
EVALUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL CRUDO CARGA DE LA REFINERÍA ESMERALDAS

Alexandra Torres, Luis Calle
alex.torres0309@gmail.com;lcalles@iquce.edu.ec

Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería Química. Casilla 17-01-3972
Recibido: 2 febrero 2015 Aceptado: 8 de mayo de 2015

RESUMEN

Al petróleo crudo, procedente del oriente ecuatoriano, que se procesa en la Refinería Estatal Esmeraldas se lo evaluó y caracterizó. Para la determinación de las propiedades fisicoquímicas se tomaron las correspondientes muestras y los ensayos se los realizó de acuerdo con los procedimientos de las normas ASTM. Los puntos reales de ebullición, (TBP), se los obtuvo en una columna de destilación TBP de POLIDIST, Modelo PETRODIST 200 S. De este modo se obtuvieron: temperatura de cabeza y volumen de cada fracción destilada con los que, se graficó la curva de puntos de ebullición verdadera permitiendo conocer el rendimiento en combustibles livianos, medios y pesados. De igual manera se hizo la determinación de las propiedades fisicoquímicas de las diferentes fracciones obtenidas.

De los resultados obtenidos, el crudo carga tiene: un factor de caracterización Kuop de 11,55, lo que indica una base de hidrocarburos mixta, con un volumen de destilado de 70,95% a 506°C del cual, el 14,45% corresponde a naftas; 12,60% a queroseno; 9,10% a diésel; 34,80% a gasóleo y 29,05% a residuo. El contenido de azufre presente en las fracciones se lo debe considerar por la implicación que tiene tanto en la corrosión de los equipos como en la desactivación de los catalizadores.

PALABRAS CLAVES: Petróleo crudo; Refinería Estatal Esmeraldas; Caracterización fisicoquímica; Ensayos ASTM; Destilación TBP; Evaluación.

ABSTRACT

Crude oil originating in the Ecuadorian Amazon and processed in the State Esmeraldas Refinery was evaluated and characterized. In order to determine its physicochemical properties, samples were taken and tests were done according to ASTM procedures. The actual boiling points (TBP) were obtained in a distillation column TBP of POLIDIST, Model PETRODIST 200 S. In this way there were obtained: head temperature and the volume of each distilled fraction, with which the curve of the true boiling points were plotted, making it possible to know the performance of light, medium and heavy fuels. Similarly, a determination of the physicochemical properties of the different fractions obtained was made.

From the results obtained, it was determined that the crude load has: a characterization factor Kuop of 11.55, which indicates a mixed hydrocarbon base with a distillate volume of 70.95% at 506°C, of which 14.45% corresponds to naphtha, 12.60% to kerosene, 9.10% to diesel; 34.80% to gasoil, lea-

ving a residue of 29.05%. The sulfur content found in the fractions must be taken into consideration since it could cause the corrosion of the equipment as well as the deactivation of the catalysts.

KEYWORDS: Crude oil; State Esmeraldas Refinery; Physicochemical characterization; ASTM Tests; TBP Distillation; Evaluation.

1. INTRODUCCIÓN

El Crudo de Carga que se procesa en la Refinería Estatal Esmeraldas, es una mezcla compuesta de petróleos procedentes de diferentes pozos que cambian en función del tiempo; por lo tanto es necesario realizar periódicamente una caracterización fisicoquímica global, que permita determinar sus propiedades, composición e impurezas, y junto con una destilación de puntos de ebullición verdaderos (TBP), se determine el rendimiento en sus fracciones características, además de la determinación de propiedades fisicoquímicas de cada uno de estos cortes. La evaluación y caracterización total del crudo que se procesa en la Refinería Estatal Esmeraldas, se lo realiza en forma parcial, debido a que los laboratorios nacionales no disponen del equipamiento necesario para obtener los puntos reales de ebullición y la caracterización de fracciones, en síntesis para hacer el LIBRO DE LOS CRUDOS, conocido en el léxico de los refinadores como el "ASSAY del petróleo". El presente estudio contribuye a actualizar la información de interés en el área de la refinación del petróleo y abre la opción para futuros estudios de otros crudos.

