Cuadro 47

Componentes del Fuel Oil No. 6

COMPONENTES		CASO 0	CASO 1	CQASO 2	CASO 3	CASO 4
Diesel SR	BPD	0	0	0	0	0
CDU AR	BPD	3.954	7.758	5.134	0	
VDU VR	BPD	0	0	0	0	
FCC LCO	BPD	1.316	2.696	0	181	
FCC HCO				35		91
FCC Slurry	BPD	1.220	1.933	2.003	0	849
VB GO	BPD	3.796	3.034	0	0	0
Residuo VB	BPD	17.692	15.438	30.536	0	16920
RHCK Unconv. Oil	BPD	0	0	0	4.945	0
HCK Uncov. Oil	BPD	0	0	0	2.130	0
Diluyente importado	BPD	8.590	2.304	10.728	0	5129
TOTAL	BPD	36568	33163	48436	7256	22989

Fuente: De las simulaciones de Axens, EP Petroecuador y el autor, 2013

El contenido de azufre el Fuel Oil No. 6 al igual que en el Fuel Oil No. 4 también es menor que 1%, sale en especificación desde las planta de Hidrocraqueamiento.

El volumen obtenido es suficiente para que las dos térmicas ubicada frente a la Refinería Esmeraldas operen.

Cuadro 48

Calidad del Fuel Oil No. 6

PROPIEDADES	CASO 0	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4
-------------	--------	--------	--------	--------	--------

Peso específico		0.993	0.996	0.996	0.950	0,95
Contenido de azufre	%peso	2.0	2.1	2,099	0.7	2,164
Viscosidad a 50 °C	cst	600	600	610	600	610,1
CCR	% peso	19	18	15,04	22	15,66

3.3.- ANÁLISIS ECONÓMICO DE LOS RESULTADOS

En el siguiente cuadro se muestran las inversiones que se requieren para cada caso, las inversiones como se indican están desglosadas por unidades de procesos, tanques y facilidades de almacenamiento; utilidades y generación eléctrica, edificios y la infraestructura es decir las estructuras donde se instalan los equipos. Todos rubros anteriormente indicados forman parte de los Costos Directos.

En una línea aparte se indica el costo de la ingeniería, esta ingeniería abarca la ingeniería básica necesaria para que los vendedores de equipo y los constructores puedan ofertar la instalación y construcción.

En la tabla también se indican los costos indirectos, los mismos que forman parte de la suma global para cada caso.

Como se puede observar, para los casos 1 y 2 por tratarse de un alcance similar los montos de inversión también son similares, para el caso 3 el alcance de la obra es diferente pues, se trata de una construcción que contempla unidades de Hidrocracking que son más costosas, si se tratara de ejecutar un proyecto con la más baja inversión la opción sería el Caso 1, seguido del Caso 2 y Caso 5. El análisis y la selección no se limitan a buscar la más

baja inversión sino cuál de los casos le ofrece mayor margen de refinación que a la final le permita pagar la deuda. Para que este análisis sea completo, es necesario realizar la evaluación económica de cada caso.

Cuadro 49

Montos de las inversiones en Ecuador para cada caso

Número	RUBRO ECONÓMICO	CASO1	CASO 2	CASO 3	CASO 4
Rubro		Miles USD	Miles USD	Miles USD	Miles USD
1	Unidades de proceso (incluyendo pipe rack)	82.820	139.298	682.677	435.760
2	Almacenamiento	23.065	38.794	190.125	121.359
3	Unidades de servicios de Generación y distribución	23.479	39.491	193.539	123.538
4	Utilidades	9.027	15.183	74.412	47.498
5	Edificios	3.561	5.990	29.355	18.738
6	Infraestructura	12.423	20.895	102.401	65.364
	Costo directo total de instalada- TDIC (ISBL + OSBL) (1 a 6)	154.375	259.651	1.272.509	812.256
7	Ingeniería	32.110	54.007	264.682	168.949
	Costo total de instalada - TIC (1 a 7)	186.485	313.658	1.537.191	981.205
9	Costo directo de los propietarios	5.722	9.624	47.164	30.105
10	Costo indirecto de los propietarios	56.211	94.543	463.344	295.757
	TOTAL	248.418	417.825	2.047.699	1.307.068

Fuente: El autor. 2013

3.4. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN

Los índices económicos que más se toman en cuenta cuando se evalúan proyectos industriales son el Valor Actual Neto VAN y la Tasa Interna de Retorno TIR, como se puede ver en el siguiente cuadro, el Caso 3 es el que en mejor situación se encuentra, tiene un VAN positivo y una tasa interna de retorno del 13%, valor que se considera aceptable para la construcción o ampliación de refinerías.

Cuadro 50

Resumen de los Resultados de la Evaluación Económica

PARÁMETRO ECONÓMICO	En:	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4
PAGO SIMPLE	AÑOS	22	18	3	4
MARGEN BRUTO DE REFINACIÓN	USD/BBL	14	18	31,7	16,1
COSTO DE OPERACIÓN EN USD/BBL	USD/BBL	6	6	15	10
MARGEN NETO DE REFINACIÓN	USD/BBL	8	12	16,7	6,1
TASA INTERNA DE RETORNO	%	0	3,5	13	12

Fuente: El autor, 2013

Los casos 1 y 2 arrojan tasas de retorno muy bajas, esto es razonable debido a que en estos casos no existe incremento de la producción de derivados, por lo tanto el margen de refinación es muy bajo, también se reporta el Valor Actual Neto negativo.

Para realizar el análisis económico se consideró los precios de los productos y cargas que a continuación se detallan, como se puede ver todos los precios son internacionales, la mayorías son obtenidos de la revista internacional Platts.

De acuerdo con las evaluaciones Económicas se determina que el caso 3 es el más conveniente, pues, cumple con las premisas técnico-ambientales planteadas, cumplen con las calidades de los combustibles requeridos; además con éste esquema, es posible obtener un Fuel Oil con bajo contenido de azufre para operar las calderas y hornos de la refinería Esmeraldas y de las térmicas.

Con el esquema del Caso 3 se tiene una mayor cantidad de productos blancos, lo que significa una reducción en las importaciones de derivados, en diesel existe una reducción del 32% y en gasolinas una reducción del 25%.

