



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN/MONAGAS/VENEZUELA**

**EVALUACIÓN TÉCNICA - ECONOMICA PARA LA
CONVERSIÓN DEL RESIDUAL PROVENIENTE DE LA DA-1 DE
LA REFINERÍA PUERTO LA CRUZ EN COMBUSTIBLES RME-
180 Y RMG-380**

REALIZADO POR:

**BRAVO BALÁN, HÉCTOR ARGENIS
C.I: 17.218.267**

Trabajo Especial De Grado Presentado Como Requisito Parcial Para Optar

**Al Título De
INGENIERO DE PETRÓLEO**

Maturín, Febrero de 2011



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN/MONAGAS/VENEZUELA**

**EVALUACIÓN TÉCNICA - ECONOMICA PARA LA CONVERSIÓN DEL
RESIDUAL PROVENIENTE DE LA DA-1 DE LA REFINERÍA PUERTO LA
CRUZ EN COMBUSTIBLES RME-180 Y RMG-380
REALIZADO POR:**

**BRAVO BALÁN, HÉCTOR ARGENIS
C.I: 17.218.267**

REVISADO POR:

Ing. Bello, Noris

Asesora Académica

Ing. Rodríguez, Agustín

Asesor Industrial

Maturín, Febrero de 2011



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN/MONAGAS/VENEZUELA**

**EVALUACIÓN TÉCNICA - ECONOMICA PARA LA CONVERSIÓN DEL
RESIDUAL PROVENIENTE DE LA DA-1 DE LA REFINERÍA PUERTO LA
CRUZ EN COMBUSTIBLES RME-180 Y RMG-380**

REALIZADO POR:

**BRAVO BALÁN, HÉCTOR ARGENIS
C.I: 17.218.267**

Aprobado por:

Ing. Bello, Noris
Asesora Académica

Ing. Calzadilla, Hortensia
Jurado Principal

Ing. Marín, Tomas
Jurado Principal

Maturín, Febrero de 2011

RESOLUCIÓN

DE ACUERDO AL ARTÍCULO 41 DEL REGLAMENTO DE TRABAJO DE GRADO:

“TODOS LOS TRABAJOS DE GRADOS SON DE EXCLUSIVA PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE Y SOLO PODRAN SER UTILIZADOS A OTROS FINES CON EL CONCENTIMIENTO DEL CONCEJO DE NÚCLEO RESPECTIVO QUIEN LO PARTICIPARÁ AL CONSEJO UNIVARSITARIO”



AGRADECIMIENTOS

A mi abuelita Beatriz Sánchez de Balán, por su dulzura, comprensión y apoyo incondicional en todas las facetas de mi vida, por ser parte fundamental en mi educación y desarrollo como persona gracias a sus consejos y alegre personalidad.

A mi Tía Milagros Balán de Rojas, por creer en mí e incentivar me con todo su positivismo a seguir adelante y no darme por vencido ante la adversidad.

Al padre que he encontrado en la persona de Joan Rojas quien me ha facilitados las cosas desde todo punto de vista por tan solo interesarse en mi bienestar.

A mis primos Joanny, Joan José, Joanna y Henry Balán Jr, Argenis Balán, Gledys Balán, a mis tíos Miguel Balán y Henry Balán y demás familiares por ser y hacerme sentí siempre y en cada momento parte de una extraordinaria familia, cumpliendo así con el sueño de nuestro inmortal orgullo Guillermo Balán permaneciendo unido a pesar de las condiciones.

Al señor Javier Aponte por creer en mí y apoyarme profesionalmente con sus conocimientos y gestiones en beneficio de la realización de este proyecto.

Al Ing. Agustín Rodríguez autor originario del título desarrollado por mi persona y por su colaboración para conmigo en la realización de este proyecto.

A la profesora Noris Bello por su apoyo, por su asesoría y por interceder por mí desde el punto de vista académico para que presente proyecto pueda ser leído desde el nivel de trabajo de grado “aprobado”.

A mi novia Rosangel Romero, por apoyarme en todo momento durante el desarrollo de esta investigación y en cada momento de mi vida.

DEDICATORIA

A quien siempre existió y existirá, de quien no se puede negar tan solo por ignorar, aquel que significa el principio y el fin, el univoco e unipotente DIOS de los hombre, al dueño de la vida y la existencia; van estas humildes e indignas líneas por recibir entre tantas bendiciones el favor de la salud y la fe.

Estas simples líneas escritas en este pequeño espacio de esta dedicatoria no reflejan los extensos capítulos que la persona más influyente en mi ha escrito en mi libro de vida pero son necesarias para dedicarle más que un logro académico, todo lo que soy: por tus enseñanzas, por tus consejos, por tu ejemplo este triunfo te pertenece a ti ya que tu lo has forjado al provocar en mi el orgullo que me causa hoy en día decir: “soy hijo de José Guillermo Balán”.

A quienes siempre han estado a mi lado, de quienes siempre he recibido apoyo y buenas enseñanzas, en quienes confió más que en mi mismo, a mi madre: Mireya Balán y a mi hermanita Argelis Bravo. Ojala la vida me permita retribuirle al menos una porción de la infinita felicidad que ustedes me han dado.

ÍNDICE

RESOLUCIÓN	iv
AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIA	vi
LISTA DE TABLAS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	2
EL PROBLEMA	2
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.2.2 Objetivos Específicos	3
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
CAPÍTULO II	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
2.2 BASES TEÓRICAS	7
2.2.1 Combustible Residual.....	8
2.2.2 Características y Usos del Combustible Residual	9
2.2.3 Definición del Fuel Oil	11
2.2.4 Clasificación y Composición del Fuel Oil.....	11
2.2.5 Principales Características que Determinan los Usos que se le Dan al Fuel Oil	12
2.2.6 Centrales Termoeléctricas	20
2.2.7 Generación de Electricidad a Través del Uso del Fuel Oil.....	21
2.2.8 Reseña Histórica del Uso de los Combustibles Bunker En la Industria Marina.....	23
2.2.9 Fundamento Legal de la Investigación.....	26
2.3 CONCEPTOS BÁSICOS.....	27
CAPÍTULO III	29
MARCO METODOLÓGICO	29
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	29
3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	29
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA	30
3.3.1 Población	30
3.3.2 Muestra	30
3.4 PROCEDIMIENTOS METODOLÓGICOS.....	30
3.4.1 Primera Etapa: Análisis de las Características del Combustible Residual Proveniente del Proceso de Destilación Atmosférica de la torre de Fraccionamiento DA-1 de la Refinería Puerto la Cruz.....	31

3.4.2 Segunda Etapa: Especificación de los Parámetros del Residual Proveniente de la Planta Destiladora DA-1 que Necesitan ser Modificados para Cumplir con los Requerimientos de calidad exigidos para los combustibles RME-180 y RMG-380	32
3.4.3 Tercera Etapa: Realización de un Análisis Técnico para la Conversión del Residual Proveniente de la Planta Destiladora DA-1 de la Refinería Puerto la Cruz en combustibles RME-180 y RMG-380	32
3.4.4 Cuarta Etapa: Evaluación Económicamente Para Identificar Cual De Los Dos Combustibles (RME-180 y RMG-380), Es El Más Adecuado Para Utilizarlo en la Generación de Electricidad	35
3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	35
3.6 RECURSOS	36
3.6.1 Recursos Humanos	36
3.6.2 Recursos Materiales	36
3.6.3 Recursos Financieros	37
CAPÍTULO IV	38
ANÁLISIS Y RESULTADOS	38
4.1 ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL RESIDUAL PROVENIENTE DEL PROCESO DE DESTILACIÓN ATMOSFÉRICA DE LA TORRE DE FRACCIONAMIENTO DA-1 DE LA REFINERÍA PUERTO LA CRUZ	38
4.2 ESPECIFICACIÓN DE LOS PARAMETROS DEL RESIDUAL PROVENIENTE DE LA PLANTA DESTILADORA DA-1 QUE NECESITAN SER MODIFICADOS PARA CUMPLIR CON LOS REQUERIMIENTOS DE CALIDAD EXIGIDOS PARA LOS COMBUSTIBLES RME-180 Y RMG-380	41
4.2.1 Gravedad API	41
4.2.2 Contenido de Contaminantes	42
4.2.3 Punto de Inflamación	42
4.2.4 Punto de Fluidez	43
4.2.5 Agua y Sedimentos	44
4.2.6 Viscosidad	45
4.3 REALIZACIÓN DE UN ANÁLISIS TÉCNICO PARA LA CONVERSIÓN DEL RESIDUAL PROVENIENTE DE LA PLANTA DESTILADORA DA-1 DE LA REFINERÍA PUERTO LA CRUZ EN COMBUSTIBLES RME-180 Y RMG-380	46
4.3.1 Mejorar la Viscosidad, del Residual Proveniente de la DA-1 Para Cumplir Con las Especificaciones de Calidad Requeridas Para el RME-180.	51
4.3.2 Mejorar la Viscosidad, del Residual Proveniente de la DA-1 Para Cumplir Con Las Especificaciones de Calidad Requeridas Para el Combustible RMG-380	57
4.4 EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA IDENTIFICAR CUAL DE LOS DOS COMBUSTIBLES (RME-180 Y RMG-380), ES EL MÁS ADECUADO PARA UTILIZARLO EN LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD	59

CAPITULO V	61
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
5.1 CONCLUSIONES.....	61
5.2 RECOMENDACIONES	62
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
APENDICES	65
HOJAS METADATOS	79

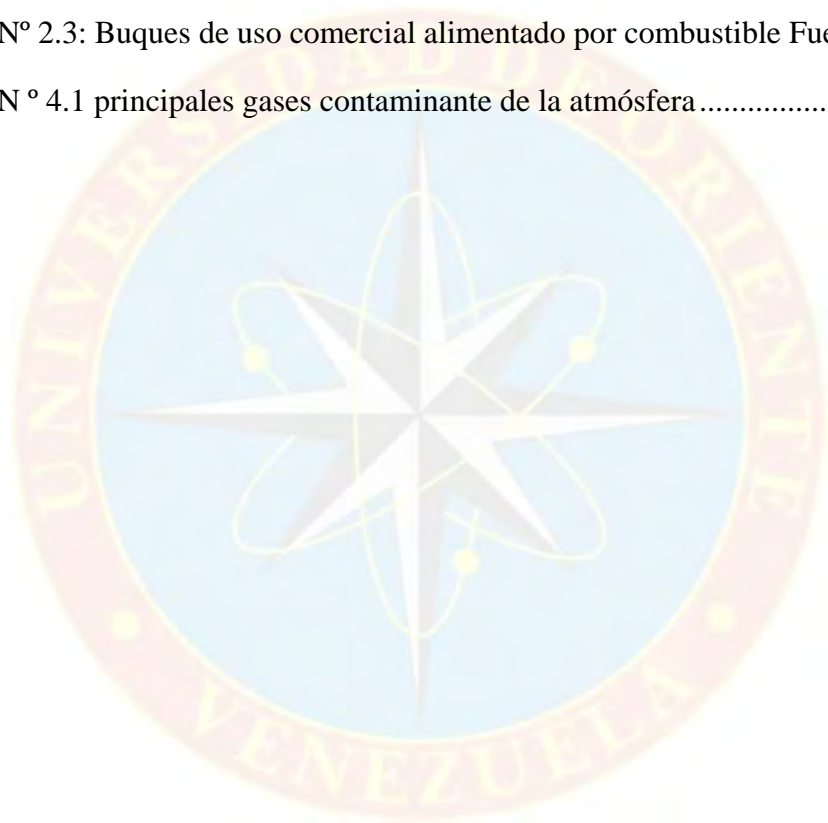


LISTA DE TABLAS

Tabla N° 2.1: Fracciones obtenidas de la refinación.....	8
Tabla N° 2.2: Clasificación del Fuel Oil según su nomenclatura.	12
Tabla N° 4.1: Especificaciones de calidad del residual.....	38
Tabla N° 4.2: Certificaciones de calidad de los combustibles residuales RME-180 y RMG-380.....	48
Tabla N° 4.3 tabla comparativa entre los parámetros del residual de la DA-1 (Fuel Oil Número 2.2) y el RME-180.....	49
Tabla N° 4.4: Especificaciones técnicas de las propiedades del Diesel Mediano.....	51
Tabla N° 4.5: tabla comparativa entre los parámetros del residual de la DA-1 (Fuel Oil Número 2.2) y el RMG-380	57
Tabla N° 4.6: costos de producción promedios del diese y del residual 2.2 para el periodo Enero-Abril de 2010 de la Refinería Puerto la Cruz en \$/Bls	61

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 2.1: Curvas de precisión para métodos con tubo de centrifuga.....	19
Figura N° 2.2: Esquema de funcionamiento de una planta termoeléctrica	22
Figura N° 2.3: Buques de uso comercial alimentado por combustible Fuel Oil	26
Figura N ° 4.1 principales gases contaminante de la atmósfera.....	47





**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN/MONAGAS VENEZUELA**

**EVALUACIÓN TÉCNICA - ECONOMICA PARA LA CONVERSIÓN DEL
RESIDUAL PROVENIENTE DE LA DA-1 DE LA REFINERÍA PUERTO LA
CRUZ EN COMBUSTIBLES RME-180 Y RMG-380**

Autor:
Br. Bravo Balán Héctor Argenis
C.I: 17.218.267
Junio de 2010

Asesora Académica:
Ing. Noris Bello
Asesor Industrial:
Ing. Agustín Rodríguez

RESUMEN

La presente investigación se realizó con la finalidad de producir un combustible para generar energía eléctrica en la Refinería puerto la Cruz. De acuerdo con los requerimientos de la empresa dichos combustibles debían generarse a partir del residual producido por una de sus torres destiladoras (DA-1), por lo que los combustibles seleccionados (RME-180 y RMG-380) a ser evaluados debieron cumplir con las normas de calidad recomendadas por el fabricante "ISO 8217" y de características similares al combustible base. Para la evaluación de los mencionados combustibles se utilizó como referencia una maquina de fabricación Wartsila, modelo: Wartsila 46 de 17 MW de capacidad. El proceso de conversión consistió básicamente en definir las proporciones de diluyente a mezclar con el residual de la DA-1. El diluyente utilizado fue Diesel mediano y se requirió de una proporción de 33% de diluyente para generar el combustible RME-180, mientras que se necesito un 8,75% de Diesel mediano para obtener el combustible RMG-380. Los resultados técnicos, así como los económicos sugieren que el combustible más adecuado para ser utilizado para la generación eléctrica es el RMG-380.

INTRODUCCIÓN

El petróleo es sometido a diferentes técnicas de refinación con el objeto de obtener un máximo de productos de gran valorización. Estos procesos se llevan a cabo en una refinería. La refinería es el lugar en donde se trata el petróleo para producir una serie de productos comercializables. La estructura de cada refinería debe tener en cuenta todas las diferentes características del crudo.

En el caso de la Refinería Puerto la Cruz la cual está constituida principalmente por tres grandes plantas destiladora (DA-1, DA-2 y DA-3), donde procesan crudos producidos en el oriente del país específicamente en los Estado Monagas y Anzoátegui de los campos Merey, Santa Barbara y Mesa. Se extraen una gran variedad de productos cuyo destino final son los grandes centros internos del país y el excedente es comercializado al exterior. Dentro de los productos que se obtienen en la Refinería Puerto la Cruz se encuentra el residual el cual después de ser tratado para purificarlo es enviado a los terminales marinos para su comercialización.

El Residual producido en la Refinería Puerto la Cruz tiene poco valor comercial en comparación con los otros productos procesados allí por tal motivo la Superintendencia de Operaciones y Servicio Industriales a tomado la iniciativa de estudiar este producto y evaluar las distintas factibilidades que permitan utilizarlo como base para la generación de un combustible más limpio y con mayor valor comercial como lo son los RME-180 y el RMG-380 los cuales podrían ser utilizado para generar electricidad y aportar una posible solución al problema energético nacional.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El residual procesado en la torre destiladora DA-1 de la Refinería Puerto la Cruz, ha sido comercializado a lo largo de la historia de este complejo de refinación como un producto que sirve de materia prima para la elaboración de otros productos más refinados y por ende con mayor valor económico. Ese estado final del residual en la Refinería Puerto la Cruz es exportado a otros países, donde este combustible sirve de base para la elaboración de otros combustibles con gran demanda en el mercado mundial como lo son los combustibles marinos utilizados como combustibles para buques y/o plantas termoeléctricas, evidenciándose de esta manera el gran potencial que tiene el residual de la Refinería Puerto la Cruz y que no es aprovechado.

Otro problema que en la actualidad afecta al país es la crisis energética, como consecuencia de la dependencia del sistema hidroeléctrico como principal fuente energética. Ante el desequilibrio climático, el cual afecta en gran medida a los embalses de agua necesarios para suplir a las plantas hidroeléctricas, se hace necesario la construcción de plantas termoeléctricas que pueda suministrar la cantidad de energía necesaria para mantener las demandas exigidas por la actividad económica de la sociedad Venezolana y como en gran medida las plantas termoeléctricas funcionan con combustibles residuales, los cuales no se produce en la

escala necesaria por los motivos de comercializaciones tradicionales ya antes mencionados, se hizo necesario evaluar las alternativas para la generación de combustibles residuales para ser utilizado por el sector eléctrico, tomando las medidas necesarias para reducir el impacto ambiental.

De igual forma con la aplicación del proyecto de “Conversión Profunda”, el cual consiste en traer petróleo de la faja petrolífera de Venezuela para ser refinados en las instalaciones del complejo de Refinación Oriente, se procesará gran cantidad de crudo pesado de una de las reservas de hidrocarburo más grandes del mundo y por tratarse de un hidrocarburo pesado de alta viscosidad y densidad, los niveles de generar residuales aumentan mucho más en proporción con el residual remanente del proceso de destilación de los crudos tradicionalmente procesados en el complejo de Refinación Oriente, todo esto anudado al aumento del requerimiento volumétrico de procesamiento de la Refinería Puerto la Cruz han motivado a la realización de este proyecto con intención de aprovechar mejor este producto.

1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 Objetivo General

Evaluar técnica y económicamente la conversión del residual proveniente de la DA-1 de la Refinería Puerto la Cruz en combustibles RME-180 y RMG-380.