La caracterización fisicoquímica de los cortes de base ligeras: tanto naftas livianas como pesadas, fracciones medias: queroseno y diésel, y combustibles pesados: gasóleos ligeros y pesados de vacío, se realizó mediante los procedimientos de las normas ASTM.

De los resultados obtenidos, se aprecia que se trata de un crudo y fracciones de base mixta, con un alto contenido de azufre en las fracciones preparadas a partir de los cortes de la "destilación TBP", por lo que sería necesario de procesos de desulfuración, para que los productos cumplan con las especificaciones vigentes referidos al contenido de azufre.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Muestreo

El estudio parte con la toma de muestra del crudo de carga en la Refinería Estatal Esmeraldas, de acuerdo con la Norma ASTM D 4057 "Standard Practice for Manual Sampling of Petroleum and Petroleum Products". Manual Pipeline Sampling.

2.2 Destilación TBP

Mediante la aplicación de la Norma ASTM D 5236 "Distillation of Heavy Hydrocarbon Mixtures (Vacuum Potstill)", se obtuvo a partir del petróleo, los diferentes cortes de la destilación TBP en pequeños intervalos de puntos de ebullición y luego a partir de éstos se prepararon las diferentes fracciones características necesarias para su evaluación.

2.3. Caracterización fisicoquímica

Para la caracterización fisicoquímica del crudo de carga, de sus cortes y fracciones características, se realizaron los diferentes ensayos fisicoquímicos de acuerdo a las normas ASTM INTERNATIONAL.

3. RESULTADOS

Los datos obtenidos en este estudio, se los corrigió a la presión de 1 atm y temperatura de 15,6°C, pero para los que sean pertinentes esta transformación.

3.1 Caracterización fisicoquímica y análisis cromatográfico del crudo de carga

La Tabla 1 contiene las propiedades fisicoquímicas del crudo de carga de la Refinería Estatal Esmeraldas.

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas del crudo de carga

Propiedad	Procedimiento	Resultado
Densidad API a 15,6°C	ASTM- D287	24,6
Densidad Relativa a 15,6°C	ASTM D- 1298	0,9065
Factor de caracterización, Kuop	UOP - 375	11,55
Viscosidad Cinemática, cSt	ASTM D- 445	
a 25 °C		75,64
a 40 °C		38,28
a 50 °C		24,60
a 100 °C		6,81
Punto de vertido,°C	ASTM D- 97	-37
Punto de inflamación,°C	ASTM D- 56	10,4
Presión de vapor reid, kPa	ASTM D- 323	22,75
Residuos carbonosos Conradson,%peso	ASTM D- 189	8,6971
Residuos carbonosos Ramsbotton,%peso	ASTM D- 524	7,0000
Cenizas,%peso	ASTM D- 482	0,0482
Insolubles en normal heptano,%peso	ASTM D- 3279	9,27
Parafinas,%peso	DIN EN 12606-1	2,33
Impurezas		
Agua,%volumen	ASTM D- 4006	0,20
Agua y sedimentos, %volumen	ASTM D- 4007	0,25
Sedimentos, %peso	ASTM D- 487	0,0184
Azufre, %masa	ASTM D- 4294	1,3564
Sal,lbNaCl/1000BBL crudo	ASTM D- 3230	9,47
Nitrógeno total, ppm	HACH- 875	2423,42
Metales		
Hierro, mg/l	ASTM D- 5863	0,465
Cobre, mg/l		<0,05
Níquel, mg/l		4,32
Vanadio, mg/l		9,008
Sodio, mg/l		0,041

En la Tabla 2 consta el análisis cromatográfico de los componentes livianos presentes en el crudo de carga.