El Caso 3 le permite a la EP Petroecuador, conseguir el financiamiento para la construcción, toda vez que el aumento de la producción mediante el procesamiento del residuo de vacío y atmosférico aumentan las ventas y por consiguiente en el país se reducen las importaciones, generando un ahorro que sirve para el pago de la deuda.

Sobre el esquema escogido, se pueden hacer variantes con el propósito de elevar aún más la Tasa Interna de Retorno. Por ejemplo se puede modificar el punto final de ebullición del diesel, al 90% de destilado en lugar de 320 °C podría ser 340 °C. Un cambio que podría realizarse es el de producir un solo tipo de gasolina, una de 92 RON, otra modificación podría ser el no hidrotatamiento del diesel que sale de la Hidrotratadora de alta presión, el diesel podría ser usado para consumo industrial.

En el caso 4 se tiene también una opción parcialmente válida, cumple con el objetivo de mejorar la calidad de los productos blancos pero, el Fuel Oil de consumo interno y local sigue teniendo la misma calidad. Una situación atractiva puede ser el monto de la inversión, el mismo que es inferior al del caso tres, sin embargo habría que hacer inversiones en el lavado químico de las emisiones de las fuentes fijas para cumplir con la normativa ambiental. Un aspecto importante es la comercialización de coque, este se podría entregar a las cementeras ubicadas en Chimborazo e Imbabura o en su defecto, cambiar el sistema de

combustión de las centrales térmicas para que, en lugar de consumir Fuel Oil quemem coque para la producción de vapor de alta presión.

Por otro lado, sobre el caso 5 también, se puede decir que es factible comercialmente, siempre y cuando, la Refinería del Pacífico mediante un acuerdo interinstitucional o un contrato de intercambio de residuo por derivados entregue a la Refinería Esmeraldas las cantidades de productos blancos y Fuel Oil que requiere para las mezclas y para la operación de los hornos y calderas, así como para atender la demanda de Fuel Oil para las generadoras de electricidad que también son del Estado.

En caso 5 tiene algunas limitaciones técnicas que hacen de esta opción inviable técnicamente, a continuación se citan las principales:

- El medio de transporte del residuo hacia la Refinería del Pacífico RDP es muy largo, si se toma en cuenta que existen aproximadamente 400 km de distancia.
- El residuo tal como sale de planta tiene 200.000 Segundos Redwood de viscosidad. Para ser transportado debe ser diluido con diesel, puede ser nafta con el debido cuidado en el punto de inflamación, además se debe continuar por seguridad con la inyección de secuestrante del H₂S contenido en el Fuel Oil, esto siempre y cuando, el producto sea transportado en Buque Tanque y descargado en el terminal de la RDP.
- El Terminal Marítimo debe ser ampliado para el ingreso de derivados desde la RDP, estos derivados son el resultado del intercambio, generado por la entrega del residuo.

- Una de las soluciones para evitar el transporte por barco del residuo es la construcción de un ducto que transporte el Fuel Oil desde Refinería Esmeraldas, al llegar a RDP se cargaría conjuntamente con el crudo carga a las destiladoras atmosféricas para separar el diesel. Esta situación deberá ser analizada durante la etapa de configuración de la Refinería del Pacífico.

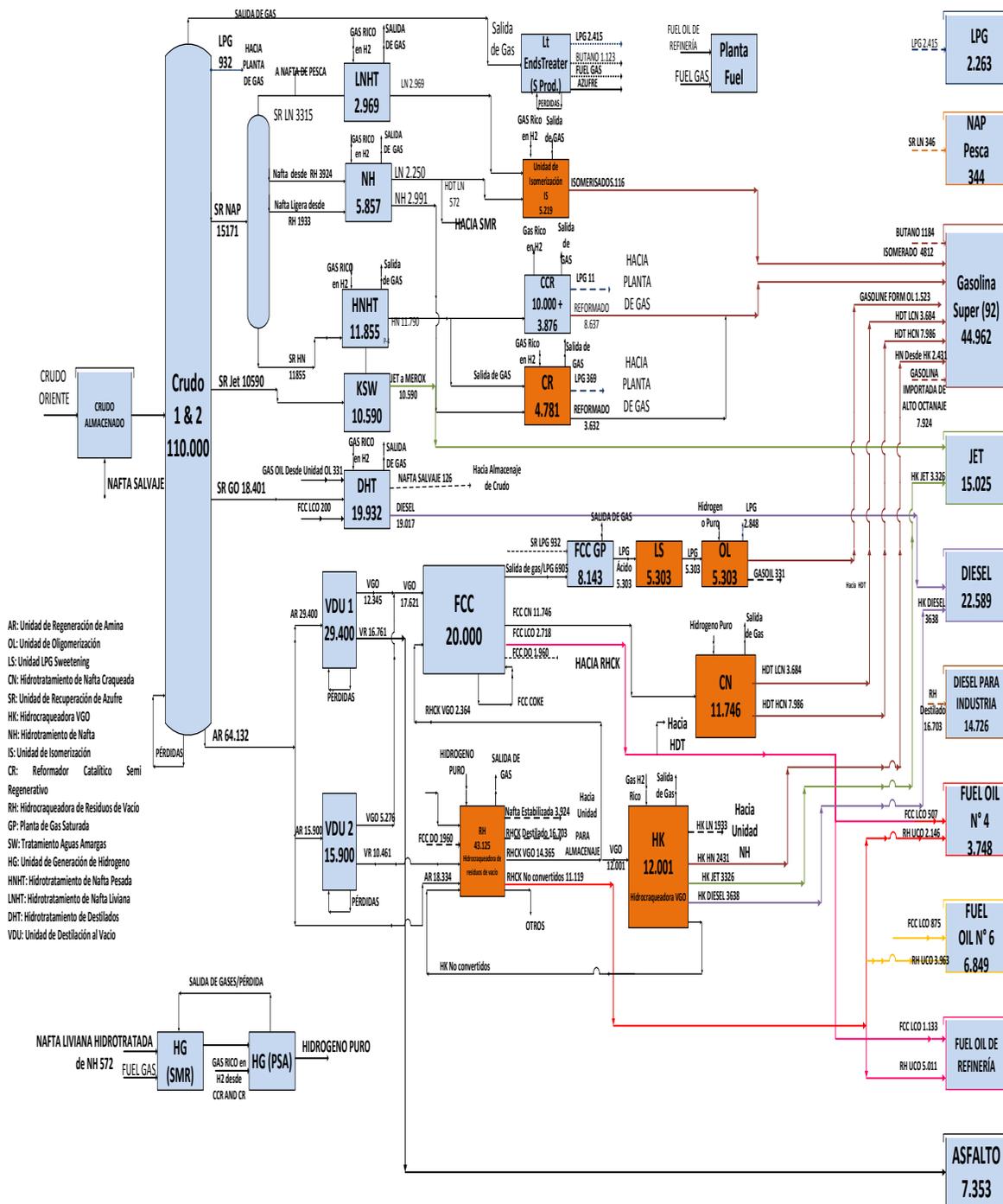
En la nueva configuración de la Refinería Esmeraldas se instalarán tecnologías probadas de refinación, la configuración está perfectamente correlacionada de tal manera que el balance de materiales se produce sin inconvenientes. En el siguiente cuadro, se detallan las corrientes de carga y productos balanceados correctamente, por consiguiente desde el punto de vista de procesos la nueva configuración, sobre la base del Caso 3 está debidamente balanceada.