1.2.2 Objetivos Específicos

Analizar las características del residual proveniente del proceso de destilación atmosférica de la torre de fraccionamiento DA-1 de la Refinería Puerto la Cruz.

Especificar los parámetros del residual proveniente de la planta destiladora DA-1 que necesitan ser modificados para cumplir con los requerimientos de calidad exigidos para los combustibles RME-180 y RMG-380.

Realizar un análisis técnico para la conversión el residual proveniente de la planta destiladora DA-1 de la Refinería Puerto la Cruz en combustibles RME-180 y RMG-380.

Evaluar económicamente cual de los dos combustibles (RME-180 y RMG-380), es el más adecuado para utilizarlo en la generación de electricidad.

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La Superintendencia de Servicios Industriales de la Refinería Puerto la Cruz con la intención de cumplir con sus compromisos de garantizar el suministro eléctrico a dicha instalación y de aportar conocimientos en el sector energético, además en cumplimiento con el marco nacional de producir soberanía tecnológica y energética, emprendió estudios para evaluar unos de los derivados del petróleo procesado en la Refinería Puerto la Cruz con el propósito de darle un uso más adecuado y que el mismo genere beneficios y ganancias económicas. Por tal razón esta investigación tuvo como fin demostrar si es posible o no producir los combustibles RME-180 y RMG-380 a partir del residual extraído en la torre de fraccionamiento DA-1 para realizar posteriores estudio que permitan darles uso a esos combustibles en el campo de generación eléctrica.

Con la intención de aprovechar lo mejor posible nuestros recursos naturales y de estar a la vanguardia en materia de desarrollo energético se pretende producir los ya mencionados combustibles en la propia Refinería Puerto la Cruz para abastecer al mercado interno permitiéndole al sector nacional contar con un combustible barato y a buen precio que pueda ser utilizadas en distintas actividades de la economía venezolana y de esta forma brindar un mayor apoyo a las industrias nacionales que requieren este tipo de combustible como lo son el sector eléctrico y la Industria naval.

Al finalizar la presente investigación se pudo describir la factibilidad que existe para generar combustibles RME-180 y RMG-380 a partir de combustible residual además se pudo determinar todos los parámetros y requerimientos necesarios para hacerlo.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

De Pablos, L. (1983). En su trabajo de doctorado titulado: “Las necesidades de fuel-oil de las compañías eléctricas en España: un modelo estocástico multivariante de ecuaciones simultáneas”, logró demostrar el impacto del plan energético nacional sobre el sector eléctrico en España, estudiando la capacidad de generación eléctrica a través de las necesidades del Fuel Oil de las compañías eléctricas. El instrumento de análisis fue un modelo estocástico multivariante de ecuaciones simultáneas obteniendo como resultados principales los requerimientos energéticos necesarios para suplir la demanda energética en España

Hontañón, E. (2001) En su trabajo titulado: “Simulación numérica del enfriamiento del Fuel Oil en los tanques el prestige”, logró presentar el estudio de simulación numérica que ha llevado acabo el CIEMAT, con el fin de predecir el enfriamiento del fuel-oil contenido en los tanques del petrolero Prestige. Para ello se definieron las propiedades físicas del fuel-oil y se elegido en base a la información disponible, procedente de distintas fuentes. El comportamiento fluidodinámico del fuel-oil en el interior de los tanques y el intercambio de calor de éste con el agua circundante se han simulado mediante un código de mecánica de fluidos computacional (Fluent 6.0). El estudio ha permitido predecir la evolución espacial y temporal de la temperatura del fuel-oil en el interior de los tanques.

2.2 BASES TEÓRICAS

Los hidrocarburos están formados por carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre. La composición media del petróleo sería 85%C, 12%H, además de varios elementos metálicos. La composición de los crudos varía dependiendo del lugar donde se han formado. Las diferencias entre unos y otros se deben, a las distintas proporciones de las diferentes fracciones de hidrocarburos.

En las refinerías el crudo pasa a convertirse en un derivado del petróleo. El proceso de refinado pretende:

- Separar el crudo en fracciones diferentes mediante destilación fraccionada o fraccionamiento del crudo.
- Convertir las fracciones que tienen una menor demanda en el mercado en otras de mayor demanda. Esto se realiza gracias a la técnica de ruptura térmica o catalítica (craqueo) conocida como craqueo térmico.
- Modificar las cadenas de carbono de las gasolinas para aumentar la calidad del carburante (reformado) y elevando el poder antidetonante de la gasolina.
- Los catalizadores de reformado tienen dos funciones químicas diferentes:
Función metálica: las reacciones que catalizan los metales (Pt, Re, Ir) en este proceso son las de hidrogenación y deshidrogenación.

Función ácida: esta función la realiza el cloro, y tiene como misión llevar a cabo las reacciones de isomerización de n-parafinas, así como catalizar algunas etapas del proceso de reformado.

- Realizar un refinado adicional para eliminar los componentes no deseados, como el azufre.

En la tabla N° 2.1 se muestran los diferentes productos que se pueden obtener del crudo:

Tabla N° 2.1: Fracciones obtenidas de la refinación.

PRODUCTO	INTERVALO DE TEMPERATURA EBULLICIÓN	APLICACIONES
Gas de refinería	<20°C	Combustible para la refinería
GLP	<20°C	Calefacción doméstica e industrial
Gasolina	40-150°C	Carburante para automóviles
Nafta pesada	150-200°C	Materia prima para productos químicos, disolventes.
Queroseno	170-250°C	Lámpara de alumbrado carburante para turborreactores
Gas Oil	250-320°C	Carburantes para motores diesel, calefacción doméstica
Fuel Oil ligero	340-401C	Combustible para buques, locomotoras, etc.
Fuel Oil pesado	400-500°C	Materia prima para lubricantes, ceras, cremas y aceites.
Asfalto	>500°C	Pavimentación, techado, impermeabilización, etc.

Fuente: www.wikipedia.com

2.2.1 Combustible Residual

Este es el residuo del proceso de refinería, lo que queda después que la refinería ha extraído todos los productos de mayor calidad como la gasolina, gasóleo, propano, butano, nafta, aceites lubricantes, entre otros. Es un líquido denso y espeso difícil de manipular, descrito como negro, de olor desagradable y muy difícil de limpiar. Es el método más rentable para almacenar y transportar energía que tenemos en la actualidad. No puede ser utilizado como es, sino que tiene que ser combinado con otros componentes para cumplir una especificación aceptable y aún así tiene que ser sometido a tratamiento a bordo del buque antes de poder ser utilizado. El combustible residual o aceite combustible preparado para su utilización en buques es denominado MFO del inglés “marine Fuel Oil” (Fuel Oil marino), IFO intermediate Fuel Oil (Fuel

Oil intermedio), o algunas veces por su viscosidad, 380 centiStokes o 180 centiStokes. Solo es idóneo para los motores más grandes y está principalmente ideado para los motores principales en buques de servicio oceánico.

2.2.2 Características y Usos del Combustible Residual

Los combustibles residuales que se obtiene de la destilación y refinación de los hidrocarburos, generalmente tiene un precio bajo por esa condición (residuo) es por esto que se prioriza su uso en aplicaciones donde el consumo de energía es importante, como las aplicaciones navales, la generación eléctrica, hornos de precalentamiento de Palanquilla.

Suele contener una presencia importante de asfáltenos, los cuales hacen indispensable su atomización para encenderlo, aunque dependiendo de la calidad de la destilación y la fecha de elaboración, se puede encender sin realizar este proceso, pero indudablemente la importante generación de humos, obliga por condiciones medioambientales, a realizar el proceso antes indicado, usualmente este atomizado va acompañado o asistido de ventiladores, que ayudan a una mejor combustión de los combustibles residuales, actualmente se han realizado un importante esfuerzo de mejoramiento en los sistemas de combustión, con el objeto de mejorar la combustión de los combustibles residuales, generalmente se lo precalienta con los gases residuales producto de la combustión optimizándola de esta manera, así como es común identificar la colocación de aditivos o elemento magnéticos que ordenan las partículas para su mejor combustión, sin embargo lo que primero se debe hacer según las buenas prácticas de ingeniería es disminuir las pérdidas de calor en el volumen de control, con este primer paso se pueden llegar a disminuir los costos en el rubro combustible, en hasta un 30 % en calderos y hornos que consumen este tipo de combustible.

En ocasiones se obtiene un “ buen combustible ” combinado el aceite quemado de los motores de combustión interna, con diesel 2 lo cual representa una alternativa ecológica para este tipo de desechos que por si son muy perjudiciales al medio ambiente en especial a las aguas de escorrentia.

Es de especial importancia el control de la viscosidad, de estos combustible, la cual debe ser de aproximadamente 300 SSF a 50 °C, así como la ausencia de agua, debido a que esta en combinación, con el azufre que normalmente viene en el combustible, produce la denominada “corrosión en frío” la cual no es otra cosa que la formación de ácido sulfúrico y sulfhídrico, que corre el metal de los escapes de la maquinaria que usa este tipo de combustibles.

El poder calórico de los combustible a base de residual es una función directa del crudo de origen pero se puede establecer un promedio de 9500 Kcal/Kg.

Suele ser una práctica común un proceso de filtrado de material particulado previo al uso de los combustibles residuales, este tipo de filtrado pretende separar elementos tales como agua, Vanadio y sodio que a temperaturas de aprox. 700 C produce corrosión en caliente, reaccionando con algunos componentes del sistema como son las válvulas de escape o turbo cargadores, el sílice y el aluminio, así como metales pesados como Cr, Pb, Mb, Mn, etc. Usualmente esto se logra mediante el uso de filtros y centrífugas que logran dichas separación con la ayuda de la fuerza del mismo nombre, evidentemente se logra también esta separación del agua dejando en reposo el Bunker en un tanque pero evidentemente el tiempo de separación es muy lento.

2.2.3 Definición del Fuel Oil

El Fuel Oil es una mezcla de hidrocarburos alifáticos y aromáticos del petróleo (benceno y derivados del benceno). Puede contener también añadidos como el nitrógeno o azufre. La composición química exacta de cada uno de los Fuel Oil variará dependiendo del origen y de otros factores. El Fuel Oil es una fracción del petróleo y se obtiene como residuo en la destilación fraccionada. De aquí se obtiene entre un 30 y un 50% de esta sustancia. Es el combustible más pesado de los que se puede destilar a presión atmosférica. Está compuesto por moléculas con más de 20 átomos de carbono, y su color es negro. El fuel Oil se usa como combustible para plantas de energía eléctrica, calderas y hornos.

Por otra parte, también se trata en procesos a menor presión para poder ser destilado y así obtener las fracciones más pesadas del petróleo, como los aceites lubricantes y el asfalto, entre otros. Es un combustible pesado para hornos y calderas industriales

2.2.4 Clasificación y Composición del Fuel Oil

El Fuel Oil, según las normas AFNOR (Asociación Francesa de Normalización) NF M 15-010 octubre 1976 se puede clasificar en:

- Fuel Oil n°1 o fuel oil doméstico
- Fuel Oil n°2 (contenido máximo en azufre: 4%) o fuel de bodega
- Fuel Oil n°2 BTS, bajo contenido de azufre (contenido máximo en azufre: 2%)
- Fuel Oil n°2 TBS, muy bajo contenido de azufre (contenido máximo en azufre: 1%)

Otra clasificación sobre los diferentes tipos de Fuel Oil es la que aparece en la Enciclopedia de contaminantes ambientales (Roy J. Irwin, National Park Service). Ver Tabla N° 2.2

Tabla N° 2.2: Clasificación del Fuel Oil según su nomenclatura.

FUEL OIL	Fuel Oil, General	Fuel Oil, General
FUEL OIL2G	Fuel Oil Número 2, General	Fuel Oil Number 2, General
FUEL OIL2H	Fuel Oil Número 2 - Calefacción	Fuel Oil Number 2 - Heating Oil

Tabla N° 2.2 (cont.)

FUEL OIL4	Fuel Oil Número 4	Fuel Oil Number 4
FUEL OIL5	Fuel Oil Número 5	Fuel Oil Number 5
FUEL OIL6	Fuel Oil Número 6	Fuel Oil Number 6
FUEL OIL6LAP	LAPIO (Fuel Oil de baja densidad)	LAPIO (Low-API gravity fuel oil, a Heavy Type of #6 Fuel Oil)

Fuente: Enciclopedia de contaminantes ambientales.

2.2.5 Principales Características que Determinan los Usos que se le Dan al Fuel Oil

2.2.5.1 Contenido de Contaminantes

La composición, términos y especificaciones de los combustibles bunker o residuales varían ampliamente de un lugar a otro tanto por geografía como por política de comercialización, por lo que están sujetos a cambios continuos en sus requerimientos y especificaciones. Muchos combustibles bunker contienen por lo menos productos residuales de hidrocarburos derivados del petróleo de bajo costo.

Fracciones de residuos de petróleo son mezcladas con varios destilados de petróleo como el diesel No. 2 o diesel marino como es el caso de la Refinería Puerto la Cruz para crear combustibles bunker con un mejor flujo y características de combustión o para suplir las especificaciones individuales de un comprador.

En general, los combustibles bunker son mezclas de hidrocarburos alifáticos principalmente viscosas y oscuras que usualmente son sólidas o semisólidas a temperatura ambiente y que requieren de un precalentamiento a varios grados antes de su uso. Los combustibles de bunker contienen niveles elevados de azufre (hasta un 5%), nitrógeno y contaminantes minerales como sodio, potasio, vanadio (hasta 200 ppm) y trazas de otros metales. Dependiendo de la fuente del aceite en crudo, del proceso de refinamiento utilizado y del contenido residual de combustibles de bunker, muchos tendrán niveles elevados de hidrocarburos aditivados.

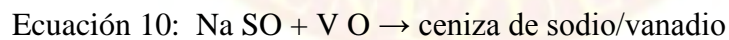
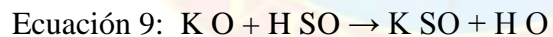
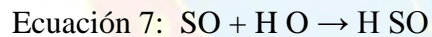
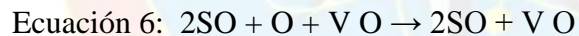
Estos combustibles se consideran sucios por ser contaminantes del medio ambiente. La mayoría de las objeciones ambientales se deben al alto contenido de azufre (hasta un 5%) y el contenido mineral concentrado que es responsable de las emisiones de partículas contaminantes, corrosión ácida y formación de óxido. Los principales contaminantes metálicos son sodio, potasio y vanadio (hasta 200 ppm) y algunas veces aluminio, silicón, cobre y níquel. Los metales generalmente están presentes como nitrógeno, especialmente el vanadio, conteniendo quelatos porfirinicos heterocíclicos solubles en el combustible que no pueden ser removidos del combustible de una forma económica. Los depósitos de ceniza y la corrosión en caliente ocurren durante el proceso de combustión cuando los diversos componentes con azufre y los contaminantes metálicos se oxidan. El azufre se oxida a dióxido de azufre.



El vanadio se oxida a óxidos de vanadio.



El pentóxido de vanadio, es el producto final de la oxidación descontrolada del vanadio (véase las Ecuaciones 4 y 5), actúa como un catalizador para convertir el dióxido de azufre en trióxido de azufre (véase la Ecuación 6) que reacciona con el agua producida durante el proceso de combustión produciendo ácido sulfúrico (véase la ecuación 7). El ácido sulfúrico luego reacciona con los óxidos de sodio y potasio para formar los sulfatos metálicos (véase las Ecuaciones 8 y 9). El sulfato de sodio y el pentóxido de vanadio pueden combinarse para formar un líquido pegajoso eutéctico con un punto de ebullición tan bajo como 300° C (véase la Ecuación 10).



Este depósito de vanadio pegajoso transporta oxígeno a la superficie metálica del equipo causando una corrosión rápida y severa al equipo. Estos depósitos evitan la transferencia eficiente del calor en aplicaciones de llama abierta y fricción en aplicaciones de combustión interna. El efecto completo es un desgaste excesivo y pérdida en la eficiencia del combustible tanto en llama abierta como en el equipo de combustión interna.

Los óxidos de azufre y la corrosión final en frío se relacionan directamente con el contenido de vanadio y de azufre en los combustibles de bunker. El pentóxido de vanadio es un catalizador eficiente en la conversión de dióxido de azufre a trióxido de azufre (véase Ecuación 6). El trióxido de azufre reacciona con el agua producto de la combustión para formar ácido sulfúrico (véase la Ecuación 7) que luego se condensa en superficies frías del equipo. El ácido sulfúrico no es solamente altamente corrosivo sino que también actúa como una trampa para los depósitos de nano-carbón. El ácido sulfúrico corroe las superficies metálicas de las paredes donde se intercambia el calor en las calderas y economizadores en equipos de llama abierta y arrastra partículas abrasivas y corrosivas dentro del aceite lubricante del equipo de combustión interna provocando la formación de ácido y deterioro del aceite lubricante.

2.2.5.2 Punto de Inflamación

Todos los productos del petróleo queman y bajo ciertas circunstancias sus vapores se encienden con una violenta explosión. Sin embargo, para que esto ocurra, la cantidad de vapor en el aire debe estar comprendida bajo ciertos límites.

Cuando un producto líquido del petróleo es expuesto al aire, algunos de sus vapores, causan una cierta concentración de vapor y aire. Cuando la temperatura del líquido es elevada, más y más vapores son producidos, aumentando la relación vapor-aire puede mantener momentáneamente una combustión, si una fuente de ignición esta presente. Esta temperatura es el punto de inflamación el cual es un parámetro muy importante para todos los propósitos prácticos debido a que un líquido del petróleo no debe quemar, antes de ser vaporizado. Cuando se logra una concentración suficiente de vapores con el oxígeno del aire una mezcla puede ser inflamada, por una bujía o una llama. La mezcla solo puede ser encendida cuando la concentración del vapor del combustible con respecto al aire no es menor de 1% ni mayor de 6 % en volumen, con relación al aire. Una mezcla que tenga más de 6% de vapor de

combustible, se convierte en un peligro de explosión a menos que sea ventilada para que se admita una mayor cantidad de aire.

