

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y TEXTIL



“UNIDAD DE HIDROTRATAMIENTO DE DIESEL”

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUIMICO

POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACION DE

CONOCIMIENTOS

PRESENTADO POR:

PAUL HENRY MARIÑAS TAPIA

LIMA – PERÚ

2006

RESUMEN

En el Perú el consumo de diesel 2 excede a la oferta disponible de las refinerías del país por lo que es necesario importar el déficit de este destilado. La necesidad energética nos obliga a consumir cada vez mayores volúmenes de destilados medios, lo que contribuye con el incremento de la contaminación ambiental.

La combustión de los hidrocarburos genera Dióxido de Carbono, gas que contribuye con el efecto Invernadero; sin embargo, como sabemos el CO₂ no es lo único que se produce como gas de combustión, también se tiene CO, NO_x y SO_x. Estos gases se producen debido a que los hidrocarburos como el diesel por ejemplo tienen un alto contenido de azufre en diferentes compuestos como por ejemplo en forma de mercaptanos.

El Congreso peruano promulgó la Ley N 28694, la cual es la ley que regula el contenido de azufre en el combustible Diesel, promulgada el 22 de Marzo del 2006, en la cual se declara la necesidad pública y de preferente interés nacional por la regulación de los niveles de azufre contenidos en el combustible diesel, con la finalidad de salvaguardar la calidad del aire y la salud pública. Por eso a partir del 1 de Enero del 2010 queda prohibida la comercialización para el consumo interno de combustible diesel cuyo contenido de azufre sea superior a las 50 partes por millón por volumen.

Dada la actual disposición de las refinerías en el Perú, se ven en la obligación de implementar una unidad de proceso de Hidrotratamiento para la Desulfuración del diesel. Esta unidad trabaja hidrotratando el diesel y reduciendo parte del azufre y el nitrógeno orgánico contenido en el diesel.

En este proceso el diesel se pone en contacto con hidrogeno gaseoso a temperatura y presión elevadas, en presencia de un catalizador. La separación del azufre orgánico se lleva a cabo mediante la conversión reductora de los compuestos de azufre a H₂S, un producto gaseoso corrosivo que se separa mediante desorción.

INDICE

	Pág.
Resumen	2
Introducción	5
Capítulo I:	
Contexto General del Mercado de Hidrocarburos en el Perú	8
1. 1 Balanza Comercial de Hidrocarburos en el Perú	9
1. 2 Balanza Comercial Volumétrica de Hidrocarburos Proyectada	11
Capítulo II: Ley N° 28694	13
2. 1 Alcances de la Ley N° 28694	14
2. 2 Plan de Contingencia de las empresas del Sector	15
2.2.1 Alternativas de Solución	15
2.2.2 Obtención de las Nuevas Especificaciones	16
Capítulo III: Unidad de Hidrotratamiento	17
3.1 Hidrotratamiento	18
3.1.1 Objetivos del Proceso	18
3.1.2 Principales Características	18
3.1.3 Descripción de la Unidad de Hidrotratamiento	19
3.2 Reacciones Químicas, Catalizador y Principales Parámetros	20
3.2.1 Reacciones Químicas y Catalizador	20
3.2.1.1 Reacciones Químicas	20
3.2.1.2 Catalizador	21
3.2.2 Reacciones Químicas Involucradas	21

3.2.3	Parámetros de Operación del Proceso	25
3.2.3.1	Temperatura	26
3.2.3.2	Velocidad Espacial	27
3.2.3.3	Relación Hidrógeno / Hidrocarburo	27
3.2.3.4	Presión Parcial de Hidrógeno	28
3.2.3.5	Calidad de la Alimentación	29
3.2.3.6	Efecto de Parámetros Operativos en las Reacciones Químicas	30
3.2.4	Catalizador	32
3.3	Unidad de Proceso de Hidrotratamiento	33
3.3.1	Diagrama de Bloques de la Unidad	33
3.3.2	Diagrama de Proceso de la Unidad	35
3.3.3	Descripción de los Principales Equipos	42
3.3.4	Condiciones de Operación de la Unidad	47
3.3.5	Puesta en Marcha Normal de la Unidad	49
3.3.6	Regeneración del Catalizador	51
Capítulo IV: Análisis Económico		53
Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones		62
Capítulo VI: Bibliografía		65
Capítulo VII: Apéndice		67

INTRODUCCION

En el Perú, como en el resto del mundo, los productos derivados del petróleo son la principal fuente de energía primaria; en la actualidad un 60% de la energía proviene de destilados del petróleo crudo.

El diesel es en la actualidad el destilado medio de mayor demanda en el Perú debido a su empleo en la industria así como en el transporte. El diesel posee dentro de sus especificaciones comerciales un contenido máximo de 0.5 % en masa de azufre, que equivale a comercializar diesel con 5000 ppm de azufre. Este destilado medio tiene como subproductos de combustión a los óxidos de azufre, así como también los óxidos de nitrógeno, los cuales son los principales causantes de enfermedades respiratorias y cardiovasculares siendo la causa de muerte de 4 mil peruanos por año.

El petróleo crudo contiene dentro de sus diferentes componentes, azufre en variadas proporciones dependiendo de la zona geográfica de donde es extraído, estos porcentajes pueden ser variables desde 0.04% hasta valores mas altos como 5% o aun mas en algunos casos.

La combustión de los hidrocarburos que contienen azufre generan SO_x , el cual al ser emitido a la atmósfera, es promotor de la lluvia acida, la cual tiene efectos perjudiciales sobre ecosistemas acuáticos y arbóreos, así como también sobre zonas agrícolas; en general los compuestos de azufre tienen efectos sobre la salud humana tales como neurológicos, cambios del comportamiento, alteración de la circulación sanguínea, daños cardiacos, efectos en los ojos, fallos en el sistema reproductor, daños al sistema inmunitario, desórdenes gastrointestinales, daños en las funciones del hígado y riñones, defectos en la audición, alteraciones del metabolismo hormonal, efectos dermatológicos, asfixia, embolia pulmonar, etc.

El Ministerio de Salud se ha unido a la “Campaña por Combustibles Limpios”, en la cual manifiesta que la combustión del azufre afecta principalmente a los niños, mujeres gestantes y ancianos. Esta campaña organizada por CONAM promueve el empleo de combustibles limpios en el parque automotor, lo cual se espera lograr a través de la adopción de normas que exijan el retiro gradual del azufre de los combustibles en el mercado nacional. Particularmente por las altas emisiones de azufre, constituye la principal causa de la contaminación del aire. Los pulmones

son los principales afectados pues en ellos se adhieren las peligrosas partículas del dióxido de azufre, resultado de la combustión de dicho mineral en los combustibles.

A nivel internacional, la Clean Air Act de 1964 sugiere la necesidad de separación del azufre, de virtualmente la totalidad de combustibles fósiles. El cumplimiento de tal recomendación se ha hecho más problemática debido a la necesidad creciente de utilizar combustibles fósiles de menor calidad (mayor contenido de azufre), ya que se van agotando las reservas de petróleo de bajo contenido de azufre.

En la actualidad el Perú tiene niveles muy altos de contaminantes gaseosos; por ello el gobierno peruano se ha visto en la necesidad de promulgar leyes que promuevan la mejora de la calidad del aire y del medio ambiente, es así que en Febrero del 2006, se promulgo la Ley 28694, según la cual el máximo contenido de azufre en el diesel a partir del 1ero de Enero del 2010 será de 50 ppm.

Las ciudades mas afectadas por el uso de los combustibles de mala calidad son Lima, Trujillo, Arequipa y Cuzco. Otra ciudad que sufre de contaminación de este elemento es la Oroya, pero no debido al empleo de los combustibles de baja calidad sino por las emisiones generadas por la compañía de refinación de Metales DOE RUN.

El presente informe abarca los temas sobre la normativa aplicable a los hidrocarburos, la cual explica la nueva especificación para la comercialización del diesel a emplearse en los próximos años.

Se mencionan las diferentes maneras para conseguir la especificación, así como también el motivo de la selección de uno de estos procesos.

Involucra temas tales como la teoría de la hidrosulfuración, los objetivos del proceso, las reacciones químicas involucradas, el diagrama del proceso, la descripción de los principales equipos empleados, las condiciones de operación de la unidad, así como también las maniobras de emergencia en diferentes casos.

Dentro del informe también se relata sobre el análisis económico de la unidad.

Las recomendaciones y conclusiones sobre el tema tratado son la parte final de este informe, sección en la cual se hace énfasis al porque es necesario esta unidad.

**I. CONTEXTO GENERAL DEL MERCADO DE HIDROCARBUROS
EN EL PERÚ**

1.1 Balanza Comercial de Hidrocarburos del Perú

En la evolución de la Balanza Comercial de Hidrocarburos se identifica una primera etapa entre los años 1982 y 1987 en la que el valor de las exportaciones era mayor que el de las importaciones y una segunda etapa a partir de 1988 hasta la actualidad, en la que los resultados se tornaron negativos. Este cambio en la balanza comercial fue principalmente por el aumento de la demanda de destilados medios.

A continuación tenemos el cuadro con los resultados de la Balanza Comercial anuales entre el año 1982 y 2004:

BALANZA COMERCIAL DE HIDROCARBUROS: 1982 - 2004
(MBPD)

	Exportaciones	Importaciones	Balanza Comercial
1982	62.4	-1.5	60.8
1983	56.1	-6.0	50.1
1984	65.4	-1.9	63.5
1985	73.3	-0.6	72.7
1986	60.6	-4.4	56.3
1987	50.5	-18.7	31.8
1988	43.4	-37.9	5.5
1989	42.1	-29.1	12.9
1990	42.7	-32.4	10.3
1991	44.9	-44.4	0.5
1992	49.6	-48.5	1.0
1993	45.3	-41.0	4.4
1994	50.9	-44.1	-4.4
1995	50.9	-80.0	-29.1
1996	55.7	-85.0	-29.4
1997	68.6	-109.0	-40.5
1998	70.6	-115.7	-45.1
1999	47.7	-85.5	-37.8
2000	40.8	-96.9	-56.1
2001	55.5	-100.9	-45.4
2002	57.1	-103.4	-46.3
2003	67.5	-122.1	-54.6
2004	59.9	-120.3	-60.3

Principales causas que dieran lugar a estos resultados:

- Continua disminución de la producción nacional de petróleo crudo.
- En general las refinerías nacionales, tienen una gran producción de residuales e insuficientes instalaciones para el procesamiento de estos. Esta situación da lugar a que haya una alta producción de residuales que se tiene que exportar a bajo precio.
- Crecimiento de la demanda interna de derivados del petróleo, principalmente del Diesel 2, que las refinerías nacionales no pueden abastecer.

BALANZA COMERCIAL DE HIDROCARBUROS: 1982 - 2004
(Millones de US \$)

	Exportaciones	Importaciones	Balanza Comercial
1982	505,2	-18,4	86,8
1983	227,2	-66,6	60,6
1984	195,0	-20,3	74,7
1985	275,8	-6,1	9,7
1986	250,5	-31,8	18,7
1987	290,9	-156,8	134,0
1988	173,1	-237,4	-64,3
1989	222,4	-215,2	7,2
1990	262,7	-315,2	-52,5
1991	177,6	-362,7	-185,2
1992	214,7	-402,4	-187,7
1993	199,2	-323,5	-124,3
1994	178,3	-317,2	-138,9
1995	266,6	-589,8	-323,2
1996	348,0	-720,1	-372,2
1997	381,4	-832,9	-451,5
1998	234,0	-615,4	-381,4
1999	238,6	-591,2	-352,6
2000	380,3	-1093,5	-713,2
2001	402,5	-906,3	-503,8
2002	471,1	-963,0	-491,9
2003	662,6	-1386,5	-723,8
2004	685,7	-1714,4	-1028,8

En el año 2004 la Balanza Comercial de Hidrocarburos alcanzó un déficit de US\$ 1 028,8 millones.

1.2 Balanza Comercial Volumétrica de Hidrocarburos Proyectada al 2014

Petróleo Crudo

Se estima que se tendrá un déficit constante de petróleo crudo en el período de estudio. Se espera que el déficit para el año 2014 llegue a ser de -79,3 MBPD.

Gas Licuado de Petróleo (GLP)

Se espera que el balance volumétrico del GLP arroje saldos exportables en el año 2005 por efecto de la comercialización del gas natural de Camisea que se inició en el año 2004, así como por el efecto de sustitución del gas natural, revirtiéndose nuestra condición de importadores al incrementarse la producción de este derivado. Así, se estiman volúmenes de exportación de 5,4 MBPD en el año 2005 y de 19,4 MBPD en el año 2014.

Gasolinas

El balance volumétrico de las Gasolinas reporta un superávit constante en el período 2006–2014. Para el año 2014 se espera un superávit de 8,8 MBPD.

Diesel 2

El Perú actualmente es un país deficitario en Diesel; se espera disminuir el déficit con el efecto de sustitución del gas natural en el sector industria. Asimismo, se prevé que a futuro el parque automotor se renueve con unidades operadas con GLP o GNV (Gas Natural Vehicular). No obstante, se prevé un déficit de Diesel 2 en todo el período de estudio, -25,1 MBPD en el año 2005 y -31,9 MBPD en el año 2014.