La factibilidad técnica del Caso 3 es evidente, existe ya una infraestructura la misma que sirve de base para la instalación de nuevas unidades de procesos, existe el área necesaria para las nuevas plantas así como también la refinería cuenta con personal capacitado para enfrentar este nuevo desafío

A continuación, haciendo uso de los balances másicos y volumétricos se presenta el nuevo esquema de refinación.

Gráfico26

Nueva reconfiguración de la Refinería Esmeraldas



Fuente: Axens y el Autor, 2013

CAPÍTULO IV

4.1. CONVENIENCIA AMBIENTAL

La lluvia ácida, un problema significativo causado por la deposición atmosférica, se atribuye a la presencia de sulfatos, sulfitos y nitritos a partir de la combustión de compuestos orgánicos, especialmente carbón. La acidificación en lagos que drenan cuencas con baja capacidad taponante ha sido observada en Suecia, Canadá y el norte de Estados Unidos. La lluvia ácida afecta adversamente la biota de ríos y lagos. Han resultado severos descensos de las poblaciones de peces a partir de la lluvia ácida. Los ecosistemas terrestres son también afectados por la lluvia ácida (Corbitt, 2003).

Los nutrimentos en cantidades excesivas también llegan a ser contaminantes, tanto para el hombre como para vida silvestre. Por ejemplo, la quema de combustibles fósiles libera óxidos de nitrógeno y de azufre, que alteran los ciclos biogeoquímicos naturales de los nutrimentos para las plantas, lo que origina la lluvia ácida que amenaza bosques y lagos (Audesirk, 2009).

A finales de la década de 1960 se identificó la producción excesiva de óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre como la causa de una creciente amenaza ambiental: la lluvia ácida o, en términos más precisos, la sedimentación ácida. Al combinarse con vapor de agua de la atmósfera, los óxidos de nitrógeno se transforman en ácido nítrico y el dióxido de azufre en ácido sulfúrico. Algunos días después, y con frecuencia a cientos de kilómetros de la

fuente, los ácidos precipitan y corroen las estatuas y los edificios, dañan los árboles y los cultivos y dejan los lagos sin vida. El ácido sulfúrico forma partículas que nublan visiblemente el aire incluso en condiciones de sequedad (Audesirk, 2009).

De acuerdo a los resultados se obtendrá un gasolinas Extra y Super con menos de 10 ppm de azufre, actualmente se tiene un contenido de 650 ppm de azufre, esta situación contribuirá al mejoramiento de la calidad del aire especialmente de las grandes ciudades como Quito, Ambato, Ibarra y Tulcán. Las concentraciones de SO₂ en el aire de las indicadas ciudades disminuirá, y por consiguiente habrá bienestar en los habitantes.

De los resultados, la nueva configuración será capaz de producir diesel con menos de 10 ppm de azufre, en la actualidad se comercializa Diesel con menos de 500 ppm de azufre, con esta mejora es indudable que la calidad del aire mejorará ostensiblemente.. Las concentraciones de SO₂ en el aire de las indicadas ciudades disminuirá, y por lo tanto la calidad de vida de los habitantes mejorará.

Es indudable que con un contenido de azufre en Fuel Oil de 0,7% mejorará de manera significativa la calidad del aire de la Refinería Esmeraldas y sus zonas de influencia, existirá una menor cantidad de SO₂ en la atmósfera, se prevé que las emisiones de las fuentes fijas a lo mucho estén en 1.000 mg/Nm³.

El momento en que la cantidad de SO₂ presente en el aire disminuya debido al mejoramiento de la calidad del Fuel Oil se creará un bienestar en los trabajadores de la refinería y los habitantes de los sectores aledaños a la refinería.

Por otro lado al existir una menor cantidad de SO₂ en el aire disminuirán de manera considerable las lluvias ácidas, por consiguiente, disminuirá la afectación de la flora y la fauna.

En Resumen el impacto ambiental es positivo, desde cualquier punto de vista. Con la nueva configuración no se producirán residuos, en lugar de residuo se obtienen productos de un mayor valor comercial, mucho más limpios y se logra un balance de corrientes de toda la refinería.

4.2. CONVENIENCIA SOCIAL

A parte de disminuir el desempleo, uno de los beneficios que le dará a la colectividad una vez que opere la Refinería Esmeraldas con la nueva configuración es la eliminación del riesgo ambiental debido al factor aire, pues, la calidad del aire en las zonas de influencia de la Refinería se mejorará ostensiblemente, así como también la calidad del aire de las provincias del norte del país.

La reconfiguración de la Refinería Esmeraldas como se ha visualizado, prácticamente es construir una infraestructura, en magnitud similar a la existente, por lo tanto se reducirá el

desempleo durante la construcción de la planta, se estima que se requieren de alrededor de 5.000 personas directamente involucradas en la construcción de las nuevas plantas. Cuando opere se necesitará enrolar personal calificado, el mismo que saldrá de los centros educativos de la zona principalmente.