Es importante estudiar la relación que existe entre los puntos de combustión y de inflamación con respecto al punto de auto-ignición debido a que una combustión espontánea incluye, no solamente la volatilidad sino también la temperatura necesaria para precipitar una reacción química (combustión) sin una fuente externa de ignición. Aunque un producto de petróleo más volátil tiene punto de combustión y de inflamación más bajos, la temperatura de auto-ignición ASTM es generalmente más alta. Es muy importante tenerlo en cuenta ya que los productos Fuel Oil son utilizados como combustibles para generar calor en plantas termoeléctricas y normalmente son calentados en trenes de calentamiento sin fuentes de ignición directa y por ser un combustible de alto punto de inflamación puede provocar una temprana auto-ignición.

2.2.5.3 Punto de Fluidez

Es útil conocer hasta qué temperatura un fluido de petróleo puede llegar, antes de perder sus características de fluido. Esta información debe ser considerada con mucha importancia, por las variaciones existentes en este aspecto entre distintos fluidos, aun entre aquellos que tienen viscosidades similares. Por ejemplo si un aceite lubricante es lo suficientemente enfriado, este alcanzará una temperatura a la cual no fluirá más, bajo la influencia de gravedad. Esta condición puede ser causada tanto por el espesamiento del aceite que por lo general va acompañado de la reducción de la temperatura, como también por la cristalización de los materiales parafínicos que están contenidos en el aceite y que pueden reducir el flujo de las partes fluidas. Para muchas aplicaciones un aceite que no fluya por sí mismo a una baja temperatura, no dará una lubricación satisfactoria. El rango hasta el cual un aceite puede ser enfriado,

es llamado punto de fluidez, la temperatura más baja a la cual un aceite puede fluir desde su recipiente, por sí mismo.

2.2.5.4 Agua y Sedimento

Si un combustible de petróleo debe ser quemado en una caldera, la materia extraña dentro del es indeseable. Cantidades excesivas de estas impurezas como agua o sólido contaminantes, pueden interrumpir la operación de la unidad y algunas veces dañarla.

En la industria los sedimentos afecta la operaciones de refinado a las cuales pueden verse sometido un crudo ya que estos generan incrustaciones y taponamientos en los tanques de almacenamientos y líneas de flujo, además de dañar los quemadores cuando es utilizado directamente o en fracciones derivadas de este.

A nivel internacional se a establecido que los crudos para poder ser comercializados deben poseer un porcentaje de agua menor a 1% y en crudos destinados a operaciones de refinación este debe ser menor a 0.7%. Aquellos crudos que poseen un porcentaje de agua que exceden el 1%, presentan problemas de corrosión en los tanques y líneas de flujo ya que el agua arrastra sales disueltas como sulfatos y carbonatos.

Para calcular el porcentaje de agua y sedimento normalmente se emplea el método de la centrifugación el cual consiste en separar el contenido de agua y sedimento de una muestra representativa del crudo a través de la aplicación de fuerza centrífuga. En los laboratorios de la Refinería Puerto la Cruz se determina este parámetro según el procedimiento establecido en la Norma Covenin 2706-90, la cual establece que para la aplicación de este método se debe introducir en la centrifugadora dos tubos de ensayos con una mezcla entre el fluido en estudio y un

solvente que para el caso de la Refinería Puerto la Cruz se utiliza el tolueno. Los tubos de ensayos de 100ml de capacidad deben colocarse a cada extremo de la centrifugadora y antes de ser introducidos allí deben ser precalentados previamente en un baño de María con una temperatura de $(49 \pm 1) ^\circ \text{C}$ ($120 \pm 2) ^\circ \text{F}$ durante 10 minutos. Luego es sometido a un proceso de centrifugación de 10 minutos de duración con una fuerza centrífuga relativa de 500 a 800. Posteriormente los tubos de ensayos son extraídos son medidos su volúmenes, son agitados y nuevamente sometidos al procesos de centrifugación luego de ser previamente calentados hasta que los resultados sean lo mas claros posibles.

Para juzgar la aceptabilidad de los resultados (95% de probabilidad). Se deben seguir los siguientes criterios. Repetibilidad: los resultados por duplicado obtenidos por un operador se consideran dudosos si difieren en mas de los valores indicados en las curvas de repetibilidad de la figura N° 2.1

Reproducibilidad: los resultados presentados por dos laboratorios distintos se considerarán dudosos, si difieren en más de los valores señalados en la curva de reproducibilidad de la figura N° 2.1

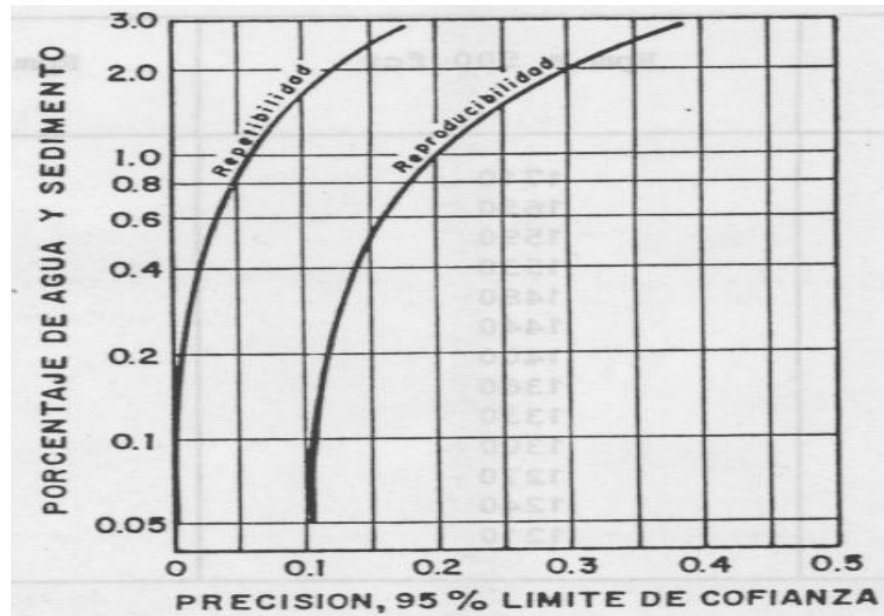


Figura N° 2.1: Curvas de precisión para métodos con tubo de centrifuga.

Fuente: Norma Covenin 2706-90

Es importante señalar que al igual que para muchas otras pruebas, la determinación del porcentaje de agua y sedimento da resultados que deben ser interpretados con base a experiencias previas. Es cierto que cantidades grandes de agua y sedimentos pueden provocar problemas en casi cualquier aplicación. Sin embargo, las diferentes aplicaciones pueden tolerar concentraciones diferentes de impurezas. Además, cantidades de agua y sedimento determinada por varios procedimientos no son iguales

2.2.5.5 Viscosidad

Es una medida de la resistencia a fluir de un líquido. La viscosidad de los crudos varía ampliamente desde fluidos como el agua hasta sólidos que no pueden moverse sin calentamiento. Una baja viscosidad indica generalmente alto

rendimiento en nafta o diesel, y una alta viscosidad indica alto rendimiento en asfalto, pero en ningún caso da indicación de calidad.

El parámetro de viscosidad se utiliza en el diseño de tuberías de yacimientos y los ductos y bombas entre el almacenaje en refinerías y las instalaciones de procesamiento.

Existen diferentes métodos de laboratorio para determinar este parámetro, y se trabaja a distintas temperaturas, teniendo en cuenta que el flujo del fluido sea constante y no obture los tubos.

Actualmente se utiliza mas la viscosidad cinemática (A.S.T.M.. D-445), pues existe una relación lineal entre el logaritmo de la inversa de la temperatura y el logaritmo de la viscosidad a dicha temperatura, que permite inferir teóricamente datos, si se cuenta con dos puntos de dicha recta (Ley de Walther).

La viscosidad cinemática se determina con pipetas viscosimétricas que se suspenden directamente en un baño de temperatura constante. La serie de pipetas cubre un amplio rango de viscosidad. Estas pipetas tienen mayor exactitud, usan una pequeña cantidad de muestra, pero deben estar bien calibradas.

2.2.6 Centrales Termoeléctricas

Una central termoeléctrica o central térmica es una instalación empleada para la generación de energía eléctrica a partir de la energía liberada en forma de calor, normalmente mediante la combustión de combustibles fósiles como petróleo, gas natural o carbón. Este calor es empleado por un ciclo termodinámico convencional para mover un alternador y producir energía eléctrica.

2.2.7 Generación de Electricidad a Través del Uso del Fuel Oil

El funcionamiento de todas las centrales térmicas, o termoeléctricas, es semejante. Para el caso del Fuel Oil este es almacenado en parques o depósitos adyacentes, desde donde se suministra a la central, pasando a la caldera.

Una vez en la caldera, los quemadores provocan la combustión del fuel-oil generando energía calorífica. Esta convierte a su vez, en vapor a alta temperatura el agua que circula por una extensa red formada por miles de tubos que tapizan las paredes de la caldera.

Este vapor entra a gran presión en la turbina de la central, la cual consta de tres cuerpos de alta, media y baja presión, respectivamente unidos por un mismo eje.

En el primer cuerpo (alta presión) hay centenares de álabes o paletas de pequeño tamaño. El cuerpo a media presión posee así mismo centenares de álabes pero de mayor tamaño que los anteriores. El de baja presión, por último, tiene álabes aún más grandes que los precedentes. El objetivo de esta triple disposición es aprovechar al máximo la fuerza del vapor, ya que este va perdiendo presión progresivamente, por lo cual los álabes de la turbina se hacen de mayor tamaño cuando se pasa de un cuerpo a otro de la misma., Hay que advertir, por otro lado, que este vapor, antes de entrar en la turbina, ha de ser cuidadosamente deshumidificado. En caso contrario, las pequeñísimas gotas de agua en suspensión que transportaría serían lanzadas a gran velocidad contra los álabes, actuando como si fueran proyectiles y erosionando las paletas hasta dejarlas inservibles.

El vapor de agua a presión, por lo tanto, hace girar los álabes de la turbina generando energía mecánica. A su vez, el eje que une a los tres cuerpos de la turbina (de alta, media y baja presión) hace girar al mismo tiempo a un alternador unido a

ella, produciendo así energía eléctrica. Esta es vertida a la red de transporte a alta tensión mediante la acción de un transformador.

Por su parte, el vapor ya debilitada su presión es enviado a unos condensadores. Allí es enfriado y convertido de nuevo en agua. Esta es conducida otra vez a los tubos que tapizan las paredes de la caldera, con lo cual el ciclo productivo puede volver a iniciarse.

Para minimizar los efectos de la combustión del Fuel Oil sobre el medio ambiente, la central posee una chimenea de gran altura las hay de más de 300 metros , que dispersa los contaminantes en las capas altas de la atmósfera, y precipitadotes (que retienen buena parte de los mismos en el interior de la propia central.). En la figura N° 2.2, se muestra un esquema de funcionamiento de una planta termoeléctrica.

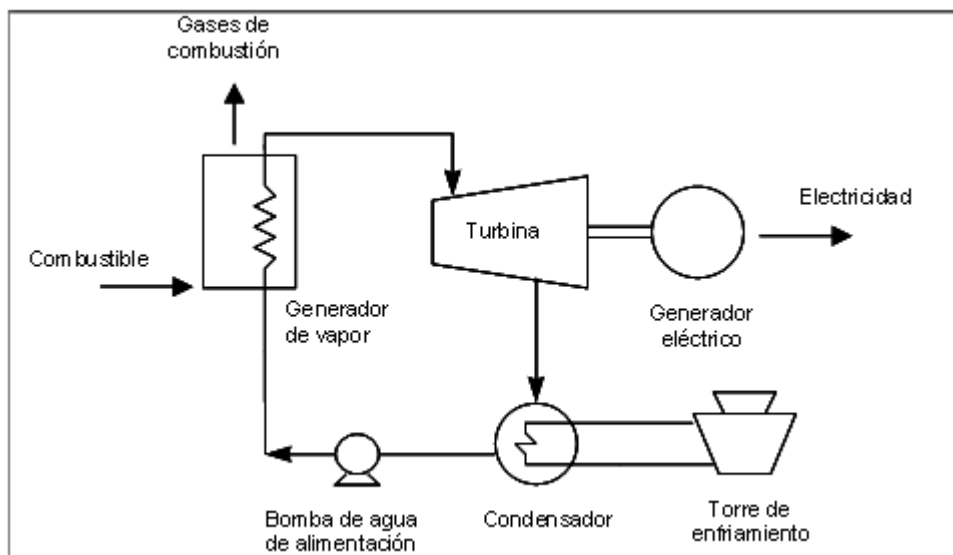


Figura N° 2.2: Esquema de funcionamiento de una planta termoeléctrica
Fuente: Instituto Nacional de Ecología

2.2.8 Reseña Histórica del Uso de los Combustibles Bunker En la Industria Marina

El término "bunkers" es el nombre genérico inglés que significa los combustibles marinos usados por los buques para su consumo y propulsión. El uso original de este término comenzó con el empleo del carbón como combustible para las calderas en los primeros buques propulsados por vapor. El carbón estaba entonces almacenado a bordo por alguno de los laterales de la sala de calderas, y de estos compartimientos eran llamados en inglés "Coal Bunkers" (carboneras). Este era el mismo término usado para el almacenaje de carbón en tierra. Los marineros nunca usan dos palabras cuando una es suficiente, por tanto comenzaron a llamar a este espacio de almacenaje simplemente "bunker" (carbonera) y su contenido (carbón) fue denominado "bunkers" (combustibles).

Para finales del siglo XIX, ya existía un gran número de buques mercantes y de la armada propulsados por vapor. Se abastecían de carbón en los puertos donde cargaban y descargaban mercancías, y también en puertos intermedios sobre su ruta, donde se establecieron depósitos exclusivos para el suministro de carbón combustible. Estos depósitos eran llamados estaciones de carboneo o estaciones de abastecimiento de combustible, y para los buques de la marina mercante llegó a ser una práctica normal denominar la labor de abastecerse de combustible con la conocida palabra inglesa 'bunkering', en la actualidad lo que se llama en español abastecimiento de combustible marino líquido.

A principios del siglo XX, un empresario británico llamado Weetman Pearson, más adelante conocido por el título honorífico de Lord Cowdray, tenía una participación muy alta en ciertos yacimientos petrolíferos y refinerías en México (Mexican Eagle), y en 1909 estableció una flota de petroleros con objeto de

transportar el hidrocarburo a EE.UU. Ya había comenzado a usar fuel oil en las locomotoras ferroviarias que transportaban sus mercancías. Se dio cuenta de las posibles ventajas respecto al ahorro de mano de obra, el espacio adicional disponible para mercancías y la eficacia que aportaba el uso de los hidrocarburos en las calderas de sus buques, y estos buques tanque fueron diseñados para quemar ambos combustibles hidrocarburos y carbón. Como podía conseguir suficiente hidrocarburo en sus puertos de carga para la travesía completa, los buques apenas usaban carbón.

El uso de fuel oil repercutió en la desaparición de los grupos de fogoneros que llenaban el horno de carbón a pala. El combustible hidrocarburo ocupaba un espacio más pequeño a bordo para cubrir la misma distancia, y el coste promedio por milla resultaba mucho más bajo. No tardó mucho para que estas actividades de Pearson fueran observadas por otros, y dos personajes vieron las posibilidades de grandes ventajas para ellos. Sir Marcus Samuel, el fundador de Shell, estaba transportando y refinando hidrocarburos por todo el mundo, pero se dio cuenta que al mismo tiempo que proporcionaba a sus clientes la gasolina y keroseno que le pedían, a él le sobraban grandes cantidades de fuel oil en una variedad de localidades para las que necesitaba crear una demanda.

Por otra parte, el Almirante John Fisher era por aquel entonces el Comandante de la Flota Mediterránea y más adelante Primer Señor del Mar de la Real Armada Británica. Por su influencia se consiguió adoptar los buques de guerra de la clase Dreadnaught y Super Dreadnaught de aquella época, y comprendió las ventajas del combustible hidrocarburo en cuanto a mano de obra, espacio y coste. Ambos ejercieron presión sobre su amigo Sir Winston Churchill, Primer Señor del Almirantazgo, para facilitar el cambio del carbón a hidrocarburos por la armada británica.

Esta presión fue seguida por mucha intriga política además de cierta interferencia considerable por parte de la compañía que más adelante sería BP. El descubrimiento de que Alemania estaba también intentando el mismo cambio acabó con la oposición política. El contrato no podía ser otorgado a Shell por el gobierno británico porque en esos momentos Shell ya era una empresa Anglo-Holandesa. Por tanto, el contrato fue a las manos de British Petroleum, ahora BP. Sin embargo, como BP no contaba con recursos suficientes para suministrar el volumen requerido, un contrato adicional para la gran parte del suministro fue a las manos de Shell.

El contrato exigía el establecimiento de depósitos de combustible para los buques de guerra británicos en las mismas localidades donde la armada ya tenía sus estaciones existentes de carboneo. Este cambio, emulado luego por otras importantes armadas del mundo, estableció (con el dinero de los contribuyentes de impuestos) una red de estaciones de 'abastecimiento' de fuel oil por todo el mundo además de la infraestructura necesaria para llenar los depósitos de almacenaje en las estaciones y trasladar el hidrocarburo a los buques.

Pasada la Primera Guerra Mundial, el acceso a estas estaciones de abastecimiento facilitó el aprovechamiento de las ventajas del combustible hidrocarburo por los buques de la marina mercante, consiguiendo con ello mayor distancia, tripulaciones más reducidas y creando una mayor eficiencia. La mayoría de las estaciones de abastecimiento de combustible marino eran propiedad y estaban operadas por las compañías que hoy llamamos las Grandes Petroleras, en muchos casos con el arrendamiento de sus instalaciones cedido por las autoridades coloniales (Gibraltar, Adén y Ciudad del Cabo son todos buenos ejemplos). La marina mercante comenzó a cambiarse al combustible hidrocarburo con mucha rapidez y, para 1940, casi la mitad de todos los buques eran propulsados por hidrocarburo.

Llegado el 2000, existían en servicio por el mundo menos de 12 buques mercantes propulsados por carbón, y estos operaban desde puertos de carboneo donde siempre tenían combustible disponible (en la costa de Australia y en la zona de los Grandes Lagos de Norteamérica).