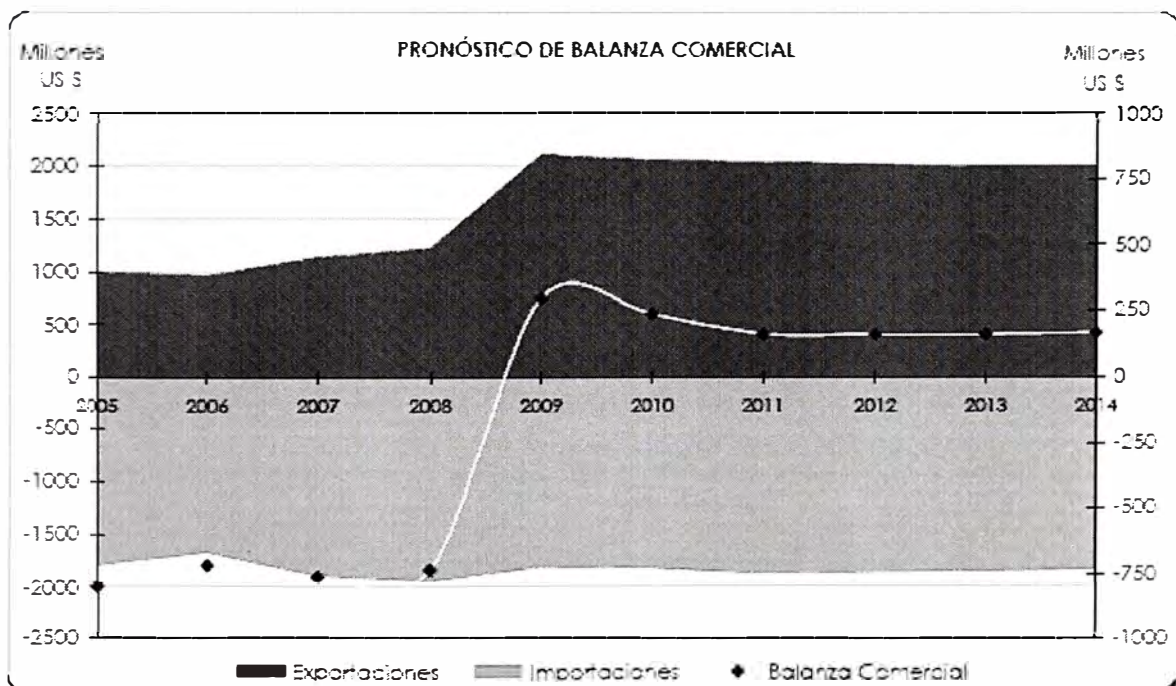
Kerosene / Turbo

Entre los años 2005 y 2014, tendremos saldos exportables de este derivado gracias al efecto de sustitución de gas natural y al reemplazo de Kerosene por GLP principalmente en el Sector Residencial – Comercial. Así se prevé un superávit de 4,0 MBPD en el año 2005 y de 15,4 MBPD en el año 2014.

Petróleos Industriales

El balance volumétrico reporta superávit de este combustible en el período 2005–2014; pronosticándose exportaciones del orden de 18,4 MBPD en el año 2005 y de 20,6 MBPD en el año 2014. Esta situación se debe al efecto de sustitución del gas natural de Camisea en el sector industrial, principalmente en Lima Metropolitana y Callao.

A continuación vemos la gráfica del pronóstico de la Balanza Comercial proyectada al 2014.



Nota : Datos obtenidos del Ministerio de Energía y Minas

II. LEY N° 28694

2.1 Alcances de la Ley N° 28694

El Congreso de la República del Perú promulgo el 21 de Marzo del 2006 la Ley N° 28694, la cual regula el contenido de azufre en el combustible diesel; el objeto de esta ley es declarar la necesidad pública y de preferente interés nacional la regulación de los niveles de azufre contenidos en el combustible diesel, con la finalidad de salvaguardar la calidad del aire y la salud pública.

La regulación de los niveles de azufre se dará a partir del 1 de Enero del 2010, fecha en la cual quedará prohibida la comercialización para el consumo interno de combustible diesel cuyo contenido de azufre sea superior a las 50 partes por millón por volumen.

A partir del 1 de Enero del 2008 se implementará el Impuesto Selectivo al Consumo a los combustibles, introduciendo el criterio de proporcionalidad al grado de nocividad por los contaminantes que estos contengan para la salud de la población; para tal efecto, el Ministerio de Economía y Finanzas en coordinación con el Concejo Nacional del Ambiente – CONAM, aprobarán anualmente los índices de nocividad relativa que serán utilizados. Esta reestructuración deberá realizarse en forma gradual hasta el 1 de Enero del 2016 como máximo, fecha en que la tributación que grava los combustibles considerará plenamente el criterio de nocividad.

A partir de la vigencia de la citada Ley queda prohibida la importación de combustible diesel N°1 y diesel N°2 con niveles de concentración de azufre superiores a 2500 ppm, prohibiéndose además la venta para el mercado interno de un combustible diesel con un contenido de azufre mayor a 5000 ppm. El ministerio de Energía y Minas, queda facultado para establecer, por excepción, las zonas geográficas del interior del país en las que se podrá autorizar el expendio de diesel con mayor contenido de azufre, bajo las regulaciones que sobre esta materia se establezcan en el reglamento de la Ley.

El incumplimiento de lo dispuesto en la Ley será sujeto a las sanciones que para estos efectos se autoriza a establecer por OSINERG.

El Ministerio de Energía y Minas dispondrá las medidas necesarias para que los consumidores conozcan las especificaciones del diesel que adquieren en lo concerniente al contenido de azufre.

Así mismo se aprobó el cronograma de reducción progresiva del contenido de azufre en el diesel, para tal efecto se emitió el Decreto Supremo N° 025-2005-EM, el cual expresa que el estado promueva el desarrollo de las actividades de Hidrocarburos sobre la base de la libre competencia. En este sentido, el establecimiento del cronograma tomará en consideración el hecho que los operadores y/o propietarios de las refinerías del país deben formular programas de adaptación en sus instalaciones a las nuevas exigencias técnicas y ambientales y que para ello deben efectuarse los estudios de mercado, de procesos e ingeniería y posteriormente llevar a cabo las inversiones para permitir la ejecución de tales programas.

2.2 Plan de Contingencia de las Empresas del Sector

En el país se tienen dos grandes empresas en el rubro de la refinación de petróleo, encargadas también a la comercialización de los destilados medios obtenidos como productos; luego de la promulgación de la Ley que regula el contenido de azufre en el combustible diesel, estas empresas deben de plantear las posibles vías de poder alcanzar con las especificaciones establecidas en la Ley N° 28694.

2.2.1 Alternativas de Solución

Una manera de lograr dicho objetivo es la instalación de una unidad de hidrocraqueo, la cual se alimenta de los residuos de la unidad de craqueo catalítico, residuales de vacío y de visbreaking, produciendo destilados medios con un contenido de azufre dentro de las especificaciones. La desventaja de esta unidad es el costo de instalación el cual se encuentra alrededor de 500 millones de dólares, debido a la complejidad de este tipo de proceso y a las condiciones extremas de temperatura y presión a las cuales se lleva a cabo el proceso.

Otra manera de obtener diesel con las especificaciones expresadas en la Ley N° 28694, es el empleo de tecnología GTL (gas to liquid), la cual empleando gas natural como materia prima logra obtener diesel empleando la síntesis de Fisher Troops. Esta tecnología a pesar de ser anterior a la segunda guerra mundial, aun sigue siendo un proceso altamente costoso, debido a los catalizadores empleados y a los rendimientos, motivo por el cual este método de obtención de diesel sin azufre será empleado en el futuro, cuando las reservas de petróleo sean escasas.

Otra alternativa de solución es la instalación de una unidad de hidrotreatmento, la cual mediante reacciones de hidrogenación elimina el azufre contenido de los hidrocarburos.

2.2.2 Obtención de las Nuevas Especificaciones

Debido a la actual situación de las refinerías y la demanda del mercado nacional; la hidrodesulfuración es la mejor manera de obtener productos con las especificaciones establecidas en la Ley N°28694; al menos en las refinerías del país, lo ven como la solución más amoldable al problema. Esta unidad de hidrodesulfuración, o también llamada HDS, es una planta que trabaja en condiciones un tanto extremas de presión y temperatura e involucra una inversión de alrededor de los 200 millones de dólares, la inversión incluye las plantas asociadas necesarias para su funcionamiento.

En este contexto la decisión de las refinerías peruanas ha de ser construir una planta de hidrotreatmento o HDS, para lograr las especificaciones en el diesel combustible requerido por el estado peruano.

III. UNIDAD DE HIDROTRATAMIENTO

3.1 Hidrotratamiento

3.1.1 Objetivos del Proceso

Los destilados medios provenientes de la destilación de petróleo crudo están en un rango de 200°C a 400°C. El contenido de sulfuros de estos cortes depende del origen del crudo, y en todos los casos la reducción de azufre es necesaria para alcanzar las especificaciones comerciales.

Los destilados medios del mismo rango de temperaturas de ebullición obtenidos en procesos de conversión, llámese Craqueo Catalítico Fluidizado o Visbreaking, poseen también un porcentaje de azufre mayor que la especificación comercial; por ello estos cortes deben ser desulfurizados.

El Objetivo de esta unidad HDS es refinar los destilados medios reduciendo el azufre, nitrógeno y transformar los compuestos aromáticos.

3.1.2 Principales Características del Proceso de Hidrotratamiento

Reacciones de Hidrogenación

La mayor parte de la hidrogenación ocurre, a pesar de que el proceso de hidrotratamiento se lleva a cabo bajo condiciones moderadas de presión parcial de hidrógeno. Para destilados medios, las principales reacciones de hidrotratamiento pueden ser resumidas como sigue:

- Hidrogenación de compuestos de hidrocarburo con azufre o nitrógeno. Las reacciones de desulfurización tienen gran velocidad, siendo el H_2S el producto de estas reacciones.
- La desnitrógenación es más difícil de lograr que la remoción de azufre.
- Hidrogenación de los aromáticos, así como también la hidrogenación parcial de poli aromáticos y ruptura de anillos.

- Hidrogenación de Olefinas. Esto es aplicable solo cuando se tiene en la carga gasóleo proveniente de procesos de conversión (FCC, Visbreaking, Coker, etc.)
- Reacciones de craqueo térmico.

3.1.3 Descripción de la Unidad de Hidrotratamiento

La unidad consta de tres secciones, la sección de pretratamiento de la carga, la sección de reacción y la sección de separación y secado.

A. Sección de Pretratamiento

La sección de pretratamiento de la alimentación involucra los equipos de separación del agua contenida en la carga, el bombeo de la carga a través de intercambiadores que elevan la temperatura, la filtración de la carga y el calentamiento de la alimentación en un horno.

B. Sección de Reacción

La sección de reacción es la principal de la unidad porque aquí es donde se lleva a cabo las reacciones de hidrosulfuración y desnitrificación con la consecuente formación de H_2S . La salida del reactor precalienta a la alimentación del mismo, y se dirige a un recipiente de separación en caliente, el gas separado es enfriado mediante un aroenfriador y luego se dirige a un recipiente separador en frío. El líquido obtenido de estos recipientes se lleva al agotador, mientras que el gas de alta presión que contiene H_2S , se conduce a la columna de absorción donde parte de este es retirado. Este gas de reciclaje es retornado en parte hacia el reactor para controlar el aumento de la temperatura de los lechos de catalizador y la otra parte es mezclada con el gas de reposición y la carga antes del precalentamiento.

C. Sección de Separación y Secado

La sección de separación es la que involucra separaciones del tipo hidrocarburo hidrocarburo y la sección de secado es la separación de hidrocarburo agua. Para el secado se tienen diferentes tipos de recipientes en la unidad, tales como el recipiente de separación en caliente o el de separación a alta presión, en los cuales se lleva a cabo la separación debido a la diferencia de densidades. En la sección de separación se tienen separaciones que se llevan a cabo en torres de destilación o en los agotadores o despojadores los cuales son empleados para purificar el producto, en este caso el Diesel.

3.2 Reacciones Químicas, Catalizador y Principales Parámetros

3.2.1 Reacciones Químicas y Catalizador

3.2.1.1 Reacciones Químicas

Para cualquier reacción la termodinámica indica la posibilidad de su ocurrencia y la cantidad de productos y de reactantes sin convertir. Algunas de las reacciones son completas, es decir todos los reactantes son convertidos en productos, otras están en equilibrio, es decir solo parte de los reactantes son convertidos. La cantidad de productos y reactantes en equilibrio depende en las condiciones de operación y esta gobernada por las leyes de la termodinámica.

La cinética nos dicta la velocidad de la reacción química; esta depende de las condiciones de operación, pero puede ser ampliamente modificada a través del empleo de un catalizador propiamente seleccionado. Una reacción o familia de reacciones es generalmente favorecida por un cierto tipo de catalizador. En otras palabras, la termodinámica nos dicta la composición final asumiendo un tiempo infinito. La cinética nos permite predecir la composición pasado un tiempo finito. Como siempre el tiempo de reacción es siempre limitante, cuando varias reacciones se llevan a cabo en simultáneo, la cinética predominará generalmente.

3.2.1.2 Catalizador

Un catalizador heterogéneo consiste generalmente de un elemento de soporte, como alúmina, sílica, magnesia, etc., en el cual se encuentra(n) disperso(s) metal(es) finamente dividido(s) los cuales pueden ser Níquel, Cobalto, Molibdeno, etc. en diferentes proporciones.

El metal es siempre el responsable de la acción catalítica. Casi siempre el elemento de soporte tiene una acción catalítica asociada debido a su naturaleza química.