Tabla 2. Análisis DHA de los componentes livianos presentes en el crudo de carga

Componente	% peso
Etano C ₂ H ₆	0,0094
Propano C ₃ H ₈	0,0817
n-Butano C ₄ H ₁₀	0,2564
i-Butano C ₄ H ₁₀	0,0720
Total	0,4195
n-Pentano C ₅ H ₁₂	0,3750
i-Pentano C ₅ H ₁₂	0,3149
>Hexano C ₆ H ₁₄	7,8021
Total	8,4920

3.2 Resultados de la destilación TBP del crudo de carga y propiedades de las fracciones obtenidas.

En la tabla 3 se indican los resultados de destilación TBP y las propiedades principales de las fracciones obtenidas.

Tabla 3. Propiedades de las fracciones obtenidas por destilación TBP del crudo de carga

Intervalo de Ebullición, °C	Temperatura media ponderada, °C	%Volumen acumulado	%Masa acumulado	Índice de refracción	Azufre, ppm	Peso molecular	Densidad relativa a 15,6°C	Densidad relativa a 20°C	Factor de caracterización Kuop	Índice de correlación
42-57	50	0,30	0,19	1,392	23	88	0,6899	0,6943	12,09	20,77
57-72	65	1,70	1,29	1,39	32	95	0,6983	0,6859	12,13	18,04
72-87	80	2,50	1,93	1,393	32	96	0,6989	0,6948	12,30	12,18
87-102	95	3,45	2,66	1,397	69	100	0,7058	0,7016	12,35	9,85
102-117	110	4,95	3,92	1,403	108	110	0,7171	0,7131	12,32	9,98
117-132	125	7,05	5,63	1,408	168	120	0,7285	0,7244	12,28	10,61
132-147	140	9,35	7,54	1,413	252	125	0,7413	0,7371	12,22	12,23
147-162	155	12,95	10,49	1,419	475	135	0,7533	0,7493	12,17	13,78
162-177	170	13,45	10,86	1,432	780	140	0,7807	0,7773	11,87	22,90
177-192	185	14,45	11,73	1,436	1150	152	0,7829	0,7794	11,97	20,34
192-207	200	16,75	13,74	1,437	1191	160	0,7900	0,7869	11,99	20,33
207-222	215	18,75	15,44	1,442	1606	170	0,7987	0,7955	11,99	21,27
222-237	230	18,85	16,78	1,447	2204	185	0,8105	0,8072	11,93	23,88
237-252	245	22,85	20,40	1,455	2799	190	0,8234	0,8201	11,86	27,21
252-267	260	27,05	24,15	1,458	2731	200	0,8287	0,8258	11,90	27,07
267-282	275	31,25	27,99	1,464	3841	210	0,8435	0,8405	11,80	31,57
282-297	297	34,65	31,07	1,470	3465	235	0,8502	0,8472	11,86	31,25
312-327	320	36,15	32,23	1,483	4691	250	0,8722	0,8690	11,72	38,42
327-342	335	38,35	34,26	1,486	10225	260	0,8772	0,8740	11,75	38,80
342-357	350	42,65	38,41	1,488	10974	280	0,8834	0,8805	11,76	39,80
357-372	365	47,35	42,85	1,492	11949	295	0,8899	0,8871	11,77	41,02
372-387	380	51,25	48,40	1,496	11978	310	0,8964	0,8935	11,77	42,33
387-402	395	54,85	53,71	1,50	13563	310	0,9200	0,9170	11,56	51,84
402-417	410	58,65	57,49	-	14093	342	0,9218	0,9188	11,62	51,12
417-447	432	59,15	57,98	-	15396	370	0,9380	0,9349	11,54	56,49
447-462	455	61,55	59,69	-	15398	390	0,9582	0,9549	11,42	63,92
462-477	470	64,55	62,36	-	15777	410	0,9607	0,9571	11,47	63,77

3.3 Destilación TBP del crudo de carga y propiedades características de los cortes

En las figuras que se indican a continuación se puede apreciar los datos obtenidos experimentalmente.