Los primeros buques propulsados por vapor estaban dotados de calderas donde el carbón era quemado en una parrilla abierta, con un grupo de fogoneros que se ocupaban de encender y atizar el horno y recoger las cenizas. Las técnicas que requería el trabajo en las bodegas del horno y caldera era parte del entrenamiento de un marinero mercante. Incluso en 1966, los aprendices tenían exigido pasar cierto tiempo aprendiendo a encender y atizar una caldera. Los buques modernos propulsados por carbón tienen bodegas de encendido y atizado automático, como las modernas centrales eléctricas en tierra. En la figura N° 2.3, se muestra un Buque de uso comercial



Figura N° 2.3: Buques de uso comercial alimentado por combustible Fuel Oil
Fuente: w.w.wcathelco.com

2.2.9 Fundamento Legal de la Investigación

La presente investigación por estar orientada a la elaboración de combustibles residuales con el fin de ser utilizados para la generación de energía eléctrica, cumple con las regulaciones planteadas en el protocolo de Kyoto donde se establecen límites de emisiones de gases de combustión principalmente del CO₂. Por tal motivo las

características de los parámetros a considerar para la realización de la conversión fueron basadas en la norma iso 8217 la cual cumple con los señalamientos de mitigación de CO₂ planteados en dicho tratado. También cumple con el decreto 638 donde se establecen las normas de regulaciones de gases contaminantes para mantener el aire limpio en Venezuela.

2.3 CONCEPTOS BÁSICOS

Aditivo Para Combustible: Es una sustancia química agregada a un producto para mejorar sus propiedades, en el caso de los combustibles dicha sustancia es utilizada en pequeñas cantidades añadida durante su elaboración por el fabricante, para cambiar las características del mismo y para mejorar sus propiedades.

Destilación: es la operación de separar, mediante vaporización y recondensación, los diferentes componentes líquidos o licuados de una mezcla, aprovechando los diferentes puntos de ebullición (temperaturas de ebullición) de cada una de las sustancias heterogéneas.

Destilación Atmosférica: en la ingeniería del petróleo, es la destilación que se realiza a una presión cercana a la atmosférica. Se utiliza para extraer los hidrocarburos presentes de forma natural en el crudo, sin afectar a la estructura molecular de los componentes.

Destilación a Vacío: es la operación complementaria de destilación del crudo procesado en la unidad de destilación atmosférica, que no se vaporiza y sale por la parte inferior de la columna de destilación atmosférica. El vaporizado de todo el crudo a la presión atmosférica necesitaría elevar la temperatura por encima del

umbral de descomposición química y eso, en esta fase del refino de petróleo, es indeseable

Refinación o Refino: es el proceso de purificación de una sustancia química obtenida muchas veces a partir de un recurso natural.

Refinería: es una planta industrial destinada a la refinación del petróleo, por medio de la cual, mediante un proceso adecuado, se obtienen diversos combustibles fósiles capaces de ser utilizados en motores de combustión: gasolina, gasóleo, etc. Además, y como parte natural del proceso, se obtienen diversos productos tales como aceites minerales y asfaltos.

Residuo Atmosférico: Es la fracción más pesada del crudo, por lo que se le denomina también crudo reducido y se utiliza como alimentación a la unidad de destilación a vacío.

Residuo de Vacío: se puede utilizar como asfalto o bien someterlo a altísimas temperaturas en las unidades de coque en las que se producen componentes más ligeros y carbón de coque que puede calcinarse para formar carbón verde. Este residuo de vacío también puede ser usado para fabricar fuelóleo, bien directamente o previa su conversión térmica en unidades de viscorreducción.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Considerando que la presente investigación tuvo como objetivo caracterizar todos los procesos necesarios para convertir el residuo atmosférico proveniente de la torre de fraccionamiento DA-1 en productos con mayor valor comercial en este caso los combustibles RME-180 y RMG-380 a través de un estudio meticuloso de las características y propiedades de la materia prima base. Se pudo afirmar que la presente investigación es de tipo descriptiva como consecuencia de los estudios característicos y en detalle realizados para así cumplir con los objetivos planteados, la investigación descriptiva según Áreas, Fidias (2006) la investigación descriptiva “...consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno. Individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento...” (p.24)

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación se considera de campo debido a que se obtuvieron datos directamente de las fuentes de estudio con el fin de darle el mayor soporte técnico posible a la investigación realizada. Según Áreas, Fidias (2006) “... La investigación de campo es aquella que consiste en la colección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios, sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información pero no altera las condiciones existentes...” (p.31)

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1 Población

Según Áreas Fidias (2006) "...la población o universo se refiere al conjunto para el cual serán validas todas las conclusiones que se obtengan: a los elementos o unidades (personas, instituciones o cosas) involucradas en la investigación..." (p.32). siguiendo esos lineamiento se definió a la población como "todas las instalaciones del complejo de Refinación Oriente."

3.3.2 Muestra

Para la presente investigación se consideró a la muestra igual a la población, debido a que el estudio estuvo relacionado con todas las instalaciones de la refinería cumpliendo así con lo plateado por Áreas Fidias "...la muestra es un subconjunto representativo de un universo o población..." (p.32)

3.4 PROCEDIMIENTOS METODOLÓGICOS

Para alcanzar cada uno de objetivos planteados en esta investigación se procedió a establecer un plan de acción de cumplimiento de los objetivos ya mencionados a continuación se describe cada uno de ellos:

3.4.1 Primera Etapa: Análisis de las Características del Combustible Residual Proveniente del Proceso de Destilación Atmosférica de la torre de Fraccionamiento DA-1 de la Refinería Puerto la Cruz

Esta etapa se realizó con el propósito de describir todas las características necesarias del residual de la DA-1 que sirvan para un posterior análisis de las mismas con la intención de cumplir con el desarrollo de la investigación para ello fue necesario recurrir a los siguientes apoyos de datos y documentos:

- Evaluación de investigaciones similares: se hizo con la intención de estudiar la similitudes que existieron entre el fluido de estudio para aquellos trabajos y el fluido base de estudio para la presente investigación, para de tal forma buscar similitudes entre ambos y poder utilizar algunos datos técnicos que sirvan para caracterizar o describir el fluido en estudio.
- Revisión de documentos teóricos: se recurrió a fuentes tanto impresas como digital donde se pudo encontrar información acerca del fluido base de estudio y se establecieron escenarios acerca de la manipulación y procesamientos del fluido estudiado que sirvieron de aporte teórico para la investigación.
- Recopilación de data técnica en laboratorio: esto permitió conocer todas las características del fluido las cuales incluyen sus propiedades físicas y químicas se recopiló toda la información o registro de la data del fluido determinada en los laboratorios de la empresa para así poder caracterizar y definir todos los parámetros que fueron necesarios para poder describir las características más importantes del residual extraído de la Torre de Fraccionamiento DA-1.
- Estudios de planos y procesos de planta: para describir todo el proceso por el cual pasa el fluido antes y después de ser comercializado fue necesario estudiar

los procedimientos por los cuales este fluido pasó para ser tratado y estudiado antes de ser comercializado.

3.4.2 Segunda Etapa: Especificación de los Parámetros del Residual Proveniente de la Planta Destiladora DA-1 que Necesitan ser Modificados para Cumplir con los Requerimientos de calidad exigidos para los combustibles RME-180 y RMG-380

Con la intención de realizar un análisis técnico fue necesario definir en primera instancia cuales fueron los parámetros seleccionados para el estudio, dichos parámetros fueron seleccionados de acuerdo a las características críticas tomadas como referencias por las normas internacionales por la cual se rige PDVSA. Una vez identificados todos los parámetros que fueron tomados en cuenta se procedió a describir las características que posee el residual de la planta y como se determinan sus propiedades y bajo cuales métodos de laboratorios se realizan.

3.4.3 Tercera Etapa: Realización de un Análisis Técnico para la Conversión del Residual Proveniente de la Planta Destiladora DA-1 de la Refinería Puerto la Cruz en combustibles RME-180 y RMG-380

Una vez definidos los parámetros del residual proveniente de la torre de destilación DA-1 y caracterizados todas sus propiedades se procedió a realizar un análisis técnico basado en un estudio detallado de todas las propiedades descrita en los procedimientos anteriores estos estudios se hicieron en el siguiente orden:

- Comparación de las características del residual de proveniente de la DA-1 de la Refinería Puerto la Cruz con las características de los combustibles RME-180 y RMG-380: el primer paso para cumplir con este procedimiento fue obtener las

especificaciones de calidad tanto de los combustibles RME-180 y RMG-380 de acuerdo a la Norma internacional ISO 8217 “productos del petróleo – Especificaciones de combustibles marinos”. Una vez definidos las magnitudes de las propiedades tanto del RME-180 como del RMG-380 se compararon los “certificados de calidad” de cada uno de ellos con la del residual, que son fichas técnicas donde aparecen las proporciones composicionales necesarias para cumplir con los requerimientos de los clientes así como también las proporciones de contaminantes que contienen dichos productos. Todas las acciones descritas anteriormente se realizaron con el propósito de detectar cuales son los componentes del residual que se deben eliminar y cuales propiedades se debieron mejorar para evaluar la factibilidad de la conversión de los combustibles antes mencionados.

- Realizar los cálculos de aditivación para mejorar las propiedades de residual que fueron necesarias para cumplir con las especificaciones de calidad de cada combustible: para este procedimiento fue necesario utilizar las ecuaciones matemáticas aplicadas por los ingenieros de procesos de la Refinería Puerto la Cruz para definir que tipos de aditivos y proporciones se le debieron agregar al residual para mejorar sus propiedades hasta poder ubicarlas en el rango tolerable para cada combustible de acuerdo a la norma ISO 8217.

Es importante señalar que dichos cálculos se realizaron de acuerdo a unas ecuaciones matemáticas que dependiendo de la propiedad en estudio estas pueden ser de variación lineal con la mezcla de acuerdo a la masa, de variación lineal con la mezcla de acuerdo al peso o de variación no lineal con la mezcla. Dentro de las propiedades que varían linealmente con la mezcla en volúmenes tenemos: la gravedad específica, el número o índice de cetano, la presión de vapor de Reid, el índice de bloqueo de vapor contenido de N+A. Las que varían linealmente con la mezcla en peso son: azufre, metales y demás contaminantes. Mientras que dentro de las

propiedades que no varían linealmente con la mezcla se tiene: la viscosidad, punto de inflamación punto de fluidez, punto de turbidez. Para cada condición de variación de mezcla existe un procedimiento definido para calcular la propiedad resultante de la mezcla. A continuación se procederá a explicar cada uno de dichos procedimientos.

3.4.3.1 Procedimientos a Seguir Para el cálculo de las Propiedades que Mezclan Linealmente en Volumen

La cantidad de la mezcla se calculó aplicando la siguiente relación:

$$\text{Ecuación 11: } C_m = \sum (X_i/100).C_i,$$

Donde:

X_i = % en volumen del componente i

C_i = propiedad a mezclar del componente i

C_m = calidad resultante.

3.4.3.2 Procedimientos a Seguir Para el Cálculo de las Propiedades que Mezclan Linealmente En Peso

La calidad de la mezcla se calculó aplicando la siguiente relación:

$$\text{Ecuación 12: } C_m = \sum G_{e_i} . (X_i/100).C_i,$$

Donde:

G_{e_i} = gravedad específica del componente $i = 141.5/131.5 + \text{API}$

3.4.3.3 Procedimientos a Seguir Para el Cálculo de las Propiedades que No Mezclan Linealmente

Para estas propiedades se siguió el siguiente procedimiento:

- Buscar el índice de mezcla de cada componente en la las tablas.
- Mezclar linealmente en volumen los índices de mezcla siguiendo el procedimiento explicado en el punto 3.4.3.1
- Buscar en las tablas el valor de la propiedad correspondiente al índice de mezcla calculado en el punto 3.4.3.1

3.4.4 Cuarta Etapa: Evaluación Económicamente Para Identificar Cual De Los Dos Combustibles (RME-180 y RMG-380), Es El Más Adecuado Para Utilizarlo en la Generación de Electricidad

Para la futura aplicación de esta investigación fue necesario tener en cuenta el beneficio económico que el mismo puede aportar, por lo tanto se procedió a realizar una evaluación económica donde a través de los indicadores económicos más adecuado, se realizó un análisis que determinó cual de los dos combustible es el más adecuado para la generación de electricidad.

3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Para la realización de la presente investigación fue necesario emplear diversas técnicas e instrumento para la recolección de datos. Las técnicas que fueron empleadas para la recolección de datos incluyeron las entrevistas informales las cuales se realizaron a los operadores de plantas, a los técnicos de laboratorios y

personal técnico en general para ello se uso como instrumento un papel sin ningún formato específico donde se pudo plasmar toda la información de interés obtenida..

Para la obtención de la documentación teórica se procedió a emplear como técnica, recolectar toda la información pertinente de registros anteriores empleado como recursos los libros, tesis, trabajos, proyectos que contenían la información necesaria por cualquier medio sea impreso o digital

También se empleo como técnica de recolección de datos la observación directa a través de la cual se pudo obtener información de acuerdo a la apreciación personal, siempre validando tales observaciones con la apreciación del personal especializado de la empresa.

3.6 RECURSOS

3.6.1 Recursos Humanos

Dentro de los recursos humanos necesarios para realizar de esta investigación, se contó a todo el personal técnico con competencia en el área de destilación y proceso de la DA-1 conformado por técnicos de laboratorio, Ingenieros de procesos y custodios de plantas. De igual forma se contó con el apoyo académico de los profesores de la Escuela de Ingeniería de Petróleo de la Universidad de Oriente Núcleo de Monagas.

3.6.2 Recursos Materiales

Se empleo como principales recursos materiales los siguientes: uso de recursos de oficina dentro de los cuales se encontraron: computadora y sus accesorios,

fotocopiadoras, papel. También se emplearon las carpetas y formatos propios de la empresa.

3.6.3 Recursos Financieros

La empresa PDVSA a través de la Refinería de Puerto la Cruz proporciono todos los recursos económicos para la realización de la presente investigación.



CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL RESIDUAL PROVENIENTE DEL PROCESO DE DESTILACIÓN ATMOSFÉRICA DE LA TORRE DE FRACCIONAMIENTO DA-1 DE LA REFINERÍA PUERTO LA CRUZ

En la unidad DA-1 se procesa crudo 100% Mesa, obteniéndose diversos productos entre los cuales se encuentra el residual, cuya producción es almacenada en los tanques 250x1/2/4/5 y comercializado como combustible Fuel Oil para mercado interno y externo bajo las especificaciones de calidad que se muestran a continuación:

Tabla N° 4.1: Especificaciones de calidad del residual.

Análisis	Unidad	Mínimo	Máximo	Método
contenido de aluminio	ppm	N/A	30	A.A.
Gravedad API @ 60 ° F	° API	11	N/A	D1298
Contenido de cenizas	% peso	N/A	0,1	D482
Asfáltenos	% peso	N/A	10	IP143
Contenido máx. Carbón	% peso	N/A	18	D189
Punto de inflamación	° F	150	N/A	D93
Punto de Fluidez	° F	N/A	60	D97
Contenido de sílice	ppm	N/A	50	A.A.
Contenido de sodio	ppm	N/A	70	AA/ICP/XR
Contenido de Azufre	% peso	N/A	2,2	D2622

Tabla N° 4.1 (continuación)

Contenido de vanadio	ppm	N/A	300	AA/ICP/XR
Viscosidad @ 122 ° F	SSF	N/A	400	D2161
Agua y sedimento	% Vol	N/A	1,0	D-1796
H ₂ S	ppm	N/A	50	ASTMD5705

Fuente: Refinería Puerto la Cruz

Para cumplir con dichos requerimientos de calidad, a la corriente de residual se le agregan ciertas cantidades de aceites de flujo y decantado para lograr una viscosidad entre 430-450 SSF, así como también se deben adicionar un secuestrante de H₂S para disponer del producto en tanques con una concentración máxima de 50 ppm de esta sustancia en fase vapor, a fin de garantizar dos cargamentos al mes de 3050 MB cada uno.

La mezcla entre el residual y los aceites de flujos y decantado, se lleva a cabo durante la recirculación de los tanques a tratar, procedimiento que se lleva a cabo utilizando cualquiera de las siguientes bombas disponibles: GA14A/14B/14D/14E/14S (3250 GPM, Presión de descarga 280 lpcm).

Una vez lograda la adición del diluyente el producto resultante se conoce como Fuel Oil numero 2.2 llamado así porque contiene 2.2 % peso de azufre. Para evitar futuras equivocaciones líneas arribas en el desarrollo de este trabajo fue necesario considerar los términos “residual” y “Fuel Oil 2.2” como iguales, debido que la materia base para la generación de los combustibles objetos de este trabajo es el combustible aditivado y no el residuo de fondo de la DA-1 sin tratar.

El residual de la DA-1 comercializado como Fuel Oil 2.2 tiene características de Fuel Oil número 2 según la clasificación de combustibles Fuel Oil de la

Enciclopedia de contaminantes ambientales (Roy J. Irwin, National Park Service) la cual se especifica en las bases teóricas (ver capítulo II, tabla N° 2.2). Dicho combustible es utilizado normalmente para la generación de energía eléctrica por plantas termoeléctricas y como combustibles para buques. Por tal motivo sus propiedades están bien definidas para cumplir sus funciones eficientemente sin general mayores problemas ni a la maquina ni al medio ambiente. Una viscosidad de 400 SSF permite que la circulación de combustible Fuel Oil 2.2 dentro de una maquina o una caldera sea la necesaria para que el flujo sea siempre continuo y así poder generar una combustión más eficiente con el mismo objetivo tanto para una planta termoeléctrica como para una maquina de buque “generar energía”. Dentro de otras propiedades a considerar tenemos los contenidos de impurezas, entendiendo por ellos “toda sustancia que se encuentran presente en los combustibles tales como metales, minerales, sedimentos y agua que normalmente se encuentra con la materia prima base en su estado natural y que se requieren eliminar para mejorar la calidad del combustible”. En el caso del Fuel Oil encontramos límites para ciertas impurezas como es el caso del contenido de azufre, vanadio, sodio, sílice, aluminio, carbón, cenizas, agua y sedimentos, H₂S, estas son reducidas a las magnitudes expresadas en la tabla N° 4.1, ya que estas son causantes de problemas de generaciones de gases indeseados (tóxicos e invernaderos), corrosión y problemas de procesamiento en general.