El catalizador no es consumido pero si desactivado por impurezas en la carga o por algunos productos de las reacciones químicas involucradas, resultando depósitos de coque sobre el catalizador

3.2.2 Reacciones Químicas Involucradas

Las reacciones químicas involucradas en el proceso de hidrotratamiento son de dos tipos:

Reacciones Deseables.- son reacciones que favorecen la refinación del producto. Estas reacciones son las que promueven la desulfuración.

Reacciones Adversas.- Son reacciones que determinan la disminución de la velocidad de refinación, una pérdida en el rendimiento de los productos o la desactivación del catalizador. Estas reacciones deben ser minimizadas.

El calor de las reacciones antes mencionadas y su velocidad relativa son importantes para poder entender el proceso. Un catalizador es empleado para promover las reacciones deseables a expensas de las reacciones adversas a través de su acción en la cinética de la reacción.

TABLA DE CALORES DE REACCION

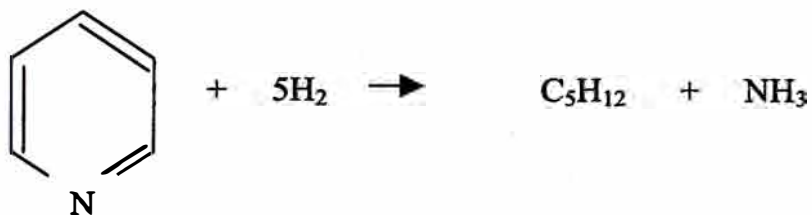
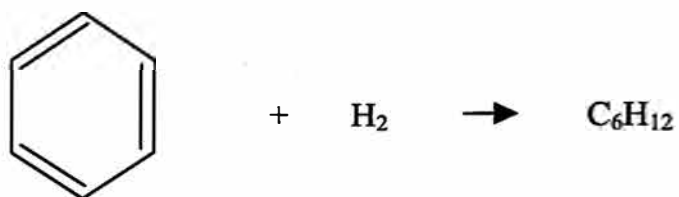
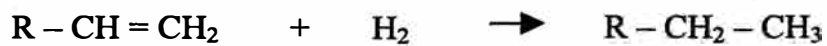
REACCIONES	Calor de Reacción Kcal/mol
Hidrogenación de Compuestos de Azufre	-12
Hidrogenación de Compuestos de Nitrógeno	-10
Hidrogenación de Compuestos Olefinicos	-28
Hidrogenación de Compuestos Aromáticos	-36
Craqueo Térmico	+10

Nota: Si el calor de Reacción es < 0 , se trata de una reacción exotérmica.

Reacciones Deseables

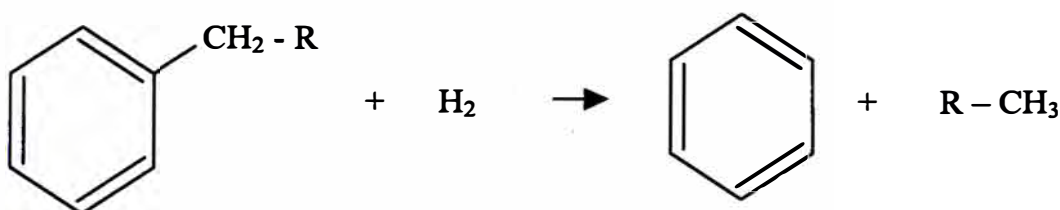
Hidrogenación de Compuestos de Azufre



Hidrogenación de Compuestos de Nitrógeno*Hidrogenación de Compuestos Oxigenados**Hidrogenación de Compuestos Olefinicos y Aromáticos*

Hidrocraqueo

Afecta a las parafinas (normales o iso) o naftenos.



Las reacciones de hidrocraqueo llegan a ser importantes cuando la temperatura se incrementa y son también favorecidas por la alta presión. El principal efecto perjudicial de las reacciones de hidrocraqueo es el incremento de C1 + C2 y GLP que se acumulan en el gas de reciclo, y por lo tanto reducen la presión parcial de hidrógeno.

Tales reacciones son endotérmicas (craqueo) y exotérmicas (Adición de H₂), la suma de ambas resulta ser ligeramente exotérmica. Son favorecidas por la alta presión parcial de H₂ y la alta temperatura.

Remoción de Compuestos Metálicos y Metaloides

Los compuestos organometálicos son craqueados y los metales son atrapados por el catalizador. Normalmente, no hay compuestos metálicos en los destilados medios provenientes de los procesos de destilación atmosférica o de vacío, pero si en los destilados medios que provienen de los procesos de conversión, estas impurezas quedan en el catalizador. Estas impurezas no son removidas por la regeneración, por lo que se van acumulando en cada ciclo, produciendo la reducción de la actividad del catalizador.

Reacciones Adversas

Coquificación

La coquificación se debe a la polimerización y aglomeración de moléculas de gran longitud. Esta vinculado a los productos insaturados pesados. tales como los aromáticos polinucleares, los cuales pueden ser deshidrogenados resultantes de la alimentación o de la polimerización de los aromáticos involucrados en algunas reacciones. Trazas residuales de olefinas de alto peso molecular o diolefinas pueden también provocar la formación de coque.

Un alto punto final de ebullición en la carga significa un alto porcentaje de poliaromáticos y con ello una gran tendencia a la coquificación. Como la coquificación esta promovida por alta temperatura, la mala distribución en el reactor favorece temperaturas altas localizadas y con esto la formación de coque. El coque depositado en el catalizador reduce la superficie activa del catalizador lo cual reduce grandemente la actividad del catalizador.

Es posible limitar estas reacciones adversas, para ello:

- Controlar la cantidad de moléculas grandes (asfaltenos) en la carga las cuales son difíciles de hidrogenar y bloquean los poros del catalizador, esto se logra ajustando el rango de destilación de la carga.
- Operar a la mas baja temperatura de reacción posible, contando con una adecuada presión parcial de hidrógeno y con una alta velocidad espacial.

3.2.3 Parámetros de Operación del Proceso

Los parámetros de operación son los siguientes:

- Temperatura
- Velocidad Espacial
- Presión Parcial de Hidrógeno
- Calidad de la Carga

Estos parámetros de operación son variables independientes, cada una puede ser modificada dentro de los rangos operativos de los equipos, independientemente de las otras. Para un conjunto de variables independientes, existe solo una respuesta por parte de la unidad en términos de:

- Rendimiento de Producto
- Calidad de Producto
- Estabilidad del Catalizador

3.2.3.1 Temperatura

Las reacciones de hidrotratamiento e hidrocrackeo que ocurren dentro del reactor son exotérmicas como lo hemos visto anteriormente. El incremento de temperatura en el reactor depende de las características de la alimentación (impurezas a remover, nivel de refinación, etc.) y en el grado en el cual varias reacciones puedan ocurrir.

De otro lado, la actividad del catalizador está relacionada principalmente con la temperatura del reactor; de este modo, la variable de operación más directa para poder controlar la calidad del producto así como su rendimiento es la temperatura de entrada en cada lecho de catalizador.

Las reacciones de hidrotratamiento e hidrocrackeo están favorecidas por el incremento de temperatura, lo que produce el incremento de los depósitos de coque sobre el catalizador. Una temperatura óptima debe ser encontrada para permitir de este modo un eficiente hidrotratamiento y una larga vida útil del catalizador. Esta temperatura depende del envejecimiento del catalizador, severidad de reacción, flujo de la carga y la presión parcial de hidrógeno.

Los depósitos de coque producen una disminución de la actividad del catalizador. Se puede compensar y mantener la actividad del catalizador durante el ciclo mediante mínimas elevaciones de temperatura de entrada al reactor.

Los puntos de enfriamiento del reactor se encuentran localizados entre los lechos de catalizador para poder regular el perfil de temperatura y evitar sobre calentamientos en zonas localizadas.

3.2.3.2 Velocidad Espacial

La velocidad espacial esta expresada matemáticamente por la relación entre el volumen procesado en una hora a 15°C (flujo de alimentación) y el volumen del catalizador en m³:

$$\text{LHSV} = \frac{\text{Flujo de Alimentación, m}^3/\text{h (@ 15}^\circ\text{C)}}{\text{Volumen de Catalizador, m}^3}$$

La velocidad espacial representa el tiempo de residencia de la carga en el reactor, por lo tanto afecta directamente el progreso de las reacciones a través del reactor. Mientras mas baja sea la velocidad espacial, más alta será la probabilidad de que las reacciones se lleven a cabo a la misma temperatura.

La velocidad espacial solo puede ser variada mediante el cambio del flujo de alimentación al reactor. Cuando la esta velocidad se reduce, es posible operar a una temperatura mas baja y viceversa.

3.2.3.3 Relación Hidrógeno / Hidrocarburo

La relación de hidrógeno / hidrocarburo, es la relación de hidrógeno puro en el gas de reciclo en m³ por hora a condiciones estándares y el flujo de alimentación al reactor medido a una temperatura de 15°C:

$$\frac{H_2}{HC} = \frac{\text{Hidrogeno en Gas de Reciclo, Sm}^3/\text{h}}{\text{Flujo de Alimentación, m}^3/\text{h (@ 15}^\circ\text{C)}}$$

El hidrógeno reciclado o gas de reciclo es necesario para mantener la estabilidad del catalizador. Su función es arrastrar a los productos de las reacciones y los condensables de los lechos de catalizador y al mismo tiempo suministrar al catalizador con el hidrógeno necesario.

Una relación de H_2/HC menor a la requerida, reduce la presión parcial de hidrógeno e incrementa la formación de coque. Dentro de los rangos de operación típicos, la relación H_2/HC tiene una mínima influencia en la calidad del producto y el rendimiento. No es una variable la cual típicamente se ajuste, su rango de operación esta determinado por el diseño basado en el balance económico de la determinación del tamaño de los equipos, por ejemplo los compresores de reciclo, el horno y la duración del ciclo.

3.2.3.4 Presión Parcial de Hidrógeno

La presión parcial de hidrógeno es muy importante en el proceso, así, a mayor presión, mayor es el progreso de las reacciones de hidrotratamiento y menor es la formación y deposición de coque en el catalizador.

La presión parcial e hidrógeno debe ser controlada y mantenida en un nivel adecuado dentro de cada punto del reactor. Esta presión parcial de hidrógeno esta vinculada con la relación hidrógeno hidrocarburo y con la presión total del sistema.

Purgar los compuestos inertes como hidrocarburos ligeros u otras impurezas es necesario, debido a que se mejora el porcentaje de hidrógeno en el gas de reciclo; esto se puede realizar en el separador de alta presión. El efecto adverso a realizar purgas implica una perdida de hidrógeno.

Un incremento del flujo del gas de recirculación es favorable pero esta limitado por la capacidad instalada del compresor de gas de reciclo.

3.2.3.5 Calidad de la Alimentación

La calidad de la carga o alimentación debe de ser constante durante la operación de manera de mantener las condiciones lo mas estable posible.

Siempre se pueden presentaran pequeñas variaciones en la calidad de la carga y para llegar a las especificaciones de producto y niveles de conversión requeridos, las condiciones de operación deben de ser ajustadas.

La severidad (temperatura) de la operación debe ser adecuada según la calidad de la carga, es decir por ejemplo para una alimentación con un punto de final de ebullición alto y alto contenido de impurezas, la temperatura deberá ser alta para poder lograr las especificaciones de producto y los niveles de conversión requeridos.

A.- Rango de Destilación

Para el diesel o gasóleos, los compuestos de azufre son fáciles de remover en las fracciones ligeras, mientras en las fracciones mas pesadas es más difícil de llevar a cabo el hidrotatamiento. La familia de los mercaptanos es la mas fácil de remover, caso contrario son los compuestos heterocíclicos que contiene azufre (concentrados en la fracción mas pesada del corte del diesel) los cuales presentan gran dificultad a ser removidos, por lo que es necesario primero hidrogenar el heterociclo antes de romper el enlace azufre carbono.

B.- Impurezas en la Alimentación

La actividad del catalizador puede ser reducida debido a las impurezas presentes en la alimentación, ya sea de manera temporal o permanente.

Metales y Metaloides: Ellos suelen venir de componentes agregados en unidades previas. Por ejemplo, silicio es encontrado en gasóleos provenientes de una unidad de visbreaking. Arsénico, Silicio y otros metales son atrapados en el catalizador. La absorción ocurre en las capas superiores de los lechos de catalizador, y progresivamente se extienden inferiormente. El catalizador afectado por estos compuestos posee una actividad drásticamente reducida.

Carbón Conradson: El contenido de esta impureza es una indicación de la cantidad de aromáticos polinucleares u otras moléculas condensables de alto peso molecular. Tales compuestos pueden ser transformados, pero solo bajo condiciones de operación altamente severas (temperatura), con los efectos perjudiciales que esto puede originar.

3.2.3.6 Efecto de los Parámetros de Operación en las Reacciones Químicas

Las reacciones químicas son influenciadas por los parámetros de operación:

A.- Hidrodesulfuración

Esta reacción no está limitada termodinámicamente pero está prácticamente limitada por la velocidad de desactivación del catalizador, a más baja temperatura de reacción o más alta la presión parcial de hidrógeno, menor será la velocidad de desactivación.

B.- Hidrogenación de Compuestos Aromáticos

Esta reacción exotérmica está limitada por la presión y la temperatura. Así:

- A una presión de operación dada, si la temperatura incrementa, el límite de hidrogenación disminuye.
- A una temperatura dada, si se incrementa la presión parcial de hidrógeno, el límite de hidrogenación aumenta.