A continuación se muestran algunos datos de índole social que es necesario conocerlos y que deben ser tomados en cuenta para el desarrollo de este trabajo cuando se convierta en Proyecto Estratégico.

Según los datos del Sistema Integrado de Indicadores Sociales del Ecuador respecto al Censo del año 2010, la población en el cantón Esmeraldas es de 189.504 ciudadanos (INEC 2010)

Según, la estadística del Banco Central, sobre la base del Censo del 2010, se tiene que la desocupación en la Provincia de Esmeraldas es del 5,4%, la Desocupación urbana es del 10,5% siendo el más alto de todo el país (Banco Central del Ecuador)

En el cantón Esmeraldas, las condiciones sanitarias no se ubican en óptimas condiciones; en particular por los aspectos demográficos y económicos manifestados anteriormente. La población se ve aquejada constantemente por una serie de enfermedades

tales como tifoidea, paludismo, enfermedades de la piel, gripes y parasitosis (Auditoría Ambiental Integral de la Refinería Esmeraldas, 2001).

4.3. CONCLUSIONES

1. La metodología empleada para seleccionar el mejor esquema dio el resultado que se esperaba, el uso de Programación Lineal y la comparación de los casos conllevó a la selección más adecuada del esquema de refinación.
2. En la Refinería de Esmeraldas es posible implementar la reconfiguración planteada, es viable desde el punto de vista técnico, económico, comercial y ambiental.
3. La reconfiguración de la Refinería Esmeraldas trae consigo el mejoramiento de la calidad de los derivados y se incrementa la producción de los mismos.
4. El mejoramiento de la calidad de los combustibles está conforme los lineamientos de la EURO V.
5. Todos los casos modelados no aumentan la cantidad de GLP para uso doméstico, el incremental de GLP y parte del que actualmente se produce es materia prima para las plantas mejoradoras de octano como son: la Oligomerización o la Alquilación.

6. La reconfiguración de la Refinería Esmeraldas, instalando la conversión completa arroja un beneficio económico para el país. Tasa Interna de Retorno de la inversión es de 13% considerada muy buena para este tipo de proyectos.
7. Si se realiza la alta conversión en la Refinería de Esmeraldas el Terminal Marítimo de la Refinería ya no sería un cuello de botella, puesto que, ya no habría exportación de residuo.
8. Una vez que las nuevas Centrales Hidroeléctricas entren en operación, existirán excesos de Fuel Oil, que es más conveniente procesarlos en la Refinería de Esmeraldas gracias a su nueva configuración.
9. Una vez que opere la Refinería Esmeraldas con la nueva conversión se reducirán las importaciones de derivados, especialmente de Diesel y Gasolina.
10. Los procesos escogidos para la reconfiguración, permiten disminuir de manera significativa la contaminación ambiental por emisiones de las fuentes fijas.
11. Los procesos seleccionados para la nueva configuración, pertenecen a tecnologías probadas comercialmente.

12. La nueva configuración de la refinería permite operar la planta con un API de hasta 23 °API. Esto facilita la consecución local del crudo carga.
13. La construcción de una nueva fase de refinación en Ecuador trae consigo empleo para los habitantes de la zona, cuya tasa de desempleo es la más alta del Ecuador.
14. La reconfiguración de la Refinería Esmeraldas está soportada por una buena estructura de procesos capaz de cerrar el balance de masa.
15. La nueva configuración de la refinería a más de mejorar la calidad de los productos blancos, mejora la calidad de los productos negros como el Fuel Oil que se consume en la refinería.
16. Se disminuye de manera significativa las emisiones de SO₂, cumpliendo de esta forma la Normativa Ambiental vigente. Si el contenido de azufre en el Fuel Oil con la configuración propuesta es de 0,7% en peso, la reducción del azufre en las fuentes fijas será de un tercio comparado con el actual
17. Uno de los atractivos para financiar el proyecto es que, la nueva reconfiguración se levanta sobre una infraestructura ya construida y rehabilitada.
18. Si bien se ha dado una solución a la calidad de los productos de la refinería, en esta tesis no se ha topado temas como disposiciones finales de residuos peligrosos.

19. Con este esquema de refinación nuevo se cumple con la Constitución de la República y con el Plan del Buen Vivir.

4.3. RECOMENDACIONES

Implementar el esquema de Refinación propuesto en esta Tesis. Caso 3.

Es necesario que EP Petroecuador cuente con el Programador Lineal con todos los programas conexos, de tal forma que pueda de manera independiente realizar las corridas y no depender de firmas extranjeras.

En orden de prelación se puede optar por los esquemas de refinación que se han descrito en esta tesis de la siguiente forma: En primer lugar el esquema de refinación correspondiente al caso 3 es decir, optar por un esquema de Hidrocraquing de residuos con hidrotratamiento de naftas de FCC y alquilación.

Tomar ésta investigación como un aporte para entender los tipos de refinerías y tecnologías que existen y que sirva de material de consulta para los estudiantes de Ingeniería Química Industrial e Ingeniería Ambiental.

Emprender en Investigaciones para completar el esquema de refinación introduciendo la Petroquímica básica, extrayendo el Benceno de la Gasolina Reformada.

Emprender en un esquema para recuperar los gases que se queman en la antorcha, recuperar los C3 y hacer petroquímica con C2. Este tema sería propicio para trabajo de fin de carrera para Ingeniero Químico Industrial.

Realizar un esquema ultra profundo de conversión, convertir el Fuel Oil obtenido en el Hidrocracking utilizando la tecnología de Gasificación, de esta forma se mejoraría aún más la calidad del aire de la zona de influencia de la Refinería Esmeraldas. Este tema sería adecuado para un trabajo de fin de carrera para acceder al título de Ingeniero Químico o Ingeniero Ambiental.

Realizar un análisis para fabricar ácido sulfúrico en la Refinería Esmeraldas, insumo necesario para el proceso de alquilación, esto sería como trabajo de fin de carrera para Ingenieros Químicos Industriales.