El esquema de comercialización del residual de la DA-1 de la Refinería Puerto la Cruz, ha estado a lo largo de su historia sujeto a la exportación y sus propiedades han podido variar de acuerdo a las exigencias del cliente, por lo que en ocasiones algunas propiedades del residual expresada en la tabla N° 4.1 han debido cambiar para cumplir con un compromiso comercial. Considerando que el crudo que recibe la refinería Puerto la Cruz en su planta DA-1 es 100% mesa y que este, llega a la planta con un tratamiento previo el cual le da características definidas en cuanto propiedades físicas y contenido de contaminantes e impurezas, es necesario recordar que después

del proceso de destilación las técnicas para la mejora de sus propiedades en el caso del residual se realizan casi exclusivamente añadiéndole un aditivo, utilizándose comúnmente: diesel y aceites catalíticos.

4.2 ESPECIFICACIÓN DE LOS PARAMETROS DEL RESIDUAL PROVENIENTE DE LA PLANTA DESTILADORA DA-1 QUE NECESITAN SER MODIFICADOS PARA CUMPLIR CON LOS REQUERIMIENTOS DE CALIDAD EXIGIDOS PARA LOS COMBUSTIBLES RME-180 Y RMG-380

4.2.1 Gravedad API

Para cumplir con los requerimientos de calidad del residual de la DA-1 este debe poseer como mínimo una Gravedad API de 11, esta gravedad API se determinó en el laboratorio interno de la Refinería Puerto la Cruz y se calculó a través del método del Hidrómetro. Este método es el recomendado por la Norma Covenin 883:02 “petróleo crudos y sus derivados. Determinación de la gravedad API por el método del hidrómetro” la cual especifica los procedimientos para la determinación de la gravedad API del Petróleo y sus derivados en forma líquida y cuya presión de vapor reid tiene un máximo de 180 kpa (26) lpc mediante el uso del hidrómetro de vidrio. La gravedad API se calculó a una temperatura 15,6 ° C (60° F) o se convierte a 15,6 ° C (60 °) utilizando las tablas internacionales normalizadas apropiada para cada caso.

La gravedad API determinada a través del método del hidrómetro es más precisa en “0” cerca de, la temperatura de referencia 15,6 ° C (60 ° F). Se puede determinar esta u otra temperatura entre – 18 ° C y 90 ° C (0 ° F y 195 ° F)

Para la Prueba se utilizaron Hidrómetros de 1H a 10 H y se debe considerar que se cumpla con los parámetros especificados en por la norma señalada.

El criterio de selección de este parámetro al igual que los otros se debió a que el mismo es considerado como una propiedad incluida en las especificaciones de la norma iso 8217 la cual selecciona los parámetros a regular de acuerdo investigaciones realizadas al producto con orientaciones de calidad.

4.2.2 Contenido de Contaminantes

El contenido de impurezas en los combustibles puede ocasionar muchos problemas operacionales y ambientales por lo que es muy importante determinar el contenido de contaminantes en los productos generados del proceso de refinación. En la Refinería Puerto la Cruz el método empleado para determinar el contenido de azufre fue el D2161 mientras que para determinar el contenido de sodio y de vanadio se aplica el AA/ICP/XR.

Los contaminantes fueron consideradas como propiedades de estudios debido fundamentalmente a que las exigencias de calidad del producto generado, esta muy orientada a minimizar estos contaminantes por los ya mencionados problemas ambientales y operacionales. De esta forma se pudo cumplir con las exigencias de calidad exigidas por las normas con competencia en esta materia.

4.2.3 Punto de Inflamación

En el caso del producto derivado del residual de la DA-1 de la Refinería de Puerto la Cruz el punto de inflamación debe tener un mínimo de 150 ° F para cumplir con las especificaciones de calidad propias de la política de comercialización de la empresa. El punto de inflamación al igual que todos los demás parámetros mencionados en este capítulo se determinó en el laboratorio interno de la empresa y para este caso el método utilizado es el ASTM D 93 (punto de inflamación por medio de un probador PENSKEY-MARTENS.). Esta prueba consistió en someter a una

pequeña muestra la cual se encapsulada en una copa a aumentos graduales de temperaturas de tal forma que se desprendan vapores y estos a su vez son alcanzado por una ignición provocado por un mechero durante cortos periodos de 5 ° F. Estos periodos fueron medidos con relación al tiempo y se alcanzo el resultado con la aparición de una llama producto de la combustión momentánea de los vapores desprendido por la muestra.

Dentro de los análisis realizados este parámetro se pudo determinar que el punto de inflamación tiene un mínimo de 150 ° F en las certificaciones de calidad contempladas en la norma iso 8217, para todos los fluidos estudiados, es decir, para el residual, para el aditivo y para las mezclas. Por lo que no hubo variación alguna de este parámetro al realizar las mezclas.

4.2.4 Punto de Fluidez

Es necesario destacar la importancia fundamente que tiene este parámetro para evaluar la calidad de un Fuel oil. En el caso de la Refinería Puerto la Cruz, el producto derivado del residual proveniente de la DA-1 debe cumplir con un punto de fluidez como minino de 60 ° F para poder ser comercializado. Es importante mencionar que la prueba de laboratorio aplicada para determinar el punto de fluidez del producto derivado del residual de la DA-1 es la prueba ASTM D 97 la cual consistió en tomar una pequeña muestra del fluido para llenar cuatro tubos de ensayos hasta las medidas de regencias, estos últimos tapados con un corcho el cual tiene una ranura por donde se introduce un termómetro. Una vez realizada esta operación se debe colocar los tubos de ensayos contactos con trozos de hielo secos y cada 2 ° F se debe observar los tubos de ensayos hasta que se pueda apreciar un enturbiamiento en el fondo del tubo de ensayo como resultado de la cristalización de las parafinas. Esta temperatura fue reportada y se conoce como el punto de turbidez. La prueba continua con la inclinación del tubo de ensayo cada 5 ° F hasta que el fluido ya no pueda fluir,

una vez inclinado el recipiente, la temperatura 5 ° F por encima al valor reportado se conoce como el punto de fluidez.

Al igual que para el punto de inflamación el punto de fluidez tiene un valor máximo permisible en las certificaciones de calidad usadas como referencia para la presente investigación para todos los fluidos involucrados en la presente investigación por lo que no se observaron variación alguna de este parámetro al realizar las mezclas

4.2.5 Agua y Sedimentos

Si un combustible de petróleo debe ser quemado en una caldera, la materia extraña dentro de él es indeseable. Cantidades excesivas de estas impurezas como agua o sólido contaminantes, pueden interrumpir la operación de la unidad y algunas veces dañarla.

En la industria los sedimentos afecta la operaciones de refinado a las cuales pueden verse sometido un crudo, ya que estos generan incrustaciones y taponamientos en los tanques de almacenamientos y líneas de flujo, además de dañar los quemadores cuando es utilizado directamente o en fracciones derivadas de este. A nivel internacional se a establecido que los crudos para poder ser comercializados deben poseer un porcentaje de agua menor a 1% y en crudos destinados a operaciones de refinación este debe ser menor a 0.7%. Aquellos crudos que poseen un porcentaje de agua que exceden el 1%, presentan problemas de corrosión en los tanques y líneas de flujo ya que el agua arrastra sales disueltas como sulfatos y carbonatos.

En el caso de la Refinería Puerto la Cruz el producto derivado del proceso de destilación de la torre destiladora DA-1, debe cumplir con el ya mencionado requisito de tolerancia menor a 1%, necesario para su comercialización. Para comprobar que el

Residual proveniente de la DA-1 cumpla con dicha condición, este fue sometido a pruebas de laboratorios para determinar el porcentaje de agua y sedimento, el método aplicado para este caso es el sugerido por la Norma Covenin 2706-90. (CRUDOS Y COMBUSTIBLES RESIDUALES. DETERMINACIÓN DE AGUAS Y SEDIMENTOS. METODO DE CENTRIFUCACIÓN). Esta norma sugiere que el porcentaje de crudo y sedimentos en combustibles residuales sea determinado a través del método de centrifugación (cuando los resultados obtenidos no cumplan con la precisión del método, se debe utilizar las Normas Venezolanas Covenin 427 y 588).

Es importante recordar que el residual saliente del proceso de destilación de la Refinería Puerto la Cruz puede estar limpio y sin embargo ser contaminado durante el almacenamiento y el manejo, inclusive con agua de condensación. Por lo que se debe someter a revisión el producto despachado en los terminales marinos e inclusive en los tanques de los buques compradores.

4.2.6 Viscosidad

La selección de este parámetro se debió principalmente a la importancia que esta propiedad tiene para definir a un combustible ya que en gran medida el uso de un combustible depende principalmente de ello hasta el punto que la diferencia principal entre los dos combustibles que se generaron la determinó la viscosidad de cada uno de ellos la cuales fueron de 180 cst para el combustible RME-180 y de 300 cst para el combustible RMG-380.

Las unidades de viscosidades utilizadas fueron SAYBOL FUROL y SAYBOL UNIVERSAL debido a que todos estos combustibles son residuales es decir tienen alta viscosidad a excepción del aditivo de mezcla que en nuestro caso es el diesel mediano.

4.3 REALIZACIÓN DE UN ANÁLISIS TÉCNICO PARA LA CONVERSIÓN DEL RESIDUAL PROVENIENTE DE LA PLANTA DESTILADORA DA-1 DE LA REFINERÍA PUERTO LA CRUZ EN COMBUSTIBLES RME-180 Y RMG-380

La intención de convertir el producto creado a partir del residual de la DA-1 en RME-180 y en RMG-380 tal como se expuso en la justificación del presente trabajo se debió a que tanto el RME-180 como el RMG-380 son combustibles que tienen características similares al residual de la DA-1 y por tanto el proceso de conversión es más simple que los otros combustibles que requiere la maquina a utilizar en la Refinería Puerto la Cruz que por ser combustibles no residuales, son muchos más livianos y por tanto requieren mayor tratamiento para generarlos a partir de del residual. A continuación se hará una breve descripción de la maquina que se utilizó como referencia para generar energía en la Refinería Puerto la Cruz así como también se describirán las especificaciones de los combustibles residuales que deben ser utilizados en ella:

El motor diesel Wärtsilä ® 46 está diseñado y desarrollado para un funcionamiento continuo, sin reducción de la potencia nominal, de los combustibles con las siguientes propiedades: aceite ligero: la especificación del combustible se basa en la norma ISO 8217:2005 (E) estándar y cubre las categorías de combustible ISO-F-DMX, DMA, DMB y DMC, HFO1 y HFO2.

El 46-motor está diseñado para generar mínimas emisiones de NOX para un consumo de combustible óptimo. Las emisiones de dióxidos de azufre y partículas están relacionadas con el combustible (principalmente depende del contenido de azufre y del contenido de cenizas del combustible) así como también las emisiones de SO2. Por lo que se recomienda utilizar los combustibles descrito por la norma ISO 8217 con todas sus especificaciones en cuanto a la regulaciones de contenidos de

contaminantes e impurezas como el azufre, vanadio sodio y otros metales para que el motor pueda trabajar eficientemente y con menores cantidades de emisiones de gases indebidos. A continuación se muestra un grafico con los principales gases de combustión que afectan a la atmósfera.

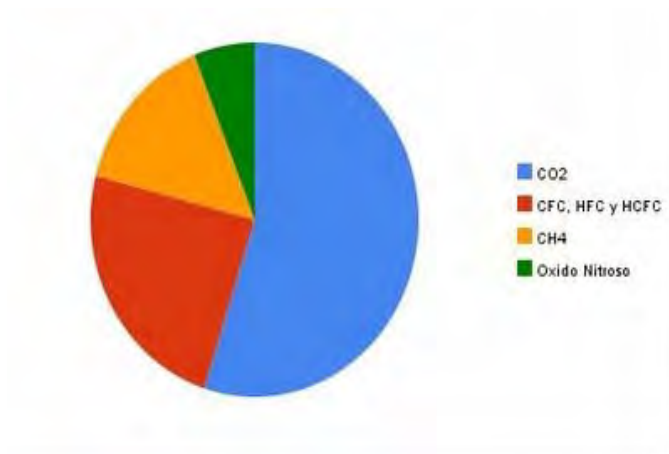


Figura N ° 4.1 principales gases contaminante de la atmósfera
Fuente: Manual de generalidades del motor Wartsila 46

Como se explicó en la sección 4.1 el residual proveniente de la torre destiladora DA-1 es comercializado como Fuel Oil número 2.2 para ello debe ser mezclado con cierta cantidad de aditivos para poder cumplir con las especificaciones de calidad requeridas para este tipo de combustible, la tabla 4.1 presenta las calidades técnicas necesarias para cumplir con las exigencias de los clientes.

El análisis técnico necesario para lograr cumplir con las especificaciones de calidad tanto del RME-180 como del RMG-380, consistió en agregarle aditivos al residual hasta lograr modificar cada una de las propiedades necesarias para cumplir con las especificaciones técnicas señaladas. Es importante mencionar que los resultados de las mezclas planteadas fueron calculados con las ecuaciones utilizadas por los ingenieros de procesos de la Refinería Puerto la Cruz las cuales fueron

descrita en la sesión 4.4.3. En la Tabla 4.2 se describen las especificaciones técnicas de los fluidos en estudios RME-180 y RMG-380.

Tabla N° 4.2: Certificaciones de calidad de los combustibles residuales RME-180 y RMG-380.

Propiedad	Unidades	RME-180	RMG-380
Viscosidad a 50 ° C	CST	180	380
Densidad a 15 ° C	Kg./ m ³	991,0	991,0
Contenido máx. de agua	% V/V	1,0	1,0
Contenido máx. de Azufre	% peso	2,0	4,50
Contenido máx. de vanadio	ppm	200	300
Contenido máx. de carbón residual	% peso	15	18
Punto de inflamación	° C	60	60
Punto de Fluidez	° C	30	30

Como se puede observar en la tabla N° 4.2 las características del RME-180 y el RMG-380 son muy similares solo difieren en cuatro propiedades que son: viscosidad, contenido de Azufre, contenido de vanadio y contenido máx. de carbón residual. Es importante destacar que tanto en las cuatros propiedades donde difieren estos dos combustibles para el RMG-380 hay mayor exceso por lo que se debe considerar al RMG-380 como un combustibles menos limpios al tener mayores proporciones tanto de vanadio, como de azufre y contenido de carbón residual presentes en el producto considerados como “contaminantes”.

Para que el producto derivado del residual de la refinería Puerto la Cruz, pueda cumplir con las especificaciones de calidad expresadas en la tabla N° 4.2 Fue necesario realizar un análisis por separado de cada una de las propiedades del producto generado a partir del residual de la DA-1 Fuel Oil número 2.2 Vs. RME-180 y Fuel Oil 2.2 Vs. RMG-380 para así poder identificar las variaciones que existen entre las magnitudes de cada unas de sus propiedades pudiendo así definir las condiciones necesarias para poder realizar la conversión, siendo este último el fin del presente objetivo.

Tabla N° 4.3 tabla comparativa entre los parámetros del residual de la DA-1 (Fuel Oil Número 2.2) y el RME-180

Análisis	Unidad	Residual (Fuel Oil Numero 2.2)		RME-180	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Carbón residual	% peso	N/A	18	N/A	15
Punto de inflamación	° F	150	N/A	150	N/A
Punto de Fluidez	° F	N/A	60	N/A	60
Contenido de sodio	ppm	N/A	70	N/A	50
Contenido de Azufre	% peso	N/A	2,2	N/A	4,50
Contenido de Vanadio	ppm	N/A	300	N/A	200
Viscosidad @ 122 ° F	cst	N/A	848	N/A	180
Agua y sedimentos	% Vol	N/A	1,0	N/A	1,0

De la tabla N° 4.3, se puede apreciar la diferencia que existen entre las siguientes propiedades de cada producto: carbón residual, contenido de vanadio, contenido de sodio, viscosidad. Es claramente visible que para todas las propiedades antes señaladas existe una diferencia en mayores proporciones en cada una de ellas

para el Fuel Oil 2.2. Es importante decir que el RME-180 tiene mejor calidad que el Fuel Oil 2.2 por lo que se requiere “siguiendo la metodología aplicada en la Refinería Puerto la Cruz”. Mejorar las propiedades del Fuel Oil 2.2 mediante la aditivación de más diluyente al residual de línea que proviene de la Refinería Puerto la Cruz hasta lograr situarse por debajo del límite de las magnitudes donde cada una de las propiedades del Fuel Oil 2.2 se excede.

Para lograr lo antes mencionado fue necesario definir a la viscosidad y al contenido de azufre como los parámetros críticos (el contenido de azufre parámetro más crítico que la viscosidad) ya que estos dos son los de mayor importancia según lo expresado en el manual de uso de la planta a utilizar. Es importante mencionar que al aditivar un fluido liviano para bajar las propiedades críticas del fluido en estudio se estarían mejorando al mismo tiempo las otras propiedades, debido a que estas se encuentran en exceso en el fluido base y al mezclarlo con un fluido más refinado, todas las propiedades antes mencionadas disminuyen por sus propiedades magnitudes que varían volumétrica y masicamente.

De acuerdo a los procedimientos empleados por el equipo de ingeniero de procesos de la Refinería Puerto la Cruz para mejorar las propiedades de un fluido, se calculan las proporciones de aditivos a agregar hasta alcanzar el rango deseado. En el caso de Refinería Puerto la Cruz el fluido utilizado principalmente como aditivos es: el diesel ya que este se obtienen en la misma refinería en grande proporciones a continuación se describe las propiedades del fluido utilizado como aditivo:

Tabla N° 4.4: Especificaciones técnicas de las propiedades del Diesel Mediano

Propiedad	Máximo	Minimo
Agua y sedimento %(V/V)	-	0,10
Contenido de azufre %(p/p)	-	0,80
Contenido de cenizas, %(p/p)	-	0,01
Corrosión a lamina de cobre, 3 horas a 50 ° C	-	2,00
Destilación, 90% volumen recuperado, ° C	-	360,00
Puntos de infamación	65,60	-
Residuo de carbón Conradson	-	0,15
Viscosidad cinemática 40 ° C, cst	1,60	5,20
color	-	2,5
Punto de fluidez	-	15,60
Gravedad especifica a 15 ° C	-	-
Número de cetano	43,0	-
Contenidos de metales, ppm		
Sodio + potasio	1,0	-
Vanadio	0,5	-
Calcio	2,0	-

Fuente: Refinería Puerto la Cruz

4.3.1 Mejorar la Viscosidad, del Residual Proveniente de la DA-1 Para Cumplir Con las Especificaciones de Calidad Requeridas Para el RME-180.