C.- Hidrogenación de Compuestos Olefínicos

Cuando la presión se incrementa, la hidrogenación de los compuestos olefínicos aumenta con mayor velocidad que la hidrosulfuración, lo que significa mayor consumo de hidrógeno para remover el azufre.

D.- Hidrogenación de Compuestos Oxigenados y Nitrogenados

El comportamiento de la hidrogenación de los compuestos oxigenados y nitrogenados es similar a las reacciones de hidrogenación de los compuestos aromáticos, es decir:

- A una presión de operación dada, cuando la temperatura se eleva, el límite de hidrogenación disminuye.
- A una temperatura dada, cuando se incrementa la presión parcial de hidrógeno, el límite de hidrogenación aumenta.

E.- Hidrocraqueo

Estas reacciones que producen cortes ligeros disminuyen el rendimiento del producto y la presión parcial de hidrógeno. El hidrocraqueo puede ser evitado limitando la temperatura de reacción.

F.- Remoción de Metales

Las moléculas que contienen metales son fácilmente removibles y los metales quedan atrapados en el catalizador, reduciendo su área superficial así como su actividad. Es necesario limitar el contenido de metales de la alimentación.

G.- Coquificación

La formación de coque se debe a la polimerización y aglomeración de moléculas largas. Para limitar esta reacción indeseada es necesario operar a la más baja temperatura posible, teniendo una presión parcial de hidrógeno suficiente y una alta velocidad espacial. Si fuera necesario también se debe limitar el porcentaje de moléculas largas (asfaltenos) en la alimentación las cuales son difíciles de hidrogenar y bloquearán los poros del catalizador.

3.2.4 Catalizador

Un catalizador como se menciona anteriormente, consiste generalmente de un elemento de soporte, como alúmina, sílica, magnesia, etc., en el cual se encuentra(n) disperso(s) metal(es) finamente dividido en diferentes combinaciones, como pueden ser Níquel–Molibdeno o Cobalto-Molibdeno.

Las principales características del catalizador a parte de sus propiedades físicas y mecánicas son:

La Actividad, la cual expresa la capacidad del catalizador para incrementar la velocidad de las reacciones. Es medido a la temperatura a la cual el catalizador debe ser operado para alcanzar las especificaciones de los productos dadas las condiciones de la alimentación y de operación.

La Selectividad, la cual expresa la capacidad del catalizador de favorecer las reacciones deseadas más que otras.

La Estabilidad, es una propiedad que caracteriza al cambio en el tiempo en la performance del catalizador cuando las condiciones de operación y la calidad de la alimentación se mantienen estables. Los depósitos de coque son los que afectan principalmente a la estabilidad, mediante la inhibición de la acidez del catalizador y la disminución del área de contacto del metal. La estabilidad es medida generalmente por la cantidad de carga tratada por unidad de peso del catalizador (m^3 carga / Kg Catalizador).

3.3 Unidad de Proceso de Hidrotratamiento

3.3.1 Diagrama de Bloques de la Unidad de Hidrotratamiento

El diagrama de bloques de la unidad de hidrotratamiento o hidrosulfuración, muestra las diferentes etapas principales involucradas en el proceso, incluyendo los productos y las alimentaciones.

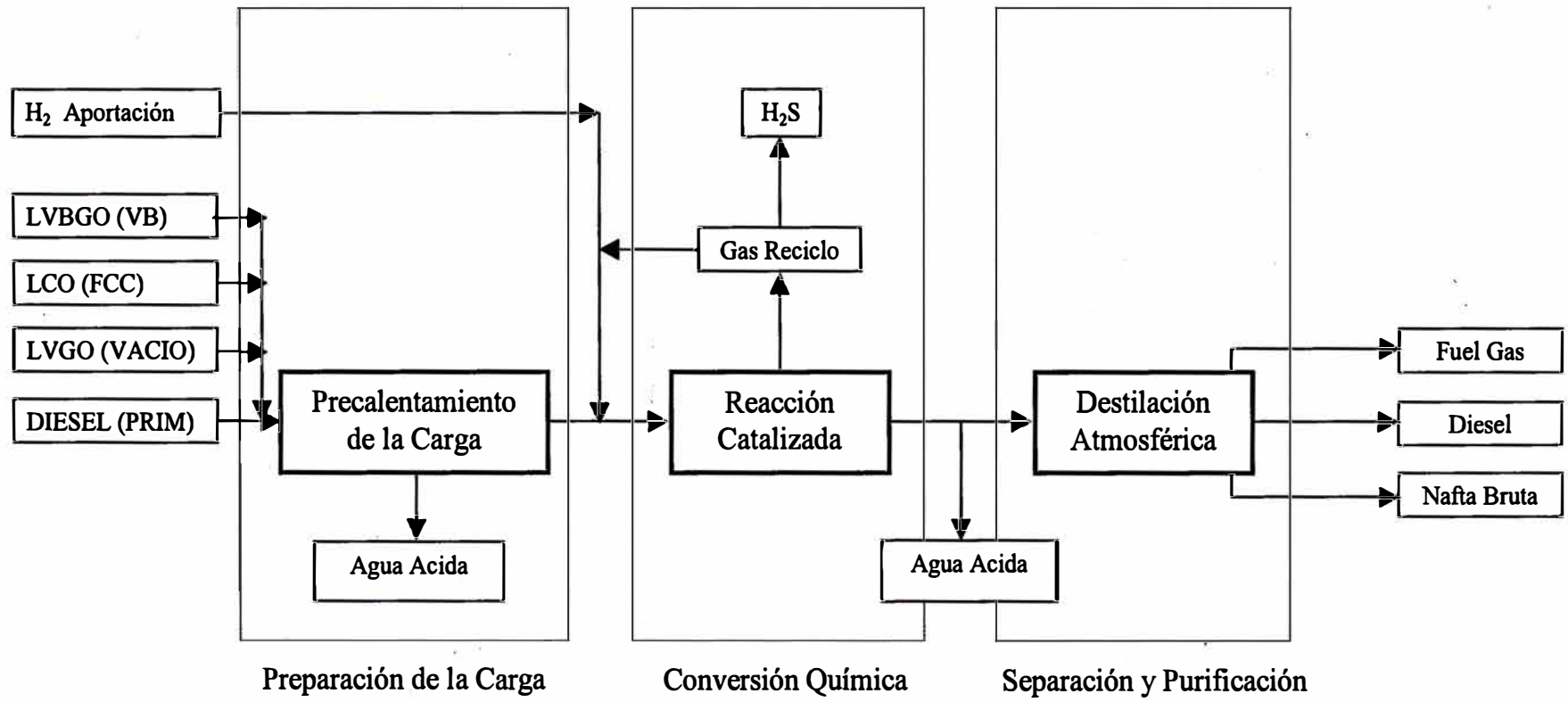
La primera etapa de preparación de la alimentación es en la cual se acondiciona la carga para lograr el mayor rendimiento de la etapa siguiente. En esta primera etapa, la carga es filtrada, precalentada y finalmente calentada hasta la temperatura optima de entrada a la etapa de reacción.

En la preparación de la carga también incluye la unión de las corrientes de hidrocarburo con la de gas (H_2 Aportación + gas de reciclo). El Hidrógeno de Aportación es comprimido hasta la presión de operación y su flujo depende de la composición del gas de reciclo.

En la segunda etapa del proceso se tiene al reactor como equipo principal, en el cual se llevan a cabo las reacciones del hidrotratamiento. Aquí se tienen varias corrientes como productos de las reacciones, de las cuales el gas es separado de la fase líquida y enviado a tratamiento con aminas para eliminar el H_2S y luego ser recirculado a la carga del reactor. El agua es separada de los hidrocarburos en diferentes recipientes, para luego ser enviada a la unidad de Tratamiento de Aguas Acidas.

Los hidrocarburos se envían a la tercera etapa de Separación y Purificación, en la cual mediante una columna de destilación y agotadores se obtienen los productos finales.

Diagrama de Bloques de la Unidad de Hidrotratamiento



3.3.2 Diagrama de Proceso de la Unidad de Hidrotratamiento

El diagrama muestra los diferentes procesos involucrados en el hidrotratamiento así como también los diferentes equipos empleados para lograr las especificaciones del producto. A continuación se describe el proceso según las etapas del diagrama de bloques:

1.- Alimentación a la Unidad

La carga a la unidad es una mezcla de los siguientes destilados provenientes de las diferentes unidades de proceso de la refinería:

- Nafta de Destilación Primaria
- Diesel de Destilación Primaria
- LVGO (Gasóleo Ligero de Vacío)

Teniendo la posibilidad de adicionar parte de la producción de:

- LCO (Aceite Cíclico Ligero de Craqueo Catalítico)
- LVBGO (Gasóleo Ligero de Visbreaking)

Estos destilados como por ejemplo el LCO se emplea como material de corte al igual que el LVBGO que se emplea para preparar residuales, motivo por el cual se adición a la carga de la unidad es opcional.

El total de alimentación real a la unidad de Hidrotratamiento sería:

- 3000 barriles por día de Nafta procedente de Destilación Primaria.
- 20000 barriles por día de Diesel procedente de Destilación Primaria.
- 2000 barriles por día de LVGO procedente de Destilación al Vacío.

Por lo tanto la capacidad de la unidad debe estar diseñada para procesar 25000 barriles por día de alimentación.

2.- Preparación de la Carga

El inicio del proceso es la preparación de la alimentación. Esta carga fresca ingresa a un recipiente de separación, en el cual el agua es separada de la carga

por la diferencia de densidades, luego es bombeada para ingresar a un primer intercambiador de calor, donde es precalentada con el reflujo de la columna de destilación, luego ingresa a un segundo intercambiador de calor en el cual eleva su temperatura con los fondos de la columna de destilación. Luego la carga pasa a través de un filtro para eliminar posibles sólidos suspendidos, ingresando posteriormente al recipiente de recepción de carga caliente. Desde este punto es bombeada y mezclada con el gas de recirculación y el hidrógeno de aportación, un tercer intercambiador eleva aun mas su temperatura recibiendo calor de los efluentes del reactor.

En la parte final de la etapa de preparación, la carga ingresa al horno donde se incrementa la temperatura hasta las condiciones óptimas para llevar a cabo las reacciones de hidrodesulfuración.

3.- Conversión

La etapa de conversión del proceso se lleva a cabo en los diferentes lechos de catalizador del reactor, en el cual la temperatura de cada lecho es controlado mediante reflujo de gas de reciclaje. El control de esta temperatura es importante debido al efecto adverso que podría ocurrir en caso de elevadas temperaturas, tales como la coquificación.

4.- Separación y Purificación del Producto

La etapa siguiente es la de separación y purificación de los productos, en la cual se emplean diversos equipos de separación: un absorbedor, una columna de destilación y despojadores.

La primera separación se da en un recipiente de alta temperatura, donde la fase gaseosa se separa de la fase líquida. La fase líquida ingresa a un agotador para eliminar los hidrocarburos ligeros como el fuel gas.

La fase gaseosa que consta de una mezcla de hidrocarburos, sulfuro de hidrógeno (H_2S) e hidrógeno (H_2) principalmente, pasa por un aerofriador con el fin de

condensar a los hidrocarburos para luego entrar a otro recipiente de separación donde la fase gaseosa se ha reducido a H_2S y H_2 básicamente. El hidrocarburo condensado es enviado al agotador juntamente con la fase líquida inicialmente separada.

La mezcla de H_2S y H_2 ingresa a un recipiente donde se eliminan las pequeñas cantidades de fase líquida que pueda arrastrar el gas. Luego el gas ingresa al absorbedor con aminas, donde el H_2S es absorbido por MEA (metil etanol amina) o MDEA (metil dietanol amina). La amina enriquecida con H_2S (amina rica) es enviada a la unidad de Aminas donde en una columna regeneradora se elimina el H_2S y la amina es recirculada a la columna absorbidora.

El gas remanente que contiene H_2 y H_2S en mínima proporción, ingresa a un recipiente en el cual se separa la posible MEA arrastrada por el gas, y este es enviado al compresor para incrementar su presión hasta la presión adecuada a la cual se pueda recircular el H_2 .

Después de pasar por el agotador o stripper, el cual tiene la función de separar los hidrocarburos ligeros, los hidrocarburos pesados son bombeados a un intercambiador de calor donde se precalientan con los fondos de la columna de destilación antes de su ingreso al horno previo a la columna de destilación atmosférica.

En la columna de destilación atmosférica, se separan el diesel de los posibles destilados medios ligeros que se pueden producir, nafta principalmente. La columna trabaja con vapor de baja presión que ingresa por la parte inferior para lograr un buen despojamiento.

El producto de fondo de la columna es enviado a un intercambiador, el cual trabaja como rehervidor del agotador de diesel. Luego pasa a otros dos intercambiadores, el primero es el que precalienta la carga al horno previo a la columna y el segundo precalienta la carga de la unidad. Seguidamente ingresa a un calderón donde se genera vapor de baja presión. Finalmente es enviado como carga a FCC o a tanques para su almacenamiento. Por el tope de la columna sale gas mezclado con vapor, corriente que es dirigida a un aroenfriador, luego pasa al recipiente de reflujo donde el agua se separa por diferencia de densidades y la

fase hidrocarburo, nafta principalmente, es bombeada una parte al reflujo de tope de columna y la otra es enviada a tanques.

La salida de diesel se localiza a la mitad de la columna aproximadamente, esta línea tiene dos ramificaciones, una línea lleva el diesel a una bomba, la otra línea dirige el diesel hacia el agotador o stripper.

La bomba se emplea para enviar dos reflujo en zonas diferentes de la columna, uno es reflujo frío y el otro ingresa como reflujo caliente. El reflujo frío cede calor para precalentar la carga de la unidad.