Investigar un proceso para ejercer la disposición final de la Dietanol Amina Gastada, considerada como un Residuo Peligroso que se genera en el proceso de tratamiento con aminas, este es un tema de tesis para la Maestría de Gestión Ambiental.

Bibliografía:

Adesirk. B. (2008). Biología la Vida en la Tierra, octava edición, México: McGraw Hill.

Axens. (2012). Mejoramiento de la Calidad de los Combustibles, París.

Ayala Zamora H. (2013). Manual de Operaciones Catalítica III, Refinería Esmeraldas

Badillo J. (2013). Manual de Operaciones, Refinería Esmeraldas.

Gerencia de Comercio Internacional, EP Petroecuador, 2012, Estadística, Quito.

Guerrero J. (2013). Manual de Operaciones, Refinería Esmeraldas.

Hydrocarbon Processing. (2008). Refining Processes Handbook. (Estados Unidos): Gulf Publishing Company

IFP-BEICIP FRANLAB. (1993). Ingeniería Básica para procesar Crudos pesados en la REE, París

Instituto Francés del Petróleo (IFP). 1993. Ingeniería Básica para procesar Crudos Pesados en la REE, París.

Platts. (2012). Oilgram Price Report. Estados Unidos de Norteamérica, Mac-Graw Hill.

Refinería Esmeraldas, (2013). Manuales de operación de la refinería Esmeraldas.

Robert Meyers, A. (2003). Handbook of Petroleum Refining Processes, third edition, USA: McGraw-Hill.

Robert Corbitt, A. (2003). Manual de Referencia de Ingeniería Ambiental, primera edición, Madrid: McGraw Hill.

Speight, G. (2007). The Chemistry and Technology of Petroleum, fourth edition, New York: Taylor & Francis Group.

Solomon Berg, M. (2008). Biología, Octava Edición, México: McGraw-Hill, Interamericana.

Universal Oil Products (UOP). (2012). Ingeniería Básica Ampliación de la Unidad de FCC, Estados Unidos de Norteamérica.

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

ANEXO 1



Quito - Ecuador

ENMIENDA

(2012-06-27)

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 935:2012
Octava revisión

GASOLINA. REQUISITOS

Primera edición

GASOLINE. REQUIREMENTS

First edition

En la página 2, tabla 1

Dice:

REQUISITOS	UNIDAD	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Punto final	°C	--	215	NTE INEN 926

Debe decir:

REQUISITOS	UNIDAD	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Punto final	°C	--	220	NTE INEN 926

DESCRIPTORES: Productos del petróleo, combustibles líquidos, gasolina, requisitos.
 PE 02.02-402
 CDU: 662.753.12:621.443:629.113
 CIU: 3530
 ICS: 75.160.20



Quito - Ecuador

ENMIENDA

(2013-06-14)

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 1489:2012

Séptima revisión

**PRODUCTOS DERIVADOS DEL PETRÓLEO. DIÉSEL.
REQUISITOS**

Primera edición

PETROLEUM PRODUCTS. DIESEL REQUIREMENTS

First edition

En la página 2, tabla 3

Dice:

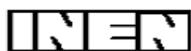
DESCRIPTORES: Productos del petróleo y tecnologías afines, combustibles, diésel, requisitos.

PE 02.02.404

ODU: 662.75:662.94

CIIU: 3530

ICS: 75.160.20



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 1 983:2002
Primera revisión

PRODUCTOS DERIVADOS DEL PETRÓLEO. FUEL OIL. REQUISITOS.

Primera Edición

PETROLEUM DERIVATES. FUEL OIL. SPECIFICATIONS .

First Edition

DESCRIPTORES: Productos del petróleo, fuel oil, requisitos.
PE 02.02-430
CDU: 662.753
CIU: 3530
ICS: 75.160.20

ANEXO 2

Intertek Caleb Brett

WinAssay '95

Version 1.00

Final Reports

Client Name:	<u>ITS Ecuador</u>
Sample ID:	<u>Oriente Run#1 (PS#1)</u>
Laboratory ID:	<u>2011-DRPK-013150</u>
Date:	<u>09/12/2011</u>
Operator:	<u>BF/JC/RBe</u>

WinAssay '95
ASTM TBP And Potstill Distillation

Quality Control Report

Sample ID: Oriente Run#1 (PS#1)
 Lab ID: 2011-DRPK-013150
 Client: ITS Ecuador Date: 09/12/2011

Material Balance Parameters:

ASTM D2892 Distillation

D2892 Material Balance: Passes Material Balance Per D2892

ASTM D5236 Distillation

D5236 Material Balance: Passes Material Balance Per D5236

API Balance Parameters:

D2892 Measured API: °

D2892 Calc API: °

API Delta (Meas-Calc): ° Passes API Test

D5236 Measured API: °

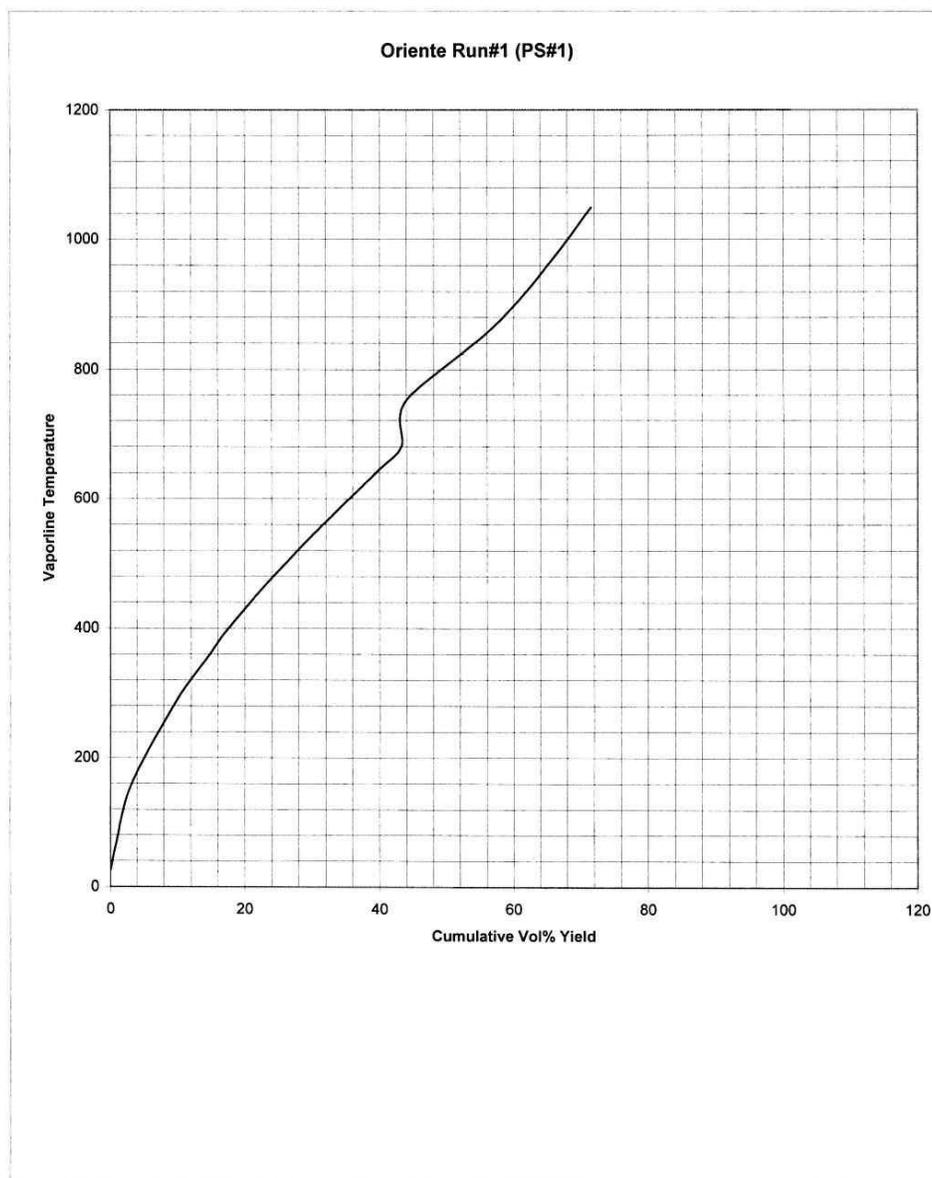
D5236 Calc API: °

API Delta (Meas-Calc): ° Passes API Test

Note: Review the API vs Mid-Vol% Plot For Outliers along the curve. Points lying off the curvature should be reviewed for accuracy in density determination.

WinAssay '95
True Boiling Point Curve vs Cumulative Vol% Yield

Sample ID



2011-DRPK-013150 Oriente Run#1 (PS#1)EXPORT (2).xls

ITS- Caleb Brett Distillation Group

ASTM D2892/D5236 CHARGE INFORMATION

Lab ID:	2011-DRPK-013150
Client Name:	ITS Ecuador
Sample ID:	Oriente Run#1 (PS#1)
Date:	09/12/2011

Operator

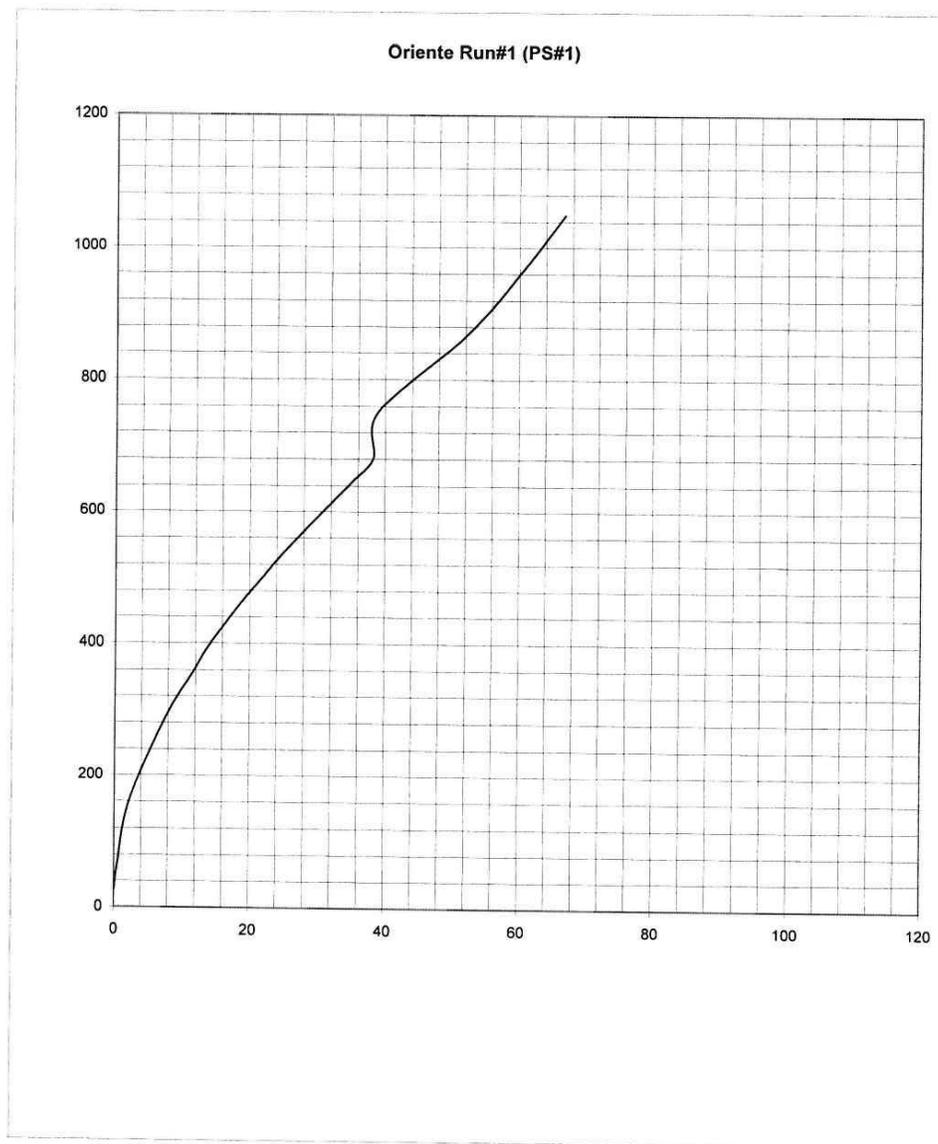
BF/JC/RBe

Charge Mass D2892(g):	14580.0
Charge S.G. D2892 (60/60F):	0.9155
Charge Mass D5236(g):	3994.0
Charge S.G. D5236 (60/60F):	0.9944