Es importante mencionar que como se conocen tanto las propiedades del fluido base (el residual) y la del fluido que se pretende generar RME-180, las ecuaciones descritas en la sesión 3.4.3 se utilizaron para conocer la proporción de aditivo que se debe utilizar con respecto a una unidad volumétrica de residual para lograr la conversión. Como tanto la ecuación 11 como la ecuación 12 están en función del

porcentaje del componente base (X_i) y se requiere conocer es el porcentaje del aditivo a mezclar, entonces se calculo primero el porcentaje del residual y de aditivo a mezclar y posteriormente se calcularon los parámetros de variaciones lineales de la mezcla en peso, masa o de variación no lineal con la mezcla de acuerdo a las propiedades que se requieran modificar para cumplir con las especificaciones de calidad exigidas para la mezcla.

Para el cálculo de los porcentajes de residual y diluyente a mezclar se aplicó la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación 13: } \% \text{ de diluyente de la mezcla} = \left(\frac{\text{VBNmezcla} - \text{VBNresidual}}{\text{VBNdiluyente} - \text{VBNresidual}} \right) * 100$$

Donde,

VBNmezcla = número de mezcla de viscosidad de la mezcla.

VBNdiluyente = número de mezcla de viscosidad del diluyente.

VBNresidual= número de mezcla de viscosidad del residual.

El procedimiento a seguir para calcular los VBN tanto de la mezcla como del diluyente y del residual consistió en buscar en la tabla de número de viscosidad (Apéndice A), utilizando a la viscosidad de cada fluido.

4.3.1.1 Cálculo de la Cantidad de Diluyente Necesario Para Llevar la Viscosidad del Residual de 848 cst a 180 cst del Residual de (2.2 a 2.0) % peso.

Como el azufre y la viscosidad son los parámetros críticos y justamente para que el residual de la DA-1 cumpla con las especificaciones técnicas del RME-180 es necesario modificar esos parámetro conjuntamente con el contenido de carbón residual y de vanadio se procedió a calcular en primera instancia los porcentajes de residual y diluyente a mezclar para reducir la viscosidad del residual de 848 cst a 180

est asumiendo que las otras propiedades de la mezcla iban a mejor, para comprobar esto, se calculó con las ecuaciones de “calidad de la mezcla” para las propiedades que variarán linealmente con la mezcla en peso, volumen o de variación no lineal cualquiera fuese el caso y en el caso de las propiedades que no mejoraron con la mezcla, se le agrego más diluyente para cumplir con las especificaciones de calidad de la mezcla.

Como ya se menciona anteriormente las proporciones a mezclar (Residual-diluyente), se calcularon en función de la viscosidad a la que se pretende llegar en este caso 180 cst para ello se aplicó el procedimiento descrito en la sesión 3.4.3 del presente trabajo en donde se describió buscar en primera instancia en la tabla de número de mezcla de viscosidad, con la viscosidad correspondiente a cada componente de la mezcla la del residual a 848 cst (400 SSF), la del diluyente 39.40 SSU y la viscosidad que se pretende obtener de la mezcla 180 cst que equivale a 834.84 SSU, se obtuvieron los siguientes resultados:

$$\text{VBNmezcla@ } 834,84 \text{ cst} = 23,53$$

$$\text{VBNdiluyente@ } 39,40 \text{ SSU} = 48,16$$

$$\text{VBNresidual@ } 400 \text{ SSF} = 18,28$$

Una vez identificado los valores del número de mezcla de viscosidad de la mezcla, del diluyente y del residual, se procedió a calcular las proporciones a mezclar para ello fue necesario aplicar la ecuación 13, de la cual se obtuvieron los siguientes resultados:

$$\% \text{ de diluyente de la mezcla} = 17,60$$

$$\% \text{ de residual de la mezcla} = 82,40$$

Ya definidos las proporciones a mezclar para reducir la viscosidad del residual de 848 cst a 180 cst se procedió a verificar si las otras propiedades donde el residual excede al combustible RME-180, se encuentran por debajo de las magnitudes aceptables. Primeramente se procedió a calcular el valor resultante de la mezcla entre el diluyente y el residual considerado como crítico “el contenido de azufre”, el cual debe estar por debajo de 2,0 % peso después de realizar la mezcla entre un 17,60 % de un diluyente de 0,8 % peso de contenido de azufre y de 82,40 % de un residual con 2,2 % peso de contenido de azufre. Para verificar esto se sigue el procedimiento metodológico expresado en la sesión 3.4.3. Como el contenido de azufre es una propiedad que varía en peso con la mezcla, para determinarlo se aplicó la ecuación 12 de donde se obtuvo el siguiente resultado:

$$\text{Contenido de azufre} = 1.92 \% \text{ peso}$$

Como se puede apreciar 1,92 % peso es mucho menor a los 4,5 % peso aceptado por la norma ISO 8217 para un combustible RME-180, esto se debe a que tanto la materia prima base (el residual) con un 82,40 % en proporción en la mezcla contiene un 2,2 % peso de azufre una cifra muy por debajo al valor permisible para un combustible RME-180 mientras que el diluyente contiene apenas 0,8 % peso de azufre por lo que al mezclarse el contenido de azufre de la mezcla desciende hasta un valor aceptable de 1,92 % peso

Es importante mencionar que aunque la norma ISO 8217, considera hasta un máximo de 4,5 % peso de contenido de azufre como se mencionó anteriormente, el fabricante la máquina a utilizar para la generación de combustible en la Refinería Puerto la Cruz, recomienda un máximo de contenido de azufre de 1,5 % peso, con la intención de que se genere menos emisiones de SO_x, gases que afectan notablemente a la capa de ozono sin embargo esta medida es recomendada para aquellos países incluidos en el registro de regulación de gases invernadero derivado del protocolo de

Kioto. Venezuela no se cuenta entre los países sancionados por no producir gases invernaderos en mayores proporciones que las consideradas por este organismo. Aun así en el país se están tomando medidas para mitigar el impacto ambiental por emisiones de gases invernadero, considerando que el contenido de azufre mucho menor a 4,5 % peso en este caso 1,92 % peso es bastante aceptable para una planta generadora de electricidad de una refinería que no consume más de 100 MW de electricidad.

Una vez reducida la viscosidad del Residual por debajo de 180 cst, que es el valor aceptable para un combustible RME-180 y asegurarse que la otra propiedad crítica el contenido de azufre permanece en un valor bajo después de la mezcla, se procedió a determinar si la adición de 17,60 % de diluyente fue suficiente para reducir las otras propiedades del residual que se encuentran en exceso con respecto al combustible, estas propiedades como se mencionó anteriormente son el contenido de vanadio y el contenido máximo de carbón residual. Para ello utilizando nuevamente la ecuación (2) se calcularon los valores teóricos de ambas propiedades resultantes de la mezcla, obteniéndose los siguientes resultados.

Contenido de vanadio = 245.55 ppm

Contenido de carbón residual = 14.75 % peso

De los resultados descrito anteriormente el contenido de vanadio excede a las 200 ppm, recomendada por la norma ISO 8217 para un combustible RME-180, debido al tipo de uso que normalmente tiene estos combustibles los cuales son mayormente utilizados en máquinas de buques y en plantas termoeléctrica, donde pueden ocasionar problemas corrosivos o de obstrucciones en ciertos dispositivos del sistema termoeléctrico. En el caso de las máquinas de fabricación Wartsila específicamente el modelo Wartsila 46, que es la máquina de referencia para la generación de un combustible RME-180, trabaja con otros combustibles como el

combustible RMG-380 que se le permite un contenido de vanadio de hasta 300 ppm, por lo que podría utilizarse este combustible con un exceso de contenido de vanadio de hasta 245,55 por no considerarse el contenido de vanadio como una propiedad crítica.

Aunque el fin de la presente investigación es crear un combustible que pueda ser utilizado en una maquina modelo Wartsila 46, se debe cumplir con las certificaciones de calidad planteadas en la norma ISO 8217 para poder considerar al combustible resultante como un RME-180. Por lo que fue necesario replantear las proporciones a mezclar hasta cumplir con un porcentaje de vanadio menor a las 200 ppm exigidas en la ya mencionada norma de calidad. Para ello se aplico la ecuación 12 y se utilizó un valor de contenido de vanadio de 200 ppm y en las proporciones residual-diluyente se iteró hasta acercarse lo más posible a la ya mencionada cifra de 200 ppm obteniéndose las siguientes proporciones de residual y de diluyente:

$$\% \text{ de diluyente} = 33$$

$$\% \text{ de residual} = 67$$

Una vez obtenida las nuevas proporciones se procedió a calcular las nuevamente las otras propiedades que anteriormente habían sido determinadas con las proporciones de diluyente-residual de 17,60 % de diluyente y 82,40 % de residual para estudiar sus variaciones. Dichos parámetros son los siguientes: contenido de azufre, contenido de vanadio, contenido máximo de carbón residual, a continuación se muestran los resultados:

$$\text{Contenido de vanadio} = 199.73 \text{ ppm}$$

$$\text{Contenido de azufre} = 1.6909 \% \text{ peso}$$

$$\text{Contenido de Carbón} = 12.0182 \% \text{ peso}$$

Como se puede observar todos los parámetros determinados con las nuevas proporciones se tienen magnitudes por debajo de los límites máximos requeridos para un combustible RME-180.

4.3.2 Mejorar la Viscosidad, del Residual Proveniente de la DA-1 Para Cumplir Con Las Especificaciones de Calidad Requeridas Para el Combustible RMG-380

Tabla N° 4.5: tabla comparativa entre los parámetros del residual de la DA-1 (Fuel Oil Número 2.2) y el RMG-380

Análisis	Unidad	Residual (Fuel Oil Numero 2.2)		RMG-380	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Carbón residual	% peso	N/A	18	N/A	18
Punto de inflamación	° F	150	N/A	150	N/A
Punto de Fluidez	° F	N/A	60	N/A	60
Contenido de sodio	ppm	N/A	70	N/A	50
Contenido de Azufre	% peso	N/A	2,2	N/A	4,50
Contenido de Vanadio	ppm	N/A	300	N/A	300
Viscosidad @ 122 ° F	cst	N/A	848	N/A	380
Agua y sedimentos	% Vol	N/A	1,0	N/A	1,0

En la tabla N° 4.5 se puede observar la similitud que existe entre las propiedades del residual y la del combustible RMG-380, solo difieren la viscosidad la cual es mucho mayor para el residual que para el combustible esto indica que al

encontrarse a igual magnitud o por debajo del límite de contaminantes permisible para el combustible en estudio como lo son: el contenido de azufre, contenido de vanadio, contenido máximo de carbón residual, contenido de agua y sedimento y al cumplir con las condiciones de punto de inflamación y fluidez exigidas solo es necesario modificar la viscosidad para cumplir plenamente con la certificación de calidad del combustible RMG-380.

Para reducir la viscosidad del residual de 848 cst a 380 cst, se sigue la misma metodología aplicada para el caso anterior, la cual consiste en aplicar la ecuación (2) para ello es necesario determinar los números de viscosidades de cada componente de la mezcla así como de la mezcla misma, las cuales se muestran a continuación:

$$\text{VBNmezcla@ } 1761,19 \text{ SSU} = 20,90$$

$$\text{VBNdiluyente@ } 39,40 \text{ SSU} = 48,16$$

$$\text{VBNresidual@ } 400 \text{ SSF} = 18,28$$

Aplicando la ecuación 12 se obtuvo la siguiente proporción de diluyente a mezclar para obtener un combustible resultante con una viscosidad de 380 cst:

$$\% \text{ diluyente} = 8,75$$

$$\% \text{ residual} = 91,26$$

Como se puede observar para reducir la viscosidad del residual de 848 cst a 380 cst es necesario agregar una porcentaje de diluyente de 8,75, es evidente que al agregar ya mencionada cantidad de diluyente no solo la viscosidad es la única propiedad en variar ya que al mezclar el residual con un fluido que contiene menor cantidad de contaminantes estos deben disminuir al finar al realizar la mezcla sin embargo como ya se menciono anteriormente el residual cumple con las certificaciones de calidad exigidas por la norma ISO 8217 para un combustible RMG-

380 en cuanto a contenidos de contaminantes, agua y sedimento y puntos de fluidez y de inflamación, por lo que la variación de las propiedades de la mezcla se consideran como positivas.

4.4 EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA IDENTIFICAR CUAL DE LOS DOS COMBUSTIBLES (RME-180 Y RMG-380), ES EL MÁS ADECUADO PARA UTILIZARLO EN LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD

Considerando que la maquina bajo la cual se realizaron los estudios para general combustible en la Refinería Puerto la Cruz (Wartsila 46 de 17 MW), está recomendada para trabajar tanto con combustibles RME-180 y RMG-380, la evaluación económica se oriento principalmente en determinar cuál de los dos combustibles tiene mayor valor en el mercado y su relación con los costos de generarlos debió a que si un combustible tiene mayor valor en el mercado y se asume que puede ser utilizado igualmente para general electricidad que otro combustible más barato se recomienda comercializar en el mercado de productos al más costoso y utilizar el más barato para general electricidad así la empresa obtiene mayores divisas.

También es importante mencionar que como el fin de general combustibles RME-180 y RMG-380 a partir del residual de la DA-1 de la Refinería Puerto la Cruz es para ser utilizado como un servicio en este caso eléctrico, se consideró como beneficios el aporte que genera utilizar un producto de las mismas instalaciones de la refinería para tal fin y la capacidad que este tiene para general energía eléctrica.

Las cotizaciones para general combustibles RME-180 y RMG-380 consistieron en sumar los costo de producción de las proporciones de mezclas (residual-diluyente) para la cual se deben de obtener cada uno de los combustibles ya antes mencionados, cabe destacar que se obtuvo como referencia los costos de producción y precios de

mercados más actual ya que esa es la etapa para la cual se encuentra esta fase del proyecto (Abril de 2010). En el apéndice B se puede observar la tabla B.1 que contiene las variaciones de los precios para los últimos periodos de años registrados. Mientras que la tabla B.2 contiene los precios de los productos en \$/Bls a precio de mercado, en esta última tabla se puede apreciar el valor económico tanto del RMG-380 como del RME-180, estos serían los precios por los cuales la Refinería Puerto la Cruz vendería dichos productos de haberlos producidos para las ya señaladas fechas.

Para el caso del Combustible RMG-380 se puede observar que la diferencia de precio con respecto a su materia prima base el residual (Fuel Oil 2.2) es de apenas \$ 0,3 para el mes de abril del presente año y considerando que para llevar ese fluido base a las condiciones exigidas por la norma ISO 8217 es necesario agregar una proporción de 8,75 % de diluyente (diésel) lo que incrementaría aun más los costos de generación del RMG-380 debido a que el diésel marino tiene un elevado precio en el mercado en relación con el RMG-380 de hasta \$ 20,4

Para la realización de un estudio económico más detallado fue necesario estudiar los costos de producción de cada combustible y compararlos con su valor actual en el mercado para así poder saber cual combustible cuesta más producirlos y cual se cotiza mejor en el mercado. Como los combustibles en estudios son resultado de una misma mezcla de productos de la refinería se determinó su costo unitario a través de la suma monetaria de cada uno de los componentes de la mezcla para cada proporción de mezcla de acuerdo al tipo de combustible que como ya es bien sabido existe una proporción de 33; 67 diluyente-residual para el combustible RME-180 y de 8,75; 91,26 diluyente residual para el combustible RMG-380. A continuación la tabla N° 4.6, muestra los costos de producción de cada componente de la mezcla:

Tabla N° 4.6: costos de producción promedios del diese y del residual 2.2 para el periodo Enero-Abril de 2010 de la Refinería Puerto la Cruz en \$/Bl

Componente de mezclas	Costos Bs/Bl
Residual	5
Diesel marino	29

Fuente: PDVSA (Gerencia Corporativa)

Aplicando simple sumas de proporciones monetarias para cada componente de la mezcla tenemos que para el caso del combustible RMG-380 se obtuvo la siguiente cifra

$$5 \times 0,91 + 29 \times 0,09 = 7,16$$

Mientras que para el combustible RME-180, se obtuvo valor de producción de:

$$5 \times 0,7 + 29 \times 0,33 = 12,92$$

Las cifras expresadas arribas indica que para el periodo Enero-Febrero de 2010 producir un barril de RMG-380 cuesta Bs 7,16 mientras que para general un combustible RME-180 se debe gastar Bs 12,92. Esto indica que se requiere una mayor inversión para general un combustible RME-180 que un combustible RMG-380, calculamos la diferencias entre estas cifras con los precios del mercado es decir con los precios promedio para el periodo Enero-febrero 2010 para el RMG-380 (Bs 164,95) y para el RME-180 (Bs 165,7075), se obtuvo que para el RMG-380 hay una diferencia de Bs 158,2. Mientras que para el RME-180 existe una diferencia de Bs152,55 lo que indica que el combustible RMG-380 se obtienen mayores ganancias.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Las proporciones de diluyente a mezclar para obtener un combustible RME-180 a partir del residual de la DA-1 es de 33 % de diluyente, mientras que para el combustible RMG-380 se requiere una cantidad de diluyente equivalente al 8.75 %.
- Fue necesario aumentar la proporción de diluyente a mezclar para producir combustible RME-180 de 17.60% a 33% para poder reducir el contenido de vanadio
- Las propiedades del combustible RMG-380, son más similares a la del residual de la DA-1 solo difieren en su viscosidad.
- El diluyente utilizado para mejorar las propiedades del residual de la DA-1, fue el diesel mediano, el cual se utilizo en las proporciones requeridas para cumplir con los certificados de calidad de los combustibles RME-180 y RMG-380.
- El consumo de la maquina Wartsila 46, utilizada como referencia para la posible generación de energía a partir de los combustibles generados es el mismo para ambos combustibles.
- El combustible que presentó menores costos de producción y que presenta mayores beneficios de inversión ganancia fue el combustible RMG-380.