El agotador o stripper de diesel, trabaja con un rehervidor total. Por el fondo del agotador sale diesel caliente el cual es bombeado a un calderín para producir vapor de baja presión. Luego pasa por un aroenfriador y finalmente es enviado a tanques de almacenamiento.

Las figuras presentadas a continuación muestran las diferentes etapas de la unidad, es decir en la figura N° 1 tenemos la “Sección de Preparación de Carga y Reacción”; en la figura N° 2 tenemos la “Estabilizadora de Diesel y Compresor de Hidrógeno de Reposición” y en la figura N° 3 tenemos la “Sección de Separación y obtención de Producto final”.

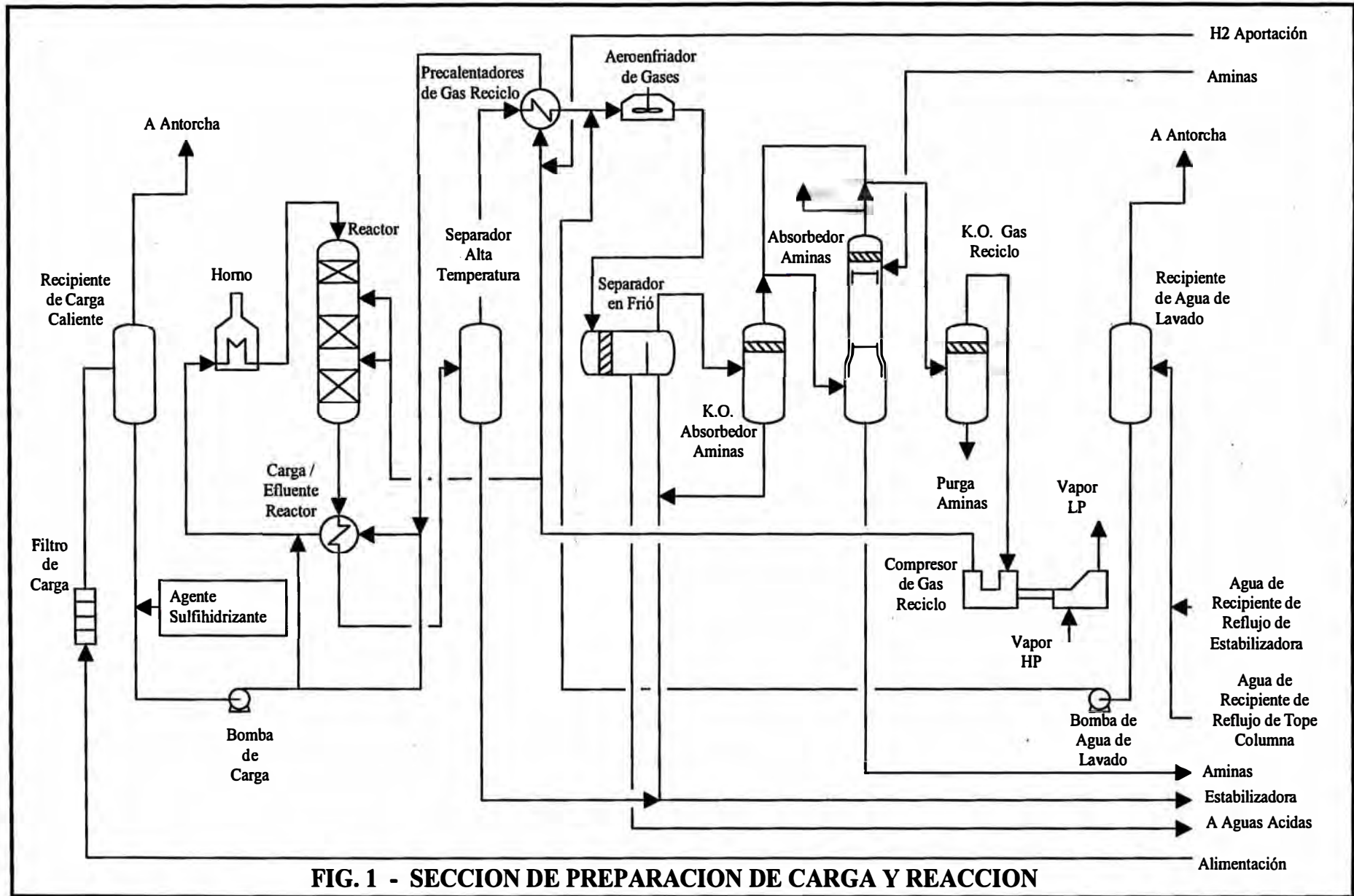


FIG. 1 - SECCION DE PREPARACION DE CARGA Y REACCION

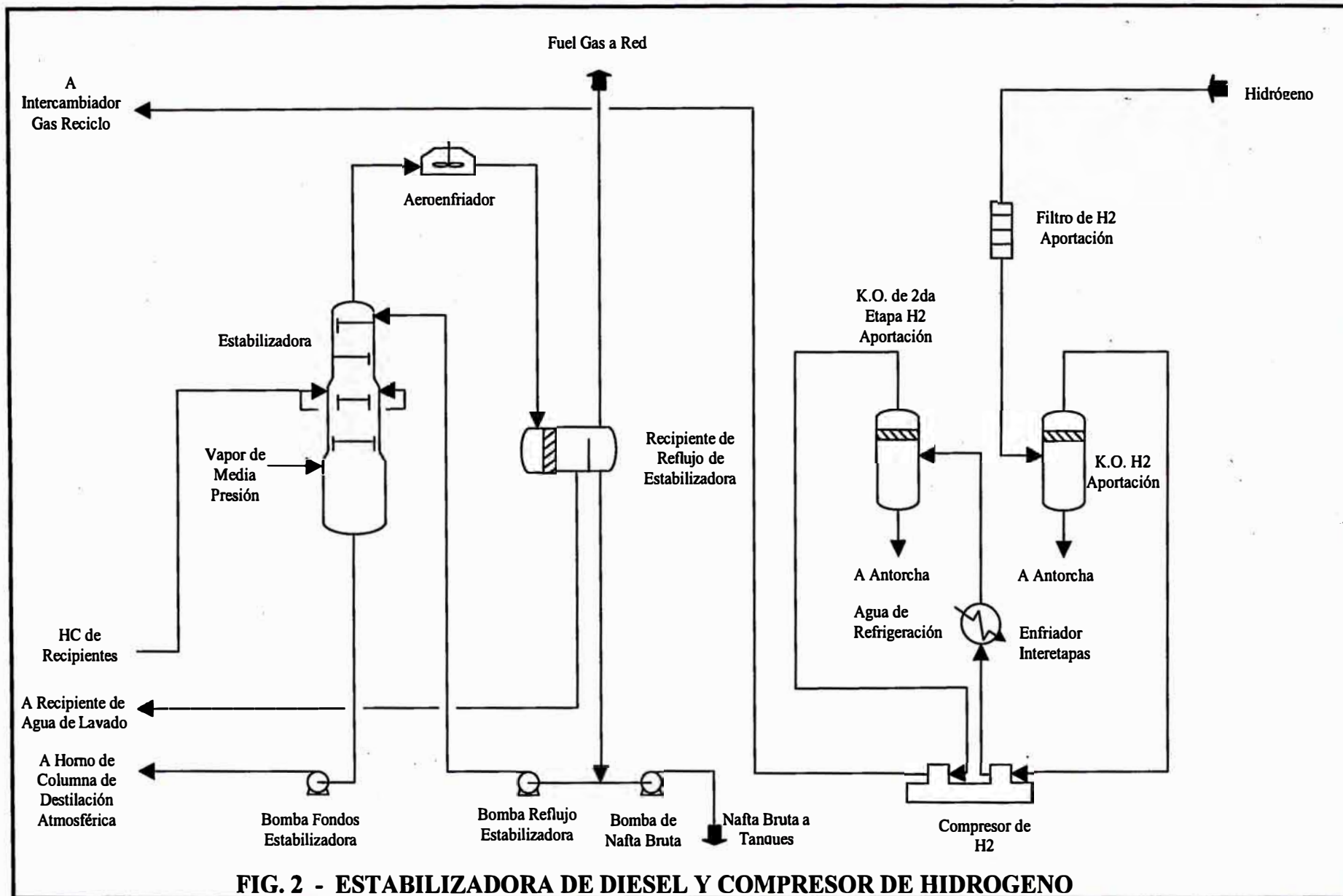


FIG. 2 - ESTABILIZADORA DE DIESEL Y COMPRESOR DE HIDROGENO

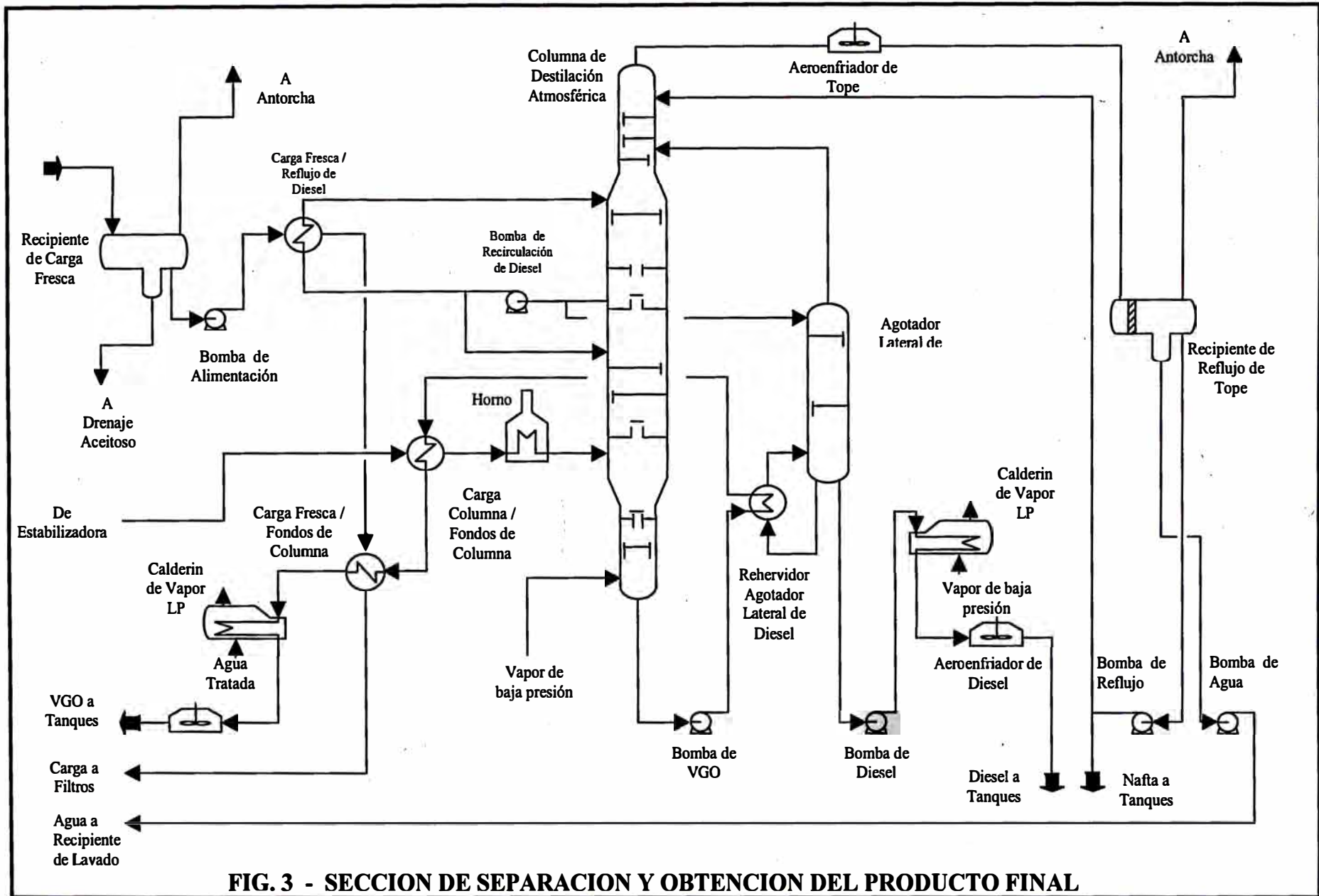


FIG. 3 - SECCION DE SEPARACION Y OBTENCION DEL PRODUCTO FINAL

3.3.3 Descripción de los Principales Equipos

- **Recipiente de Carga Fresca**

En este recipiente se decepciona la carga fresca o alimentación a la unidad, que como ya se ha mencionado anteriormente es una mezcla de subproductos tales como el diesel de la unidad de destilación primaria, el gasóleo ligero proveniente de la unidad de vacío, el aceite cíclico ligero de la unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, etc. En este recipiente se lleva a cabo la separación de la fase hidrocarburo del agua que pueda contener la alimentación.

- **Recipiente de Carga Caliente**

La carga que luego de precalentarse en un tren de intercambio inicial, es recibido por este recipiente, del cual el hidrocarburo es tomado por la bomba de carga con destino hacia el horno. Este recipiente se encuentra bajo control de presión, con el fin de mantenerla constante en todo momento, es decir en caso de sobre presión, se abre una válvula automática que libera hidrocarburo y lo envía al sistema de antorcha, caso contrario al tener baja presión, una válvula se abre para dejar que la red de fuel gas presione el recipiente.