Water Weight Removed (g):	92.4
Initial Vapor Temp:	25
Whole Crude Sulfur Wt%:	

WinAssay '95
True Boiling Point Curve
Vaporline Temperature v. Cumulative Wt% Yield

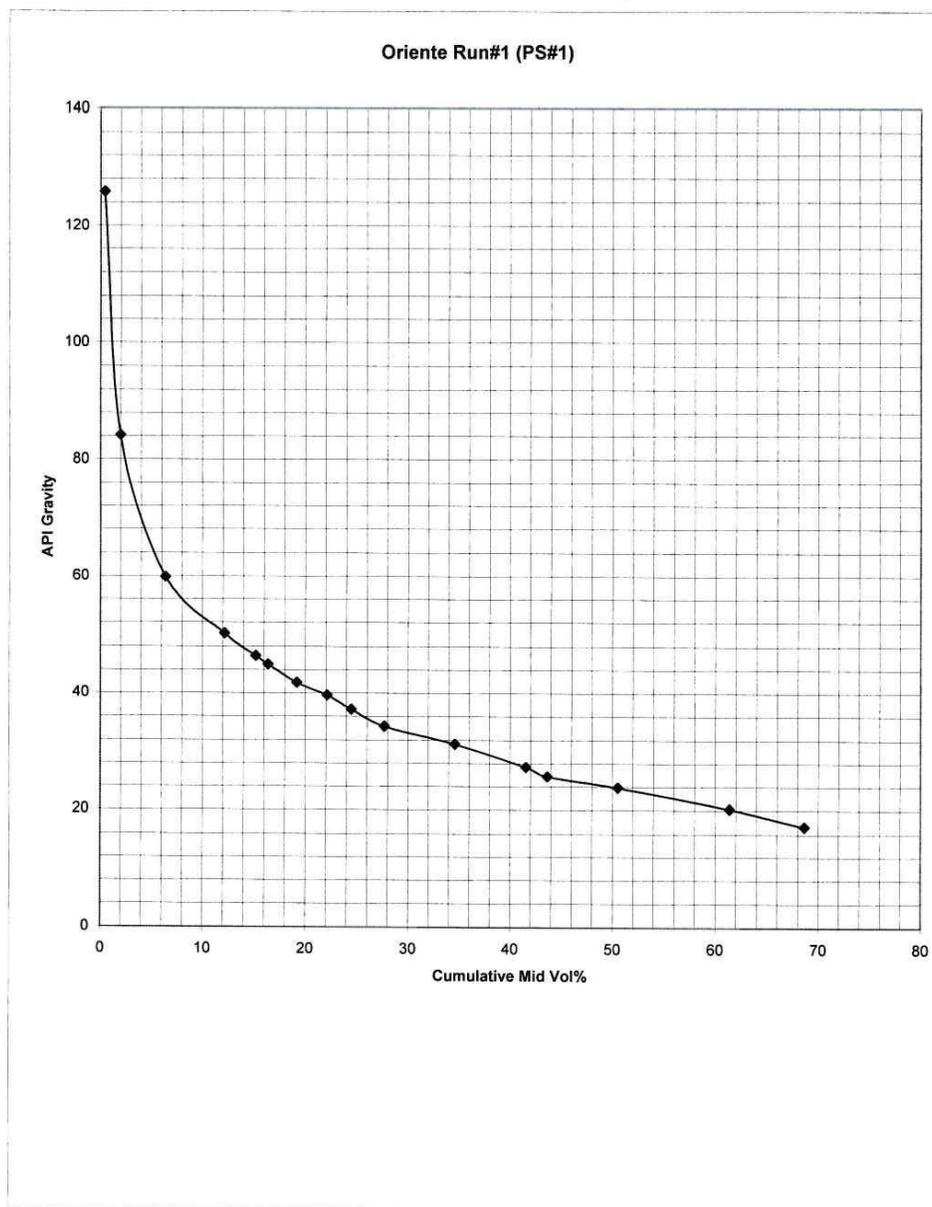
Sample ID



2011-DRPK-013150 Oriente Run#1 (PS#1)EXPORT (2).xls

WinAssay '95 Quality Control Applications

Cum. Mid Vol% v. API Gravity



2011-DRPK-013150 Oriente Run#1 (PS#1)EXPORT (2).xls

WinAssay '95
Final TBP Distillation Yield Report

Prepared For: ITS Ecuador												
Sample ID: Oriente Run#1 (PS#1)												
Date: 09/12/2011												
Cut Temp TO	Degrees F	DUMP WT(g)	Specific Gravity	MLS	LIQ VOL%	CUM.LIQ VOL%	WT%	CUM WT%	API GRAVITY	MID LIQ VOL%		
<i>ASTM D2892 Distillation Yields</i>												
IBP	66	73.10	0.6500	132.91	0.84	0.84	0.50	0.50	125.77	0.42		
66	158	235.40	0.6562	358.73	2.27	3.11	1.62	2.13	84.14	1.97		
158	284	773.60	0.7396	1045.97	6.61	9.72	5.34	7.47	59.82	6.41		
284	356	604.40	0.7790	775.87	4.90	14.62	4.17	11.64	50.14	12.17		
356	374	144.40	0.7954	181.54	1.15	15.77	1.00	12.64	46.40	15.19		
374	392	156.00	0.8020	194.51	1.23	17.00	1.08	13.71	44.93	16.38		
392	446	564.10	0.8168	690.62	4.36	21.36	3.89	17.61	41.74	19.18		
446	464	196.80	0.8270	237.97	1.50	22.86	1.36	18.97	39.60	22.11		
464	500	429.40	0.8390	511.80	3.23	26.10	2.96	21.93	37.15	24.48		
500	536	433.30	0.8533	507.79	3.21	29.31	2.99	24.92	34.33	27.70		
536	644	1454.10	0.8690	1673.30	10.57	39.88	10.04	34.96	31.33	34.59		
644	680	474.00	0.8910	531.99	3.36	43.24	3.27	36.23	27.31	41.56		
680+		8949.00	0.9944	8999.40	56.87	100.11	61.77	100.00	10.80			
<i>ASTM D5236 Distillation Yields</i>												
680	752	50.80	0.9000	56.44	0.80	44.04	0.79	39.02	25.72	43.64		
752	865	836.40	0.9111	918.01	13.00	57.04	12.94	51.95	23.81	50.54		
865	968	572.40	0.9326	613.77	8.69	65.73	8.85	60.80	20.23	61.38		
968	1050	392.50	0.9509	412.77	5.84	71.57	6.07	66.87	17.31	68.65		
1050+		2141.90	1.0555	2029.28	28.73	100.31	33.13	100.00	2.56			