5.2 RECOMENDACIONES

- Considerando que el combustible RMG-380 tiene un costo de producción bajo y es un combustible muy demandado en el mercado nacional e internacional y tiene mayor valor económico del residual, se recomienda comercializar este combustible.
- Para profundizar el estudio ya realizado se recomienda la utilización de otros aditivos de mezclas para generar los combustibles RMG-380 y RME-180.
- Se recomienda realizar un estudio de las instalaciones de la Refinería Puerto la Cruz, con el objetivo de definir las condiciones necesarias para instalar la planta termoeléctrica referida en la presente investigación.
- Se recomienda realizar un estudio del impacto ambiental que generaría la utilización de una central termoeléctrica que utilice el combustible recomendado en esta investigación.
- Estudiar el potencial que tendrán los productos derivados del combustible de la faja petrolífera del Orinoco para generar electricidad una vez entre en marcha el proyecto de “conversión profunda”

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARIAS, F. (2006). **El Proyecto de investigación**. (6° ed.). Caracas – Venezuela:
Editoria: Epistame.

BALESTRINI A., M. (2002). **Como se Elabora el Proyecto de Investigación**.
Caracas: Fitolito Quintana.

COVENIN 883:02. (2002). **Petróleo crudo y sus derivados. Determinación de la Gravedad API. Método del Hidrómetro**. Caracas: Venezuela.

COVENIN 2706-90. (1990). **Crudo y combustible residuales. Determinación de agua y sedimento método de centrifugación**. Caracas: Venezuela

DE PABLO, L. (1983). **Las necesidades de fuel-oil de las compañías eléctricas en España**. Trabajo doctoral, Universidad de Madrid.

ENCICLOPEDIA DE CONTAMINANTES AMBIENTALES (2006).
Contaminación con Fuel oil. Paris: Francia

HONTAÑÓN, E. (2001). **Simulación numérica del enfriamiento del Fuel Oil en los tanques el prestige**. Trabajo doctoral, Universidad de Madrid.

INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGIA (2005). **Impacto de las plantas Termoeléctricas**. Caracas: Venezuela.

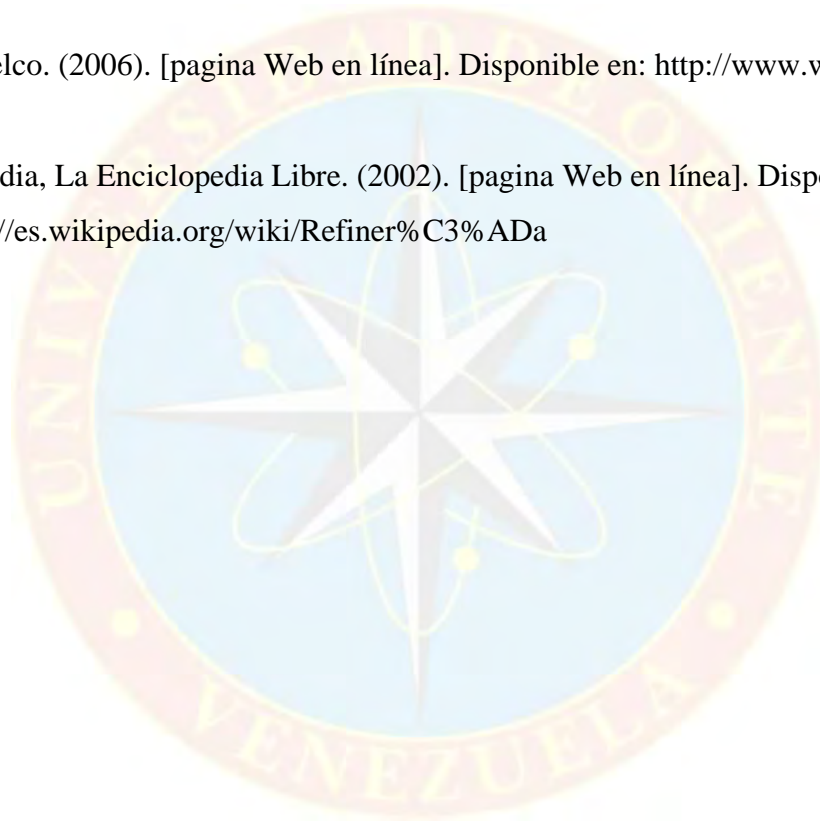
ISO 8217. (2010). **Productos del petróleo. Combustibles (clase F). Especificaciones de los combustibles para uso marino**.

Tesis y Monografías. (2001). [pagina Web en línea]. Disponible en: http://www.mistareas.com.ve./tesis_y_monografias.html.

Wartsila. (2010). **Manual de generalidades del motor Wartsila@46**. New York: USA

Wcathelco. (2006). [pagina Web en línea]. Disponible en: <http://www.wcathelco.com>

Wikipedia, La Enciclopedia Libre. (2002). [pagina Web en línea]. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Refiner%C3%ADa>





APENDICES

Tabla A.1: Numero de viscosidad (VBM) a 122 F de (350 a 1950) SUV

Viscosidad	VBM	Viscosidad	VBM	Viscosidad	VBM	Viscosidad	VBM
350	27,29	394	26,75	437	26,27	480	25,86
351	27,28	395	26,74	438	26,26	481	25,85
352	27,26	396	26,73	439	26,25	482	25,84
353	27,25	397	26,72	440	26,24	483	25,83
354	27,24	398	26,70	441	26,23	484	25,82
355	27,23	399	26,69	442	26,22	485	25,82
356	27,21	400	26,68	443	26,21	486	25,81
357	27,20	401	26,67	444	26,20	487	25,80
358	27,19	402	26,66	445	26,19	488	25,79
359	27,14	403	26,65	446	26,18	489	25,78
363	27,12	404	26,64	447	26,17	490	25,77
364	27,11	405	26,63	448	26,16	491	25,76
365	27,10	406	26,61	449	26,15	492	25,75
366	27,09	407	26,60	450	26,14	493	25,74
367	27,08	408	26,59	451	26,13	494	25,73
368	27,06	409	26,58	452	26,12	495	25,73
369	27,05	410	26,57	453	26,11	496	25,72
370	27,04	411	26,56	454	26,10	497	25,71
371	27,03	412	26,55	455	26,09	498	25,70
372	27,02	413	26,54	456	26,08	499	25,69
373	27,00	414	26,53	457	26,07	500	25,68
374	26,99	415	26,52	458	26,06	501	25,67
375	26,98	416	26,50	459	26,05	502	25,66
376	26,97	417	26,49	460	26,04	503	25,66
377	26,96	418	26,48	461	26,03	504	25,65
378	26,94	419	26,47	462	26,02	505	25,64
379	26,93	420	26,46	463	26,01	506	25,63
380	26,92	421	26,45	464	26,00	507	25,62
381	26,91	422	26,44	465	25,99	508	25,62
382	26,90	423	26,43	466	25,99	509	25,61
383	26,88	424	26,42	467	25,98	510	25,60
384	26,87	425	26,41	468	25,97	511	25,59
385	26,86	426	26,39	469	25,96	512	25,58
386	26,85	427	26,38	470	25,95	513	25,58
387	26,84	428	26,37	471	25,94	514	25,57
388	26,82	429	26,36	472	25,93	515	25,56
389	26,81	430	26,35	473	25,92	516	25,55
390	26,80	431	26,34	474	25,91	517	25,54
391	26,79	432	26,33	475	25,91	518	25,54
392	26,78	433	26,32	476	25,90	519	25,53
393	26,76	434	26,31	477	25,89	520	25,52
350	27,29	435	26,30	478	25,88	521	25,51
351	27,28	436	26,28	479	25,87	522	25,50

Tabla A.1 (cont.)

523	25,50	567	25,14	611	24,83	655	24,54
524	25,49	568	25,14	612	24,83	656	24,53
525	25,48	569	25,13	613	24,82	657	24,53
526	25,47	570	25,12	614	24,81	658	24,52
527	25,46	571	25,11	615	24,81	659	24,52
528	25,46	572	25,11	616	24,80	660	24,51
529	25,45	573	25,10	617	24,79	661	24,50
530	25,44	574	25,09	618	24,78	662	24,50
531	25,43	575	25,09	619	24,78	663	24,49
532	25,42	576	25,08	620	24,77	664	24,49
533	25,42	577	25,07	621	24,76	665	24,48
534	25,41	578	25,06	622	24,76	666	24,47
535	25,40	579	25,06	623	24,75	667	24,47
536	25,39	580	25,05	624	24,74	668	24,46
537	25,38	581	25,04	625	24,74	669	24,46
538	25,38	582	25,04	626	24,73	670	24,45
539	25,37	583	25,03	627	24,72	671	24,44
540	25,36	584	25,02	628	24,71	672	24,44
541	25,35	585	25,02	629	24,71	673	24,43
542	25,34	586	25,01	630	24,70	674	24,43
543	25,34	587	25,00	631	24,69	675	24,42
544	25,33	588	24,99	632	24,69	676	24,41
545	25,32	589	24,99	633	24,68	677	24,41
546	25,31	590	24,98	634	24,67	678	24,40
547	25,30	591	24,97	635	24,67	679	24,40
548	25,30	592	24,97	636	24,66	680	24,39
549	25,29	593	24,96	637	24,65	681	24,38
550	25,28	594	24,95	638	24,64	682	24,38
551	25,27	595	24,95	639	24,64	683	24,37
552	25,26	596	24,94	640	24,63	684	24,37
553	25,26	597	24,93	641	24,62	685	24,36
554	25,25	598	24,92	642	24,62	686	24,35
555	25,24	599	24,92	643	24,61	687	24,35
556	25,23	600	24,91	644	24,61	688	24,34
557	25,22	601	24,90	645	24,60	689	24,33
558	25,22	602	24,90	646	24,59	690	24,33
559	25,21	603	24,89	647	24,59	691	24,32
560	25,20	604	24,88	648	24,58	692	24,32
561	25,19	605	24,88	649	24,58	693	24,31
562	25,18	606	24,87	650	24,57	694	24,31
563	25,18	607	24,86	651	24,56	695	24,30
564	25,17	608	24,85	652	24,56	696	24,29
565	25,16	609	24,85	653	24,55	697	24,29
566	25,15	610	24,84	654	24,55	698	24,29

Tabla A.1 (cont.)

867	23,39	909	23,17	951	23,01	993	22,84
868	23,37	910	23,17	952	23,00	994	22,83
869	23,37	911	23,17	953	23,00	995	22,83
870	23,37	912	23,16	954	22,99	996	22,83
871	23,37	913	23,16	955	22,99	997	22,82
872	23,36	914	23,15	956	22,99	998	22,82
873	23,36	915	23,15	957	22,98	999	22,81
874	23,35	916	23,15	958	22,98	1000	22,81
875	23,35	917	23,14	959	22,97	1010	22,78
876	23,34	918	23,14	960	22,97	1020	22,75
877	23,34	919	23,13	961	22,97	1030	22,72
878	23,33	920	23,13	962	22,96	1040	22,69
879	23,33	921	23,13	963	22,96	1050	22,67
880	23,32	922	23,12	964	22,95	1060	22,64
881	23,32	923	23,12	965	22,95	1070	22,61
882	23,31	924	23,11	966	22,95	1080	22,58
883	23,31	925	23,11	967	22,94	1090	22,55
884	23,30	926	23,11	968	22,94	1100	22,52
885	23,30	927	23,10	969	22,93	1110	22,49
886	23,29	928	23,10	970	22,93	1120	22,46
887	23,29	929	23,09	971	22,93	1130	22,44
888	23,28	930	23,09	972	22,92	1140	22,41
889	23,28	931	23,09	973	22,92	1150	22,38
890	23,27	932	23,08	974	22,91	1160	22,35
891	23,27	933	23,08	975	22,91	1170	22,32
892	23,26	934	23,07	976	22,91	1180	22,30
893	23,26	935	23,07	977	22,90	1190	22,27
894	23,25	936	23,07	978	22,90	1200	22,24
895	23,25	937	23,06	979	22,89	1210	22,21
896	23,24	938	23,06	980	22,89	1220	22,18
897	23,24	939	23,05	981	22,89	1230	22,16
898	23,23	940	23,05	982	22,88	1240	22,13
899	23,23	941	23,05	983	22,88	1250	22,10
900	23,22	942	23,04	984	22,87	1260	22,07
901	23,22	943	23,04	985	22,87	1270	22,04
902	23,21	944	23,03	986	22,87	1000	22,81
903	23,21	945	23,03	987	22,86	1010	22,78
904	23,20	946	23,03	988	22,86	1020	22,75
905	23,19	947	23,02	989	22,85	1030	22,72
906	23,19	948	23,02	990	22,85	1040	22,69
907	23,18	949	23,01	991	22,85	1050	22,67
908	23,18	950	23,01	992	22,84	1060	22,64

Tabla A.1 (Cont.)

1270	22,04	1720	20,97	1900	20,63
1280	22,02	1730	20,95	1910	20,61
1290	21,99	1740	20,93	1920	20,59
1300	21,96	1750	20,92	1930	20,57
1310	21,93	1760	20,90	1940	20,55
1320	21,90	1770	20,88	1950	20,54
1330	21,88	1780	20,86		
1340	21,85	1790	20,84		
1350	21,82	1800	20,82		
1360	21,79	1810	20,80		
1370	21,76	1820	20,78		
1380	21,74	1830	20,76		
1390	21,71	1840	20,74		
1400	21,68	1850	20,73		
1410	21,65	1860	20,71		
1420	21,62	1870	20,69		
1430	21,60	1880	20,67		
1440	21,57	1890	20,65		
1450	21,54	1900	20,63		
1460	21,51	1910	20,61		
1470	21,48	1920	20,59		
1480	21,46	1930	20,57		
1490	21,43	1940	20,55		
1500	21,40	1950	20,54		
1510	21,38	1720	20,97		
1520	21,36	1730	20,95		
1530	21,34	1740	20,93		
1540	21,32	1750	20,92		
1550	21,30	1760	20,90		
1560	21,28	1770	20,88		
1570	21,26	1780	20,86		
1580	21,24	1790	20,84		
1590	21,22	1800	20,82		
1600	21,20	1810	20,80		
1610	21,18	1820	20,78		
1620	21,16	1830	20,76		
1630	21,14	1840	20,74		
1640	21,12	1850	20,73		
1650	21,11	1860	20,71		
1660	21,09	1870	20,69		
1670	21,07	1880	20,67		
1680	21,05	1890	20,65		

Tabla A.2: Numero de viscosidad (VBM), a 70 F. (32 a 41) SUV

Viscosidad	VBM	Viscosidad	VBM	Viscosidad	VBM	Viscosidad	VBM
32,0	52,56	35,1	51,02	37,9	49,35	40,6	47,18
32,1	52,51	35,2	50,96	38,0	49,29	40,7	47,10
32,2	52,47	35,3	50,90	38,1	49,21	40,8	47,02
32,3	52,42	35,4	50,84	38,2	49,13	40,9	46,94
32,4	52,38	35,5	50,78	38,3	49,05	41,0	46,86
32,5	52,33	35,6	50,73	38,4	48,97	41,1	46,78
32,6	52,29	35,7	50,67	38,5	48,89	41,2	46,69
33,0	52,11	35,8	50,61	38,6	48,80	41,3	46,61
33,1	52,06	35,9	50,55	38,7	48,72	41,4	46,53
33,2	52,01	36,0	50,50	38,8	48,64	41,5	46,45
33,3	51,96	36,1	50,44	38,9	48,56	41,6	46,37
33,4	51,91	36,2	50,38	39,0	48,48	41,7	46,29
33,5	51,86	36,3	50,32	39,1	48,40	41,8	46,21
33,6	51,81	36,4	50,26	39,2	48,32	41,9	46,13
33,7	51,76	36,5	50,20	39,3	48,24	42	46,05
33,8	51,71	36,6	50,14	39,4	48,16	42,1	45,99
33,9	51,65	36,7	50,08	39,5	48,08	42,2	45,92
34,0	51,60	36,8	50,02	39,6	48,00	42,3	45,86
34,1	51,55	36,9	49,96	39,7	47,92	42,4	45,80
34,2	51,50	37,0	49,90	39,8	47,84	42,5	45,74
34,3	51,45	37,1	49,84	39,9	47,75	42,6	45,68
34,4	51,40	37,2	49,78	40,0	47,67	42,7	45,62
34,5	51,34	37,3	49,72	40,1	47,59	42,8	45,56
34,6	51,29	37,4	49,66	40,2	47,50	42,9	45,50
34,7	51,24	37,5	49,60	40,3	47,42	43	45,44
34,8	51,19	37,6	49,54	40,4	47,34	43,1	45,38
34,9	51,13	37,7	49,48	40,5	47,26	43,2	45,32
35,0	51,08	37,8	49,42	40,6	47,18	43,3	45,26

Tabla A.2 (Cont.)