- **Horno de Alimentación al Reactor**

El horno el cual es empleado para elevar la temperatura en la etapa previa al ingreso al reactor, emplea quemadores mixtos, es decir puede emplear fuel gas o aceite combustible según corresponda. El flujo de fuel gas o aceite combustible esta regulado por un lazo de control donde la temperatura de entrada al reactor es la variable de control.

- **Reactor**

El reactor de la unidad de hidrotratamiento se puede considerar el principal equipo de la unidad, debido a que dentro de él se llevan a cabo las reacciones de desulfuración. El reactor cuenta con varios lechos de catalizador, los cuales cuentan con un control de temperatura mediante el ingreso de gas de reciclo, con el fin de evitar altas temperaturas y consecuentemente la coquificación.

La presión del reactor es una de las variables importantes para las reacciones de hidrodesulfuración, motivo por el cual la presión es controlada mediante la presión del gas de reciclo que ingresa nuevamente con la carga.

- **Recipiente Separador de Alta Temperatura**

El separador de alta temperatura recibe el efluente del reactor, donde la fase gaseosa y la fase líquida son separadas. La salida de los líquidos es controlada mediante una válvula automática que está enlazada en el transmisor de nivel del recipiente. Los gases salen por la parte superior del separador para luego ser condensados.

- **Recipiente Separador de Baja Temperatura**

Este recipiente sirve para separar tres fases, una de ellas es el agua de lavado añadida al proceso antes del aerofriador, la otra fase separada es la fase hidrocarburo líquido y la tercera es la fase gaseosa. Cuenta con un demister en posición vertical para maximizar la separación líquido gas.

La separación de las fases líquidas se da por la diferencia de densidades entre el agua y el hidrocarburo. El recipiente posee una placa por la cual rebosa la fase hidrocarburo.

Tanto el nivel en la sección del agua como la del hidrocarburo poseen controles de nivel regulados por válvulas automáticas en las líneas de salida respectivamente.

- **Recipiente Knock Out del Absorvedor Aminas**

Es un recipiente cilíndrico colocado en forma vertical, el cual posee un demister en la parte superior, es decir sobre el distribuidor de ingreso del gas. Este demister tiene el fin de eliminar el posible arrastre de hidrocarburo por el gas proveniente del separador a baja temperatura. El nivel de hidrocarburo en el fondo de este recipiente está controlado mediante una válvula automática enlazada con el transmisor de nivel de fondos, para así tener siempre un nivel mínimo como sello entre ambas fases.

- **Columna Absorbedora Aminas**

La columna absorbidora aminas, es una columna de platos en la cual circulan en contra corriente la amina con el gas proveniente del proceso. El gas conteniendo H_2S , ingresa por la parte inferior, el cual al entrar en contacto con la amina que ingresa por la parte superior, es absorbido del gas y posteriormente eliminado en la columna regeneradora de aminas (Unidad de Aminas). La columna posee un demister en la parte superior para evitar el arrastre de amina con el gas. El nivel de los fondos de la columna está controlado por una válvula que se encuentra en la línea de salida de MEA Rica (alto contenido de H_2S) de la columna enlazada con el transmisor de nivel de fondos.

- **Recipiente Knock Out de Gas de Reciclo**

Similar al recipiente K.O. del Absorbedor, posee un demister en la parte superior, sobre el distribuidor de ingreso del gas, el cual tiene el fin de eliminar el posible arrastre de amina por el gas proveniente de la columna Absorbedora Aminas.

El nivel de hidrocarburo en el fondo está controlado mediante una válvula automática enlazada con el transmisor de nivel de fondos, para así tener siempre un nivel mínimo de líquido.

- **Compresor de Gas de Reciclo**

El compresor de gas de reciclo eleva la presión del gas sin H₂S o gas dulce, proveniente del recipiente K.O. del gas de reciclo, el incremento se realiza según el punto de seteo de la válvula de descarga del compresor. El compresor tiene una turbina que trabaja laminando vapor de alta presión (17 Kg/cm²) a vapor de baja presión (2.5 Kg/cm²).

- **Recipiente de Agua de Lavado**

El recipiente de agua de lavado recepciona agua de los recipientes de reflujo tanto de la estabilizadora como de la columna de destilación. También recibe agua tratada acida de la unidad de Aguas Acidas. El agua de lavado es bombeada para mezclarse con el gas saliente del recipiente separador a alta temperatura. El recipiente de agua de lavado tiene un control de presión mediante una válvula de control que descarga gas al sistema de antorcha.

- **Estabilizadora**

La estabilizadora es una columna de platos donde se lleva a cabo una primera separación entre el diesel y nafta bruta. La columna posee un ingreso de vapor de media presión por la parte inferior como medio de despojamiento de los componentes ligeros (nafta bruta). El ingreso del hidrocarburo a la estabilizadora se realiza en un plato intermedio. Por la parte superior de la estabilizadora sale gas el cual se dirige a un aerofriador con el fin de condensar el gas, el reflujo de tope ingresa en el plato superior proveniente de la bomba de reflujo.

El fondo de la estabilizadora tiene un control de nivel mediante una válvula de control localizada en el horno anterior a la columna de destilación.

- **Recipiente de Reflujo de la Estabilizadora**

Los gases que salen por el tope de la estabilizadora, al pasar por un aerofriador condensan parcialmente. Esta mezcla de líquido gas ingresa al recipiente de reflujo, pasa por un demister vertical donde el gas se separa de los líquidos y sale por la parte superior y es dirigido hacia la red de fuel gas. El agua existente se separa por gravedad de la fase orgánica y luego bombeada al recipiente de agua de lavado. El hidrocarburo sale a dos ramales, uno es bombeado a tanques de nafta bruta y el otro es bombeado hacia el tope de la estabilizadora como reflujo de tope.

- **Compresor de Gas Hidrógeno de Aportación**

El compresor de hidrógeno de aportación comprime el gas hasta una presión regulada por válvulas automáticas controladas por un procesador que recibe el porcentaje de hidrógeno en el gas de reciclaje. Este compresor cuenta con dos etapas y un enfriador inter etapas.

- **Horno de Alimentación a la Columna de Destilación**

Este horno es empleado para incrementar la temperatura de la carga a la columna de destilación. Puede emplear fuel gas o aceite combustible según sea la demanda correspondiente. El flujo de fuel gas o aceite combustible está regulado por un lazo de control donde la temperatura de entrada a la columna es la variable que gobierna sobre la válvula de control.

- **Columna de Destilación**

La columna de destilación es la etapa de separación principal, esta conformada por platos teniendo como productos nafta, diesel y VGO. La alimentación proveniente del horno ingresa a la columna en un plato inferior por debajo de la

mitad. Se emplea la carga calorífica de los fondos de la columna en el rehervidor del agotador lateral de diesel. Se inyecta vapor de baja presión por la parte inferior de la columna para ayudar con el despojamiento de los compuestos ligeros. Posee recirculaciones de alta y baja temperatura. El control de presión de la columna esta asociado con la presión del recipiente de reflujo de esta, por lo que se debe tener una presión cercana a la atmosférica.

- **Agotador Lateral de Diesel**

El agotador lateral es una columna de platos que cuenta con un rehervidor total en la parte inferior. La alimentación al agotador se encuentra por la parte superior. EL fondo del agotador posee dos secciones, una que se dirige al rehervidor y la otra por la cual se extrae el diesel para almacenamiento. Por el tope del agotador sale gas que se recircula a los platos superiores de la columna de destilación.

- **Recipiente de Reflujo de la Columna de Destilación**

El recipiente de reflujo de la columna de destilación recibe los gases condensados en el aerofriador previo, los cuales están constituidos por nafta básicamente así como también un porcentaje de agua. Posee un demister luego de la entrada de dichas fases para facilitar su separación. El agua es colectada en la pierna del recipiente y bombeada al recipiente de agua de lavado, mientras que la nafta es bombeada a dos líneas, una que la conduce a tanques de almacenamiento y la otra que la recircula al plato superior de la columna de destilación.

3.3.4 Condiciones de Operación de la Unidad

A.- Presión de Operación

La presión de operación esta controlada por la descarga del compresor de hidrógeno de reposición de la unidad, el cual debe estar seteado al máximo valor posible con el fin de maximizar la presión parcial de hidrógeno.

La presión parcial de hidrógeno está fijada por el contenido de hidrógeno en el gas de reciclo, por la presión total de la unidad, la severidad del hidrotreatmento y por el tiempo de uso del catalizador.

La presión en el reactor debe ser entre 45,7 y 57,3 kg/cm², presión que es mantenida mediante una válvula automática que evacuará la cantidad de gas de purga necesaria para mantener la presión del sistema.

B.- Temperatura de Operación

La temperatura en la sección de reacción debe ser mantenida en el valor mínimo dentro del rango permitido mientras el nivel de actividad sea mantenido.

El principal punto de control de temperatura se encuentra en los lechos de catalizador dentro del reactor. La temperatura de los lechos debe ser ajustada con el fin de lograr las especificaciones en concordancia con el análisis de la carga y con la actividad del catalizador. Normalmente la temperatura de los lechos debe ser incrementada progresivamente durante el ciclo de vida del catalizador.

La temperatura de entrada al reactor debe ser ajustada para que se tenga la misma temperatura en la salida de cada lecho de catalizador, la cual también es ajustada por el gas de recirculación en cada lecho.

La temperatura de entrada al reactor se encuentra en el rango entre 343 y 371 °C y es regulado por el flujo de fuel gas o aceite combustible quemado en el horno. Las reacciones de hidrogenación son exotérmicas razón por la cual la temperatura dentro del reactor llega a elevarse en un rango de 400 a 420 °C aproximadamente. Cuando se tienen temperaturas sobre los 420 °C comienza una desactivación del catalizador que se acelera con el aumento de temperatura.

C.- Caudal y Concentración de Hidrógeno

Aumentando el caudal de hidrógeno mejora considerablemente la hidrogenación y también tiende a alargarse la vida del catalizador. En algunos casos será posible alcanzar el grado de hidrogenación necesario con un caudal de hidrógeno inferior al de diseño, pero se reducirá la vida del catalizador. El caudal de hidrógeno de reposición está asociado con la concentración en el gas de reciclo. Por este motivo

se cuenta con un analizador en línea a la salida del compresor de gas de reciclo, instrumento que está enlazado con un procesador que controla la presión de descarga del compresor de hidrógeno de aportación.

Las concentraciones de hidrógeno en las distintas corrientes gaseosas de la sección de desulfuración son:

<u>Corriente Gaseosa</u>	<u>Concentración de H₂ % molar</u>
Gas de Aportación	68.65
Gas de Reciclo	60.30
Combinación de gas de Aportación y Reciclo	61.80

3.3.5 Puesta en Marcha Normal de la Unidad

Preparaciones Preliminares

Una vez completada la fase de construcción de la unidad, se procede al chequeo, verificación y acondicionamiento de los equipos y líneas de proceso. También deben prepararse las líneas de servicios auxiliares tales como vapor, agua tratada, aire de instrumentos, aire de planta, etc.

El curado del material refractario de los hornos debe ser realizado con anterioridad a la puesta en marcha, la operación de secado es también un medio de comprobación de otros componentes del horno tales como quemadores, instrumentos de control, etc.

Toda la unidad a excepción de los compresores y el reactor, debe ser llenada con agua con fines de lavado y luego para probar las bombas. Una vez finalizada esta operación se drenara lo mejor posible el agua de todos los recipientes y líneas. Todos los recipientes deben pasar por una prueba de estanqueidad para lo cual debe emplearse nitrógeno o vapor de agua a una presión ligeramente inferior a la presión de apertura de las válvulas de seguridad.

Luego se hace un barrido a toda la unidad con gas inerte o vapor de agua para eliminar el aire. Es esencial eliminar todo el aire el contenido de aire de la unidad antes de introducir el gas de aportación rico en hidrógeno. Las mezclas de oxígeno e hidrógeno son altamente explosivas incluso a concentraciones de oxígeno tan bajas como el 4%. Esta operación debe ser efectuada por secciones aisladas, es decir la sección de baja presión por separado de la sección de alta presión.

Orden de Puesta en Marcha

La secuencia de operaciones a realizar para la puesta en marcha es generalmente como sigue:

1. Arrancar los compresores de gas de reciclado y gas de aportación.
2. Realizar un segundo ensayo de estanqueidad presurizando con gas de aportación.
3. Efectuar el llenado de los recipientes con diesel por la línea de puesta en marcha.
4. Establecer temperatura en el horno tanto de carga como en el alimentación a la columna de destilación.
5. Establecer la circulación de la carga o alimentación a caudales bajos.
6. Elevar las temperaturas hasta los niveles de operación.
7. Conectar las salidas de productos a almacenamiento.
8. Aumentar el caudal de alimentación hasta el valor de diseño.

La operación de la unidad continuará al 50% de carga hasta conseguir las condiciones normales de presión y temperatura en los diferentes equipos y toda la instrumentación automática trabaje satisfactoriamente como para garantizar la continuidad de operación.

Para completar la puesta en marcha, se aumentará el caudal de gas hasta el 100% de diseño, lentamente para no reducir las temperaturas de operación y a continuación, el caudal de alimentación también a un 100% según diseño de forma mas o menos rápida pero manteniendo la temperatura de salida del horno.

Los ajustes finales para el gas de reciclo, gas de aportación y temperatura de operación estarán supeditados a los resultados de los análisis realizados en el laboratorio para las corrientes de la unidad.