ANEXO 3

SUBGERENCIA DE OPERACIONES DE REFINACION - PROGRAMACION DE LA PRODUCCION

CASO No.2 REE CON ALKILACION, CON HIDROTRATAMIENTO DE NAFTA DE FCC Y SIN DELAYED COKING

ESMERALDAS MODEL CASE=BASECASE 300. 1. 1
 ELEMENT PEEKDATE: 9/16/13 TIME: 9:42:02

SUMMARY REPORT . . .DATE: 9/16/13 TIME: 9:42:02

STATUS: OPTM-CONVERGED OBJECTIVE FUNC. = 761.4264
 PLANNING PERIOD: UNSPECIFIED DAYS: 365 VOL BALANCE CLOSURE = 0.
 ACTIVE SAFETY VALVES = 0 WGT BALANCE CLOSURE = 0.
 NET OPERATING REVENUE = 761.426

	ACTIVITY	MINIMUM	MAXIMUM	OBJ	COEF	RED	COST
VOLUME BASIS PURCHASES . . .							
ORI	CRUDO 24,72 API	110,000	0				-103.700

		110,000					
CUT	CUTTER STOCK	11,900	0	15,000			-118.261
NIM	NAO IMP. 95 RON	0	0	30,000			-143.910

		11,900					
		=====					
	TOTAL	121,900					

WEIGHT BASIS SALES . . .

LPG	GLP (TM)	199	0	1,000			761.516
AP1	ASFALTO AP3	976	976	978			505.120
AP2	ASFALTO RC-250	75	75	77			505.120
COK	COKE	0	0	20,000			24.000

	TOTAL	1,250					

VOLUME BASIS SALES . . .

MLL	G. EXTRA 87 RON	13,000	13,000	18,642			120.500	-1.839
MUL	G. SUPER 92 RON	12,352	12,000	15,477			123.200	

		25,352						
JTA	JET A1	5,219	5,217	5,219			128.100	1.000
N2O	DIESEL 2	0	0	50,000			125.500	
N2D	DIESEL PREMIUM	27,875	0	50,000			127.100	

	SUBTOTAL DST.M	33,094						
MS6	FUEL OIL # 4	5,003	5,001	5,003			124.800	25.559
HS6	FUEL OIL # 6	37,457	0	50,000			98.800	
HIT	F. Oil #6 INEC TR	10,979	10,977	10,979			98.800	

	SUBTOTAL F.O.	53,439						
NAP	NBO EXPORTACION	694	0	15,000			114.500	
GPA	N. PESCA ARTESANAL	1,006	1,006	1,008			114.500	-3.128

SUBGERENCIA DE OPERACIONES DE REFINACION - PROGRAMACION DE LA PRODUCCION

CASO No. 4 REE CON ALKILACION +HIDROTRATAMIENTO NAFTA DE FCC Y CON DELAYED COI

REFINERY ESMERALDAS MODEL CASE=BASECASE 300. 1. 1

ELEMENT PEEKDATE: 9/16/13 TIME: 9:57:39

SUMMARY REPORT . . .DATE: 9/16/13 TIME: 9:57:39

STATUS: OPTM-CONVERGED OBJECTIVE FUNC. = 619.2847
 PLANNING PERIOD: UNSPECIFIED DAYS: 365 VOL BALANCE CLOSURE = 0.
 ACTIVE SAFETY VALVES = 0 WGT BALANCE CLOSURE = 0.
 NET OPERATING REVENUE = 619.285

	ACTIVITY	MINIMUM	MAXIMUM	OBJ	COEF	RED	COST
	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
VOLUME BASIS PURCHASES . . .							
ORI	CRUDO 24,72 API	94,390	0				-103.700

		94,390					
CUT	CUTTER STOCK	6,334	0	15,000			-118.261
NIM	NAO IMP. 95 RON	0	0	30,000			-143.910

		6,334					
		=====					
	TOTAL	100,724					

WEIGHT BASIS SALES . . .

LPG	GLP (TM)	226	0	1,000			761.516
AP1	ASFALTO AP3	976	976	978			505.120
AP2	ASFALTO RC-250	75	75	77			505.120
COK	COKE	763	0	20,000			24.000
		=====					
	TOTAL	2,041					

VOLUME BASIS SALES . . .

MLL	G. EXTRA 87 RON	13,000	13,000	18,642	120.500		-7.503
MUL	G. SUPER 92 RON	12,000	12,000	15,477	123.200		-5.655

		25,000					
JTA	JET A1	5,219	5,217	5,219	128.100		1.119
N2O	DIESEL 2	455	0	50,000	125.500		
N2D	DIESEL PREMIUM	27,052	0	50,000	127.100		

	SUBTOTAL DST.M	32,726					
MS6	FUEL OIL # 4	5,003	5,001	5,003	124.800		31.744
HS6	FUEL OIL # 6	12,011	0	12,011	98.800		6.328
HIT	F. Oil #6 INEC TR	10,979	10,977	10,979	98.800		6.328

	SUBTOTAL F.O.	27,993					
NAP	NBO EXPORTACION	1,975	0	15,000	114.500		
GPA	N. PESCA ARTESANAL	1,006	1,006	1,008	114.500		-8.565