43,4	45,20	45,5	44,00	47,6	42,98	49,7	42,11
43,5	45,14	45,6	43,94	47,7	42,93	49,8	42,08
43,6	45,08	45,7	43,89	47,8	42,87	49,9	42,04
43,7	45,02	45,8	43,84	47,9	42,83	50	41,99
43,8	44,96	45,9	43,79	48	42,78	49,7	42,11
43,9	44,90	46	43,74	48,1	42,74	49,8	42,08
44	44,84	46,1	43,69	48,2	42,70	49,9	42,04
44,1	44,79	46,2	43,63	48,3	42,66	50	41,99
44,2	44,73	46,3	43,58	48,4	42,62		
44,3	44,67	46,4	43,53	48,5	42,58		
44,4	44,61	46,5	43,48	48,6	42,54		
44,5	44,56	46,6	43,43	48,7	42,50		
44,6	44,50	46,7	43,38	48,8	42,46		
44,7	44,44	46,8	43,33	48,9	42,42		
44,8	44,38	46,9	43,28	49	42,38		
44,9	44,33	47	43,23	49,1	42,34		
45	44,28	47,1	43,19	49,2	42,30		
45,1	44,22	47,2	43,14	49,3	42,26		
45,2	44,15	47,3	43,10	49,4	42,22		
45,3	44,10	47,4	43,05	49,5	42,18		
45,4	44,05	47,5	43,02	49,6	42,14		

Tabla A.3: Numero de viscosidad (VBM), a 70 F. (130 a 660) SFF

130	21,89	223	20,10	246	19,78	269	19,49
135	21,75	224	20,08	247	19,77	270	19,48
140	21,62	225	20,07	248	19,76	271	19,46
145	21,51	226	20,05	249	19,74	272	19,45
150	21,39	227	20,04	250	19,73	273	19,44
155	21,28	228	20,02	251	19,72	274	19,43
160	21,17	229	20,01	252	19,71	275	19,42
165	21,06	230	20,00	253	19,69	276	19,41
170	20,96	231	19,99	254	19,68	277	19,40
175	20,87	232	19,97	255	19,67	278	19,39
180	20,78	233	19,96	256	19,65	279	19,38
185	20,69	234	19,94	257	19,64	280	19,37
190	20,60	235	19,93	258	19,63	281	19,35
195	20,51	236	19,91	259	19,61	282	19,34
200	20,43	237	19,90	260	19,60	283	19,33
205	20,36	238	19,88	261	19,59	284	19,32
210	20,28	239	19,87	262	19,58	285	19,31
215	20,21	240	19,86	263	19,57	286	19,30
218	20,17	241	19,85	264	19,55	287	19,29
219	20,15	242	19,84	265	19,54	288	19,28
220	20,14	243	19,82	266	19,53	289	19,27
221	20,13	244	19,81	267	19,51	290	19,26
222	20,11	245	19,80	268	19,50	291	19,25

Tabla A.3 (Cont.)

292	19,24	315	19,03	338	18,83	361	18,62
293	19,23	316	19,02	339	18,82	362	18,61
294	19,22	317	19,01	340	18,81	363	18,61
295	19,21	318	19,00	341	18,80	364	18,60
296	19,20	319	18,99	342	18,79	365	18,59
297	19,19	320	18,98	343	18,78	366	18,58
298	19,18	321	18,97	344	18,77	367	18,57
299	19,17	322	18,96	345	18,77	368	18,57
300	19,16	323	18,95	346	18,76	369	18,56
301	19,15	324	18,94	347	18,75	370	18,55
302	19,14	325	18,94	348	18,74	371	18,54
303	19,13	326	18,93	349	18,73	372	18,53
304	19,12	327	18,92	350	18,72	373	18,52
305	19,12	328	18,91	351	18,71	374	18,51
306	19,11	329	18,90	352	18,70	375	18,51
307	19,10	330	18,89	353	18,69	376	18,50
308	19,09	331	18,88	354	18,68	377	18,49
309	19,08	332	18,87	355	18,68	378	18,48
310	19,07	333	18,87	356	18,67	379	18,47
311	19,06	334	18,86	357	18,66	380	18,46
312	19,05	335	18,85	358	18,65	381	18,45
313	19,04	336	18,84	359	18,64	382	18,44
314	19,03	337	18,83	360	18,63	383	18,43

Tabla A.3 (Cont.)

384	18,42	407	18,23	430	18,07	453	17,90
385	18,42	408	18,22	431	18,06	454	17,89
386	18,41	409	18,22	432	18,05	455	17,89
387	18,40	410	18,21	433	18,05	456	17,88
388	18,39	411	18,20	434	18,04	457	17,87
389	18,38	412	18,20	435	18,03	458	17,86
390	18,37	413	18,19	436	18,02	459	17,86
391	18,60	414	18,18	437	18,01	460	17,85
392	18,35	415	18,18	438	18,01	461	17,84
393	18,34	416	18,17	439	18,00	462	17,83
394	18,33	417	18,16	440	17,99	463	17,83
395	18,33	418	18,15	441	17,98	464	17,82
396	18,32	419	18,15	442	17,98	465	17,81
397	18,31	420	18,14	443	17,97	466	17,80
398	18,30	421	18,13	444	17,96	467	17,79
399	18,29	422	18,13	445	17,96	468	17,79
400	18,28	423	18,12	446	17,95	469	17,78
401	18,27	424	18,11	447	17,94	470	17,77
402	18,27	425	18,11	448	17,93	471	17,76
403	18,26	426	18,10	449	17,93	472	17,76
404	18,25	427	18,09	450	17,92	473	17,75
405	18,25	428	18,08	451	17,91	474	17,74
406	18,24	429	18,08	452	17,91	475	17,74

Tabla A.3 (Cont.)

476	17,73	499	17,57	522	17,40	545	17,33
477	17,72	500	17,56	523	17,40	546	17,32
478	17,71	501	17,56	524	17,40	547	17,32
479	17,71	502	17,55	525	17,41	548	17,31
480	17,70	503	17,55	526	17,41	549	17,31
481	17,69	504	17,54	527	17,41	550	17,30
482	17,69	505	17,54	528	17,41	551	17,30
483	17,68	506	17,53	529	17,41	552	17,29
484	17,67	507	17,53	530	17,41	553	17,29
485	17,67	508	17,52	531	17,40	554	17,28
486	17,66	509	17,52	532	17,40	555	17,28
487	17,65	510	17,51	533	17,39	556	17,27
488	17,64	511	17,50	534	17,39	557	17,27
489	17,64	512	17,49	535	17,38	558	17,26
490	17,63	513	17,48	536	17,37	559	17,26
491	17,62	514	17,47	537	17,37	560	17,25
492	17,62	515	17,46	538	17,36	561	17,24
493	17,61	516	17,44	539	17,36	562	17,24
494	17,60	517	17,43	540	17,35	563	17,23
495	17,60	518	17,42	541	17,35	564	17,23
496	17,59	519	17,41	542	17,34	565	17,22
497	17,58	520	17,40	543	17,34	566	17,21
498	17,57	521	17,40	544	17,33	567	17,21

Tabla A.3 (Cont.)

568	17,20	591	17,09	614	16,98	637	16,91
569	17,20	592	17,08	615	16,98	638	16,91
570	17,19	593	17,08	616	16,97	639	16,91
571	17,19	594	17,07	617	16,97	640	16,87
572	17,18	595	17,07	618	16,96	641	16,87
573	17,18	596	17,06	619	16,96	642	16,86
574	17,17	597	17,06	620	16,95	643	16,86
575	17,17	598	17,05	621	16,95	644	16,85
576	17,16	599	17,05	622	16,94	645	16,85
577	17,16	600	17,04	623	16,94	646	16,85
578	17,15	601	17,04	624	16,94	647	16,84
579	17,15	602	17,03	625	16,94	648	16,84
580	17,14	603	17,03	626	16,93	649	16,83
581	17,14	604	17,02	627	16,93	650	16,83
582	17,13	605	17,02	628	16,93	651	16,83
583	17,13	606	17,02	629	16,92	652	16,82
584	17,12	607	17,01	630	16,92	653	16,82
585	17,12	608	17,01	631	16,91	654	16,81
586	17,11	609	17,00	632	16,91	655	16,81
587	17,11	610	17,00	633	16,91	656	16,81
588	17,10	611	17,00	634	16,91	657	16,80
589	17,10	612	16,99	635	16,91	658	16,8
590	17,09	613	16,99	636	16,91	659	16,79

Tabla B.1: variación mensual de los productos de clasificación ISO 1782 exportados por la Refinería Puerto la Cruz en los últimos 5 años, en Bs/Bls.

Diesel Marine	159,15	149,65	163,13	184,17	183,66	178,15	180,06	186,40	157,11	151,40	151,77	152,26
Diesel 0,5% ML	165,89	156,39	169,87	190,91	190,40	184,90	186,80	193,14	163,86	158,14	158,51	159,00
Diesel Hidrotratado	169,09	159,59	173,06	194,10	193,59	188,08	189,99	196,33	167,04	161,33	161,69	162,19
Residual El Chaure	108,29	110,36	107,95	117,14	112,67	110,10	111,36	114,95	91,33	89,26	97,31	90,83
Residual 2,2%	101,17	107,19	105,74	110,95	110,55	107,60	110,43	113,26	90,38	89,98	93,88	89,67

2007	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Diesel Marine	135,83	150,28	154,66	167,60	175,92	181,73	189,74	183,57	204,28	214,23	243,32	237,58
Diesel 0,5% ML	142,57	157,02	161,40	174,34	182,66	188,48	196,48	190,31	211,02	220,97	250,07	244,33
Diesel Hidrotratado	145,76	160,21	164,59	177,54	185,86	191,67	199,67	193,50	214,20	224,15	253,25	247,51
Residual El Chaure	83,88	90,90	96,45	107,71	118,98	124,62	131,71	125,60	133,36	144,29	166,21	165,17
Residual 2,2%	80,26	93,43	95,57	106,55	117,26	119,36	131,31	128,88	133,64	149,31	166,90	158,83

2008	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Diesel Marine	235,9	248,1	283,3	300,5	343,5	361,7	358,5	299,8	274,9	205,9	166,9	119,1
Diesel 0,5% ML	242,6	254,9	290,1	307,2	350,3	368,4	365,3	306,5	281,6	212,7	173,6	125,8
Diesel Hidrotratado	245,8	258,1	293,2	310,4	353,5	371,6	368,5	309,7	284,8	215,9	176,8	129,0
Residual El Chaure	171,7	163,9	167,7	184,9	204,3	236,7	253,7	220,5	190,7	134,0	91,5	76,0
Residual 2,2%	159,9	157,8	167,3	178,4	192,4	215,1	245,8	222,5	193,4	134,0	80,3	64,7

2009	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Diesel Marine	128,1	111,6	111,0	122,0	137,7	162,3	152,1	176,3	163,1	182,7	188,2	185,2
Diesel 0,5% ML	134,8	118,3	117,7	128,8	144,4	169,0	158,2	182,3	169,1	188,8	194,3	191,3
Diesel Hidrotratado	138,0	121,5	120,9	132,0	147,6	172,2	161,2	185,4	172,2	191,8	197,3	194,3
Residual El Chaure	86,7	87,1	86,7	104,0	125,0	140,5	137,9	156,5	147,3	159,7	171,0	163,8
Residual 2,2%	82,2	87,0	85,2	97,2	122,7	135,8	135,5	153,9	145,3	156,2	166,7	160,6
Residual 3%	78,0	83,1	81,2	93,4	118,9	132,0	132,5	150,9	142,3	153,2	163,1	157,0

Tabla B.1 (cont.)

2010	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Diesel Marine	191,5	184,4	195,0	209,1								
Diesel 0,5% ML	197,6	190,5	201,1	215,1								
Diesel Hidrotratado	200,6	193,6	204,1	218,2								
Residual El Chaure (cpg)	166,2	159,9	167,6	177,9								
Residual 2,2% (cpg)	163,6	158,9	164,7	170,3								
Residual 3% (cpg)	160,4	155,5	161,5	167,0								

Tabla B.2: variación mensual de los productos de clasificación ISO 1782 en el mercado del año 2010 en \$/Bls

2010 EN \$/Bbls	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Reformado	90,6	88,4	98,9	105,7								
Diesel Marine	80,4	77,5	81,9	87,8								
Diesel 0,5% ML	83,0	80,0	84,5	90,4								
Diesel Hidrotratado	84,2	81,3	85,7	91,6								
Residual El Chaure	69,8	67,2	70,4	74,7								
Residual 2,2% S	68,7	66,7	69,2	71,5								
Residual 3% S	67,4	65,3	67,8	70,1								
RMG- 380	69,0	67,0	69,4	71,8								
RME-180	69,3	67,2	69,6	72,4								

Fuente: PDVSA (Gerencia corporativa)

HOJAS METADATOS

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 1/5

Título	EVALUACIÓN TÉCNICA - ECONOMICA PARA LA CONVERSIÓN DEL RESIDUAL PROVENIENTE DE LA DA-1 DE LA REFINERÍA PUERTO LA CRUZ EN COMBUSTIBLES RME-180 Y RMG-380
Subtítulo	

El Título es requerido. El subtítulo o título alternativo es opcional.

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
	Bravo B. Héctor A.	CVLAC
e-mail		Hectorbravo7@hotmail.com
e-mail		
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Se requiere por lo menos los apellidos y nombres de un autor. El formato para escribir los apellidos y nombres es: "Apellido1 InicialApellido2., Nombre1 InicialNombre2". Si el autor esta registrado en el sistema CVLAC, se anota el código respectivo (para ciudadanos venezolanos dicho código coincide con el numero de la Cedula de Identidad). El campo e-mail es completamente opcional y depende de la voluntad de los autores.

Palabras o frases claves:

Fallas mecánicas
Distribuciones estadísticas
Bombas
Diagramas (paretos)
Producción (costos)
TPPF

El representante de la subcomisión de tesis solicitará a los miembros del jurado la lista de las palabras claves. Deben indicarse por lo menos cuatro (4) palabras clave.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 2/5

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Sub-área
Tecnología (Ciencias Aplicadas)	Ingeniería de Petróleo

Debe indicarse por lo menos una línea o área de investigación y por cada área por lo menos un subárea. El representante de la subcomisión solicitará esta información a los miembros del jurado.

Resumen (Abstract):

La presente investigación se realizó con la finalidad de producir un combustible para generar energía eléctrica en la Refinería puerto la Cruz. De acuerdo con los requerimientos de la empresa dichos combustibles debían generarse a partir del residual producido por una de sus torres destiladoras (DA-1), por lo que los combustibles seleccionados (RME-180 y RMG-380) a ser evaluados debieron cumplir con las normas de calidad recomendadas por el fabricante “ISO 8217” y de características similares al combustible base. Para la evaluación de los mencionados combustibles se utilizó como referencia una maquina de fabricación Wartsila, modelo: Wartsila 46 de 17 MW de capacidad. El proceso de conversión consistió básicamente en definir las proporciones de diluyente a mezclar con el residual de la DA-1. El diluyente utilizado fue Diesel mediano y se requirió de una proporción de 33% de diluyente para generar el combustible RME-180, mientras que se necesito un 8,75% de Diesel mediano para obtener el combustible RMG-380. Los resultados técnicos, así como los económicos sugieren que el combustible más adecuado para ser utilizado para la generación eléctrica es el RMG-380.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 3/5

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail				
Ing. Bello Noris	ROL	CA <input type="checkbox"/>	AS <input type="checkbox"/>	TU <input checked="" type="checkbox"/>	JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC				
	e-mail				
	e-mail				
Ing. Rodríguez Agustín	ROL	CA <input type="checkbox"/>	AS <input checked="" type="checkbox"/>	TU <input type="checkbox"/>	JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC				
	e-mail				
	e-mail				
Ing. Calzadilla Hortensia	ROL	CA <input type="checkbox"/>	AS <input type="checkbox"/>	TU <input type="checkbox"/>	JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC				
	e-mail				
	e-mail				
Ing. Marín Tomas	ROL	CA <input type="checkbox"/>	AS <input type="checkbox"/>	TU <input type="checkbox"/>	JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC				
	e-mail				
	e-mail				

Se requiere por lo menos los apellidos y nombres del tutor y los otros dos (2) jurados. El formato para escribir los apellidos y nombres es: "Apellido1 InicialApellido2., Nombre1 InicialNombre2". Si el autor esta registrado en el sistema CVLAC, se anota el código respectivo (para ciudadanos venezolanos dicho código coincide con el numero de la Cedula de Identidad). El campo e-mail es completamente opcional y depende de la voluntad de los autores. La codificación del Rol es: CA = Coautor, AS = Asesor, TU = Tutor, JU = Jurado.

Fecha de discusión y aprobación:

Año Mes Día

2011	01	21
------	----	----

Fecha en formato ISO (AAAA-MM-DD). Ej: 2005-03-18. El dato fecha es requerido.

Lenguaje: spa Requerido. Lenguaje del texto discutido y aprobado, codificado usando ISO 639-2. El código para español o castellano es spa. El código para ingles en. Si el lenguaje se especifica, se asume que es el inglés (en).

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 4/5

Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
Bravo Hector.docX	Officce 2007 (Word)

Caracteres permitidos en los nombres de los archivos: **A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 _ - .**

Alcance:

Espacial: _____ (opcional)

Temporal: _____ (opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo:

Ingeniero en Petróleo

Dato requerido. Ejs: Licenciado en Matemáticas, Magister Scientiarium en Biología Pesquera, Profesor Asociado, Administrativo III, etc

Nivel Asociado con el Trabajo: Ingeniería

Dato requerido. Ejs: Licenciatura, Magister, Doctorado, Postdoctorado, etc.

Área de Estudio:

Tecnología (ciencias aplicadas)

Usualmente es el nombre del programa o departamento.

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

Universidad de Oriente Núcleo de Monagas

Si como producto de convenciones, otras instituciones además de la Universidad de Oriente, avalan el título o grado obtenido, el nombre de estas instituciones debe incluirse aquí.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 5/5

Derechos:

Los autores garantizamos en forma permanente a la Universidad de Oriente el derecho de archivar y difundir, por cualquier medio, el contenido de esta tesis. Esta difusión será con fines estrictamente científicos y educativos, pudiendo cobrar la Universidad de Oriente una suma a recuperar parcialmente los costos involucrados. Los autores nos reservamos los derechos de propiedad intelectual así como todos los derechos que pudieran derivarse de patentes industriales o comerciales.

Condiciones bajas las cuales los autores aceptan que el trabajo sea distribuido. La idea es dar la máxima distribución posible a las ideas contenidas en el trabajo, salvaguardarlo al mismo tiempo los derechos de propiedad intelectual de los realizadores del trabajo, y los beneficios para los autores y/o la Universidad de Oriente que pudieran derivarse de patentes comerciales o industriales.

	<hr/> Bravo Héctor Autor	
<hr/> Ing. Bello Noris TUTOR	<hr/> Ing. Calzadilla Hortensia JURADO	<hr/> Ing. Marín Tomas JURADO
<hr/> Ing. Bello Noris POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS:		