3.3.6 Regeneración del Catalizador

La regeneración del catalizador se debe realizar cuando a una máxima temperatura de operación en el reactor, las especificaciones del producto no se logran alcanzar, es decir cuando no se puede llevar a cabo una desulfuración satisfactoria, o cuando la caída de presión a través del mismo muestra un incremento apreciable, no permitiendo un flujo de gas de reciclo necesario. Esta desactivación es el resultado de la deposición de coque sobre el catalizador.

La regeneración del catalizador se lleva a cabo quemando el coque formado en una atmósfera de nitrógeno, ya que con vapor el catalizador pierde actividad. Aun cuando la regeneración se lleve a cabo de la mejor manera posible, es difícil alcanzar el nivel inicial de actividad debido a que el efecto de la deposición de metales que contiene la carga es irreversible.

Luego de haber parado la planta y desplazado con nitrógeno, se debe de realizar la instalación de las facilidades para iniciar el quemado de coque. Paso siguiente se alinea el compresor de gas de reciclo para recircular el gas de la unidad. Se pone en servicio el horno de carga al reactor y se calienta hasta 400°C a 50°C por hora. Se inyecta aire en el gas de recirculación hasta obtener una concentración de 0.3% de oxígeno en el ingreso al reactor, así se logra una temperatura de 460°C en la salida del reactor. Dicho incremento evidencia la combustión del coque. Se deben realizar análisis Orsat en la salida del reactor para determinar el % de oxígeno, una vez que el se iguale el porcentaje de oxígeno en el ingreso como en la salida, se debe incrementar el oxígeno a 3%. Siempre se debe monitorear las temperaturas dentro del reactor no permitiendo que esta supere los 480°C.

Una vez que se determina que se terminó la quema de coque mediante el análisis del reactor, se eleva la temperatura hasta 480°C y se incrementa el porcentaje de

oxígeno a 8% para asegurar la total combustión del coque deposita en el catalizador y se mantienen estas condiciones por 4 horas.

IV. EVALUACION ECONOMICA

La unidad de Hidrotratamiento, por ser una planta que involucra varias plantas asociadas, por trabajar en condiciones de operación severas y ser necesariamente de gran capacidad para atender el mercado nacional, posee un costo elevado. El valor aproximado de la inversión necesaria se encuentra alrededor de los 200 millones de dólares.

La implementación de la unidad de hidrotratamiento esta fundamentada, a pesar de su alto costo, en el hecho de que sin esta nueva unidad, la refinería no podría comercializar el diesel debido a la nueva especificación comercial de este destilado medio.

El análisis económico debe ser realizado en dos diferentes escenarios, el primero es el análisis económico de la refinería con la unidad de Hidrotratamiento y el segundo escenario es no hacer nada y dejar de comercializar diesel como tal.

El primer caso de análisis es el de la refinería con la unidad de hidrotratamiento, lo que involucra un mayor costo de producción del diesel, pero un costo muy necesario para poder comercializar dicho destilado.

El segundo caso a estudiar sería el no hacer nada y dejar de comercializar diesel en el país, teniendo que agregar la producción de diesel como material de corte para exportación a un costo muy por debajo de su valor comercial por el alto contenido de azufre. Por ende la refinería solo comercializaría el resto de productos tales como la gasolina en sus diferentes calidades, el turbo A1, kerosene, residuales, asfaltos, etc. Por ser el diesel el destilado medio de mayor demanda en el país, la reducción de ingresos por concepto de ventas de la empresa es un valor muy alto.

A continuación se tienen los cuadros referentes a los volúmenes de venta y sus respectivos precios, tomando como referencia a la refinería La Pampilla. Estos datos muestran valores relativos al ingreso anual de la refinería.

Cuadro de Volúmenes de Venta e Ingresos

Productos	MBbl por Año	Precio (\$/Bbl)	Ingresos (MM\$/Año)
GLP	801.87	44.500	35.683
Gasolina 84	1334.53	78.107	104.237
Gasolinas 90	1082.49	83.373	90.251
Gasolinas 95	115.37	89.893	10.371
Gasolinas 97	153.21	92.024	14.099
Nafta Oil	2877.63	77.731	223.682
Turbo	2615.22	91.773	240.007
Kerosene	594.80	86.633	51.529
Diesel 2	8080.96	88.890	718.313
Diesel Marino	196.80	88.890	17.494
Residual 6	1247.37	55.540	69.279
Residual 500	7422.62	52.657	390.851
IFO 380	878.89	52.657	46.279
Combustible	330.47	50.149	16.573
Asfalto	103.33	54.537	5.635

Ingresos Totales

2034.283 MM\$/Año

Nota: Datos tomados de RELAPA S.A.

Bbl: Barriles

MBbl: Miles de Barriles

MM\$: Millones de US \$.

Para hacer el siguiente análisis económico se debe de analizar el caso del diesel básicamente, teniendo en cuenta que los gastos de una refinería con o sin unidad de Hidrotratamiento son los mismos, difiriendo solo en los costos operativos de esta unidad. Es decir por ejemplo que los gastos por concepto de ventas o administrativos son los mismos en ambos casos o que la depreciación de la refinería es la misma a excepción de la unidad de Hidrotratamiento.

Entonces se plantea el siguiente cuadro comparativo del cual se obtiene cuales son los valores incrementales de ingresos y egresos, representados por letras:

	Con HDS	Sin HDS	Incremental (Con HDS - Sin HDS)
Inversión	X		X
Ingresos	Venta de Diesel	Venta de MC	Vol ($P_{\text{DIESEL}} - P_{\text{MC}}$)
Depreciación	$D + X/10$	D	X/10
Costos Operativos	$Y + CO_{\text{HDS}}$	Y	CO_{HDS}
Gastos de Ventas	G_{VTA}	G_{VTA}	0
Gastos Administrativos	G_{ADM}	G_{ADM}	0

Nota: La depreciación de la planta esta calculada en un lapso de tiempo de 10 años y de manera lineal.

Entonces se plantea cada caso para encontrar los valores necesarios para realizar la evaluación económica correspondiente.

Caso 1: Refinería con Unidad de Hidrotratamiento

En el caso uno, se plantea que la inversión para la construcción de la unidad de Hidrotratamiento y sus unidades anexas es aproximadamente 200 millones de dólares. Los ingresos son los correspondientes a las ventas de diesel solamente, y

se tienen los egresos referenciados únicamente al costo operativo de la unidad, es decir los servicios que emplea como vapor, agua, electricidad, etc. así como también fuel oil, fuel gas y otros insumos. Asumiendo los volúmenes de venta iguales al año 2005, tenemos:

Unidad HDS

Capacidad	25000	Bbl/Día
Costo Actual	200	MM\$
Depreciación Lineal (10Años)	20	MM\$/Año

Ingreso

Diesel	718.313	MM\$/Año
--------	---------	----------

Ingresos Totales	718.313	MM\$/Año
-------------------------	----------------	-----------------

Egresos

Capacidad de Planta	25000	Bbl/Día
Operación	1.268	\$/Bbl

Egresos Totales	11.572	MM\$/Año
------------------------	---------------	-----------------

Caso 2: Refinería sin Unidad de Hidrotratamiento

En este caso se analizará la refinería sin unidad de Hidrotratamiento, motivo por el cual la venta de diesel con alto contenido de azufre queda fuera del mercado de combustibles en el país por la Ley N° 28694, la cual regula el contenido de azufre en el combustible diesel.

Por esta razón se tiene que evaluar las soluciones posibles para comercializar el diesel producido en la refinería. Dentro de estas soluciones se tienen emplear el diesel para blending de residuales, o también exportar diesel como material de corte el cual posee un precio mucho menor que el costo de diesel por barril.

La solución óptima es exportar el diesel como material de corte ya que este producto posee un precio mayor comparado al de los residuales. Así que se calcula el nuevo ingreso de diesel del Cuadro de Volúmenes de Venta e Ingresos, asumiendo que se logra vender toda la producción de Diesel que es de 8080 MBbl/Año. Multiplicando este valor por el precio de 73.8 \$/Bbl para el material de corte obtenemos un ingreso de 597 MM\$/Año.

Entonces teniendo en cuenta estos valores se procede a realizar los cálculos para la evaluación económica incremental.

	Con HDS	Sin HDS	Incremental (Con HDS - Sin HDS)
Inversión	200.0	0.0	200.0
Ingresos	718.3	597.1	121.2
Depreciación	D + 20	D	20.0
Costos Operativos	Z + 11.57	Z	11.57
Gastos de Ventas	G _{VTA}	G _{VTA}	0.0
Gastos Administrativos	G _{ADM}	G _{ADM}	0.0

Cuadro de Flujo de Caja

Año	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Inversión	200.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ingresos		121.21	121.21	121.21	121.21	121.21	121.21	121.21	121.21	121.21	121.21
Egresos		11.57	11.57	11.57	11.57	11.57	11.57	11.57	11.57	11.57	11.57
Utilidad de Operación		109.64	109.64	109.64	109.64	109.64	109.64	109.64	109.64	109.64	109.64
Depreciación		20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
Renta Neta		89.64	89.64	89.64	89.64	89.64	89.64	89.64	89.64	89.64	89.64
Impuesto a la Renta (30%)		26.89	26.89	26.89	26.89	26.89	26.89	26.89	26.89	26.89	26.89
Utilidad Neta		62.75	62.75	62.75	62.75	62.75	62.75	62.75	62.75	62.75	62.75
Flujo Neto de Fondos	-200.00	82.75	82.75	82.75	82.75	82.75	82.75	82.75	82.75	82.75	82.75

Nota: Los valores del Cuadro de Flujo de Caja son asumidos obtenidos en el año 2005.

Calculo del Valor Presente Neto

El Valor Presente Neto (VPN) viene a ser la suma actualizada con la tasa de descuento de los Flujos Netos de Fondos de todo el horizonte de planeamiento.

$$VPN_{0,TD} = \sum_{j=0}^N \frac{FNF_j}{(1 + TD)^j}$$

VPN: Valor Presente Neto

TD: Tasa de Descuento

FNF: Flujo Neto de Fondos

j: Año

N: Número de Años

Ahora calculando el VPN con una tasa de descuento de 15%, resulta:

$$VPN = 187.2 \text{ MM } \$$$

Entonces se tiene que el valor presente del proyecto en base a diez años es de 187.2 millones de US\$, el cual representa el valor del proyecto en el año 0. Los valores han sido estimados asumiendo ventas iguales a las del año 2005.

Calculando la Tasa Interna de Retorno

La Tasa Interna de Retorno es una medida relativa de la rentabilidad y es aquella tasa que hace que el VPN sea cero, su aplicación es limitada cuando se trata de proyectos excluyentes precisamente por que proporciona rentabilidad relativa en lugar de absoluto.

$$VPN_{0,TIR} = 0 = \sum_{j=0}^N \frac{FNF_j}{(1 + TIR)^j}$$

Entonces reemplazando valores y aplicando la formula, se obtiene:

$$TIR = 40 \%$$

Comparando este resultado, supera ampliamente el valor de la Tasa de Descuento igual al 15%, por lo cual concluimos que el proyecto posee una rentabilidad muy alta.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Respecto al mercado nacional de hidrocarburos, en el futuro se espera que a partir del año 2009 la Balanza Comercial se vuelva positiva por el efecto del inicio de las operaciones del proyecto de exportación y por que se espera obtener producción de petróleo crudo de nuevos yacimientos.
- La aprobación de la ley que regula el contenido de azufre en el diesel es una ley muy necesaria, ya que las emisiones de la combustión contribuyen al alto grado de polución de los centros urbanos. Con esto tendremos a nuestro país alineado respecto a los estándares ambientales internacionales
- La construcción de esta unidad de Hidrotratamiento es necesaria no solo por el hecho de la Ley promulgada para la comercialización de diesel de bajo azufre, sino por la conservación del Medio Ambiente para poder dar en herencia a las futuras generaciones una atmósfera no tan contaminada.
- Una refinería que no pueda comercializar el diesel que produce como combustible, es una refinería que no es rentable dado que el producto con mayor demanda del país es el diesel.
- En el futuro se deberán implementar unidades de Hidrotratamiento en una segunda etapa para reducir a menos de 30 ppm el azufre en el diesel combustible así como también para las gasolinas y otros destilados medios.
- La producción de diesel sintético será la solución al problema futuro de la alta demanda de combustibles. Para esto se debe de mejorar las técnicas actuales aplicadas para producir diesel sintético, ya que en la actualidad es una vía demasiado costosa.
- También debemos de concentrarnos en buscar compuestos alternativos tales como el dimetil éter el cual posee propiedades similares al diesel y puede ser empleado como combustible del parque automotor.

- Debemos concentrar los esfuerzos para encontrar otras fuentes de energía limpia, es decir investigar y desarrollar mas sobre vehículos que emplean hidrógeno como combustible, las celdas combustibles, etc.

VI. BIBLIOGRAFIA

Pagina Web del Ministerio de Energía y Minas

www.minem.gob.pe/hidrocarburos/pub_planreferen_2005-2014.asp

Pagina Web del Diario El Peruano

www.elperuano.com.pe

Pagina Web de OSINERG

<http://www.osinerg.gob.pe/>

Pagina Web del Ministerio de Salud

<http://www.minsa.gob.pe/portal/ogcminsa/Notasprensa>

Monticello, D. (1995)

**Método en Varias Etapas para la Desulfuración a Fondo de Combustibles
Fósiles**

Patente Europea

Axens IFP Group Technologies (2001)

Training for HDS Hydrotreatment

Pág. 7-17; 29-37; 57-67

Porras E.

Economía de los Procesos

Pág. 3-15 del Capítulo 10

VII. ANEXOS

AL SEÑOR PRESIDENTE CONSTITUCIONAL
DE LA REPÚBLICA

POR TANTO:

Mando se publique y cumpla.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los veintiún días del mes de marzo del año dos mil seis.

ALEJANDRO TOLEDO
Presidente Constitucional de la República

PEDRO PABLO KUCZYNSKI GODARD
Presidente del Consejo de Ministros

05263

LEY N° 28684

EL PRESIDENTE DEL CONGRESO DE LA
REPÚBLICA

POR CUANTO:

EL CONGRESO DE LA REPÚBLICA;

Ha dado la Ley siguiente:

LEY QUE REGULA EL CONTENIDO DE AZUFRE EN EL COMBUSTIBLE DIESEL

Artículo 1°.- Objeto de la Ley

Declárase de necesidad pública y de preferente interés nacional la regulación de los niveles de azufre contenidos en el combustible diésel, con la finalidad de salvaguardar la calidad del aire y la salud pública.

Artículo 2°.- Regulaciones de los niveles de azufre

A partir del 1 de enero de 2010 queda prohibida la comercialización para el consumo interno de combustible diésel cuyo contenido de azufre sea superior a las 50 partes por millón por volumen.

Artículo 3°.- Medidas tributarias de promoción de combustibles limpios

Gradualmente, a partir del 1 de enero de 2008, se determinará el Impuesto Selectivo al Consumo a los combustibles, introduciendo el criterio de proporcionalidad al grado de nocividad por los contaminantes que éstos contengan para la salud de la población. Para tal efecto, el Ministerio de Economía y Finanzas en coordinación con el Consejo Nacional del Ambiente – CONAM, aprobarán anualmente los índices de nocividad relativa que serán utilizados. Esta reestructuración deberá realizarse de forma gradual hasta el 1 de enero de 2016 como máximo, fecha en que la tributación que grava los combustibles considerará plenamente el criterio de nocividad.

Artículo 4°.- Prohibición

A partir de la vigencia de la presente Ley queda prohibida la importación de combustible Diésel N° 1 y Diésel N° 2 con niveles de concentración de azufre superiores a 2500 ppm, prohibiéndose además la venta para el mercado interno de un combustible diésel con un contenido de azufre superior a 5000 ppm.

El Ministerio de Energía y Minas, queda facultado para establecer, por excepción, la zonas geográficas del interior del país en las que se podrá autorizar el expendio de diésel con mayor contenido de azufre, bajo las regulaciones que sobre esta materia se establezcan en el reglamento de la presente Ley.

Artículo 5°.- Sanciones

El incumplimiento de lo dispuesto en la presente Ley será sujeto a las sanciones que para estos efectos se autoriza a establecer al OSINERG.

Artículo 6°.- Difusión del contenido del azufre

El Ministerio de Energía y Minas dispondrá las medidas necesarias para que los consumidores conozcan las especificaciones del diésel que adquieren en lo concerniente al contenido de azufre.

DISPOSICIÓN TRANSITORIA Y FINAL

ÚNICA.- Mediante decreto supremo refrendado por los Ministros de Energía y Minas y de Economía y Finanzas será aprobado el reglamento de la presente Ley, en un plazo no mayor de noventa (90) días posteriores a su vigencia.

POR TANTO:

Habiendo sido reconsiderada la Ley por el Congreso de la República, aceptándose las observaciones formuladas por el señor Presidente de la República, de conformidad con lo dispuesto por el artículo 108° de la Constitución Política del Estado, ordeno que se publique y cumpla.

En Lima, a los veinte días del mes de marzo de dos mil seis.

MARCIAL AYAIPOMA ALVARADO
Presidente del Congreso de la República

FAUSTO ALVARADO DODERO
Primer Vicepresidente del Congreso de la República

05284

LEY N° 28695

EL PRESIDENTE DEL CONGRESO
DE LA REPÚBLICA

POR CUANTO:

LA COMISIÓN PERMANENTE DEL
CONGRESO DE LA REPÚBLICA;

Ha dado la Ley siguiente:

LEY QUE DECLARA DE INTERÉS NACIONAL Y DE NECESIDAD PÚBLICA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA TRONCAL DEL GASODUCTO DE CAMISEA PARA EL DEPARTAMENTO DE AREQUIPA

Artículo 1°.- Declaratoria de interés y necesidad pública

Declárase de interés nacional y de necesidad pública la construcción de una troncal del Gasoducto de Camisea para el departamento de Arequipa, así como la inclusión en el Plan Nacional de distribución y utilización del Gas de Camisea.

Artículo 2°.- Disposiciones complementarias

Facúltase al Ministerio de Energía y Minas para que dicte las disposiciones complementarias y reglamentarias pertinentes para el mejor cumplimiento de lo establecido en la presente Ley.

Artículo 3°.- Vigencia

La presente Ley entrará en vigencia al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial El Peruano.

Comuníquese al señor Presidente de la República para su promulgación.

En Lima, a los veintitrés días del mes de febrero de dos mil seis.

Aprueban Cronograma de Reducción Progresiva del Contenido de Azufre en el Combustible Diesel N°s. 1 y 2

DECRETO SUPREMO

N° 025-2005-EM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 2° de la Ley Orgánica de Hidrocarburos, Ley N° 26221, prevé que el Estado promueva el desarrollo de las actividades de Hidrocarburos sobre la base de la libre competencia y el libre acceso a la actividad económica con la finalidad de lograr el bienestar de la persona humana y el desarrollo nacional;

Que, a su vez el artículo 3° de la referida norma dispone que el Ministerio de Energía y Minas es el encargado de elaborar, aprobar, proponer y aplicar la política del Sector, así como de dictar las demás normas pertinentes;

Que, el artículo 76° de la Ley Orgánica de Hidrocarburos, establece que el transporte, la distribución mayorista y minorista así como la comercialización de los productos derivados de los Hidrocarburos se rigen por las normas que apruebe el Ministerio de Energía y Minas;

Que, el artículo 62° del Reglamento para la Comercialización de Combustibles Líquidos y Otros Productos Derivados de los Hidrocarburos, aprobado por Decreto Supremo N° 030-98-EM, establece que la clasificación, características o especificaciones y calidad de los Combustibles y Otros Productos Derivados de los Hidrocarburos, de origen nacional o importado, deben someterse a las normas oficiales vigentes aprobadas por el INDECOPI, o aquellas que en el futuro se oficialicen y a las disposiciones del referido Reglamento;

Que, la Norma Técnica Peruana 321.003 del año 1989 (primera edición), vigente en razón de las facultades conferidas al ITINTEC a través del artículo 5° del Decreto Legislativo N° 171, dispuso el siguiente contenido máximo de Azufre en el combustible Diesel:

Tipo de Diesel	Diesel N° 1	Diesel N° 2 Estándar
Máximo Azufre Total, % Masa	0,3	1,0

Que, las limitaciones de productos contaminantes en los combustibles tienen por objetivo la protección de la salud de la población;

Que, el artículo 26° del Decreto Ley N° 25868, Ley de Organización y Funciones del Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual - INDECOPI, establece que corresponde a la “Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales” aprobar las Normas Técnicas recomendables para todos los sectores y las normas sobre metrología legal;

Que, mediante Resolución N° 0032-2005/INDECOPI-CRT, se aprobó la Norma Técnica Peruana NTP 321.003.2005, denominada “PETRÓLEO Y DERIVADOS Diesel Especificaciones”, la cual establecía para la especificación de los combustibles Diesel N°s. 1 y 2, los siguientes límites máximos:

Tipo de Diesel	Diesel N° 1	Diesel N° 2 (D2 S-350)	Diesel N° 2 (D2 S-50)
Máximo Azufre Total, % Masa	0,15	0,035	0,005

Que, por su parte, el artículo 2° del Decreto Supremo N° 012-2005-PCM, ha dispuesto que el Ministerio de Energía y Minas apruebe un cronograma de reducción del contenido del Azufre en los combustibles Diesel que sea compatible con las normas establecidas para los vehículos nuevos contenidas en el Decreto

Supremo N° 047-2001-MTC; debiendo considerar una meta final de trescientas cincuenta (350) a cincuenta (50) partes por millón de Azufre (ppm) como valor máximo de contenido de dicho elemento en el referido combustible y conferir carácter vinculante a las Normas Técnicas Peruanas correspondientes;

Que, siendo que las elevadas concentraciones de Azufre en el Diesel, contribuyen en alto grado en la polución de los centros urbanos, es necesario aprobar un cronograma progresivo de reducción del contenido de Azufre que permita la mejora en la calidad de los combustibles y la alineación de nuestro país respecto de los estándares ambientales internacionales;

Que, para tal efecto, es necesario tomar en consideración que el establecimiento de un cronograma de reducción progresiva del contenido de Azufre en el combustible Diesel N°s. 1 y 2 no sólo involucra la fijación de estándares ambientales más exigentes, sino cumplir con la obligación de garantizar el abastecimiento de combustibles a todo el país;

Que, en este sentido, el establecimiento del cronograma tomará en consideración el hecho que los operadores y/o propietarios de las Refinerías del país deben formular programas de adaptación en sus instalaciones a las nuevas exigencias técnicas y ambientales y que para ello deben efectuarse los estudios de mercado, de procesos e ingeniería y posteriormente llevar a cabo las inversiones suficientes para permitir la ejecución de tales programas;

Que, las cifras contenidas en el cronograma que forma parte del presente Decreto Supremo y las establecidas en las Normas Técnicas Peruanas, respecto del contenido de Azufre constituyen sólo límites máximos, así en atención al principio de Libre Competencia previsto en la Ley Orgánica de Hidrocarburos y en la Constitución Política del Perú, es posible que los diversos agentes oferten al mercado combustible Diesel con menor contenido del referido elemento;

Que, adicionalmente se ha considerado necesario prohibir la importación de Diesel N° 1 y Diesel N° 2 con niveles de concentración de Azufre Superiores a dos mil quinientos partes por millón (2 500 ppm), a fin de promover una oferta de mejor calidad de dicho combustible;

De conformidad con lo dispuesto en los artículos 3° y 76° de la Ley Orgánica de Hidrocarburos, Ley N° 26221 y en el artículo 2° del Decreto Supremo N° 012-2005-PCM;

DECRETA:

Artículo 1°.- De la aprobación del Cronograma de reducción progresiva del contenido de Azufre en el Combustible Diesel N° 1 y Diesel N° 2:

Aprobar los siguientes cronogramas para la reducción progresiva de Azufre en el combustible Diesel N° 1 y Diesel N° 2:

Cronograma de reducción progresiva del contenido de Azufre en el Combustible Diesel N° 1

Año	60 días calendario posteriores a la vigencia de la presente norma	1 de Enero de 2010
Máximo Azufre Total, % Masa	0,30	0,005

**Cronograma de reducción progresiva del contenido de
Azufre en el Combustible Diesel N° 2**

Año	60 días calendario posteriores a la vigencia de la presente norma	1 de Enero de 2010
Máximo Azufre Total, % Masa	0,50	0,005

**Cronograma de reducción progresiva del contenido de
Azufre en el Combustible Diesel N° 2 Especial**

Año	60 días calendario posteriores a la vigencia de la presente norma	1 de Enero de 2010
Máximo Azufre Total, % Masa	0,050	0,005

Corresponderá al OSINERG fiscalizar el cumplimiento de los referidos cronogramas.

Artículo 2°.- Prohibición a la importación de Combustibles Diesel N° 1 y Diesel N° 2 con niveles de concentración de azufre superiores a 2500 ppm

Prohibir a partir de los 60 días naturales de vigencia de la presente norma la importación de Combustibles Diesel N° 1 y Diesel N° 2 con niveles de concentración de Azufre superiores a 2500 ppm (máximo azufre total % masa 0,25).

Artículo 3°.- Posibilidad de oferta de combustible Diesel con menor contenido de Azufre.

Precisar que las cifras contenidas en el cronograma que forma parte del presente Decreto Supremo y las establecidas en las Normas Técnicas Peruanas, respecto del contenido de Azufre, constituyen sólo límites máximos y que en atención al principio de Libre Competencia previsto en la Ley Orgánica de Hidrocarburos, Ley N° 26221 y en la Constitución Política del Perú, los diversos agentes se encontrarán en plena libertad de ofertar en el mercado combustible Diesel con menor contenido de Azufre.

Artículo 4°.- Incorporación de la Norma Técnica Peruana Petróleo y Derivados. Diesel. Especificaciones. NTP 321.003.2005

Incorporar a la normatividad vigente, a partir de los 60 días naturales de la vigencia de la presente la Norma Técnica Peruana Petróleo y Derivados. Diesel. Especificaciones. NTP 321.003.2005, aprobada mediante Resolución N° 0032-2005/INDECOPI-CRT, precisándose que resultarán de aplicación para el Diesel N° 1, Diesel N° 2 y Diesel N° 2 Especial, a que se refiere la presente norma, las especificaciones contenidas en el Anexo A del Diesel N° 1, Diesel N° 2 (D2-350) y Diesel N° 2 (D2 S-50) respectivamente, excepto en los extremos referidos a las especificaciones de contenido de Azufre Total, % Masa, siendo de aplicación para tal caso los porcentajes de contenido de Azufre dispuestos en los cronogramas de adecuación establecidos en el artículo 1° de este Decreto Supremo.

Artículo 5° .- Del refrendo

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro de Energía y Minas.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los cinco días del mes de julio del año dos mil cinco.

ALEJANDRO TOLEDO

Presidente Constitucional de la República

GLODOMIRO SÁNCHEZ MEJIA

Ministro de Energía y Minas