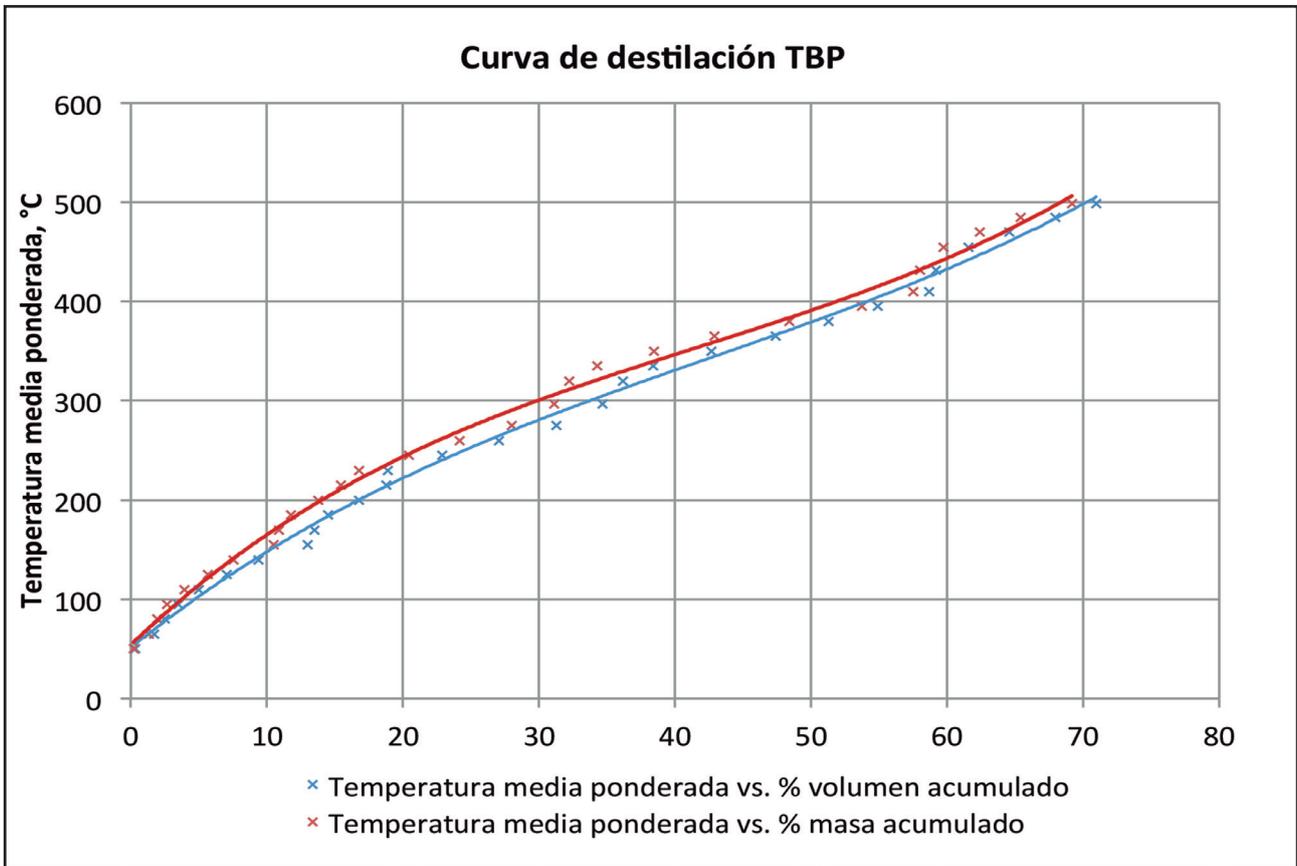


Figura 1. Curva de destilación TBP del crudo de carga.

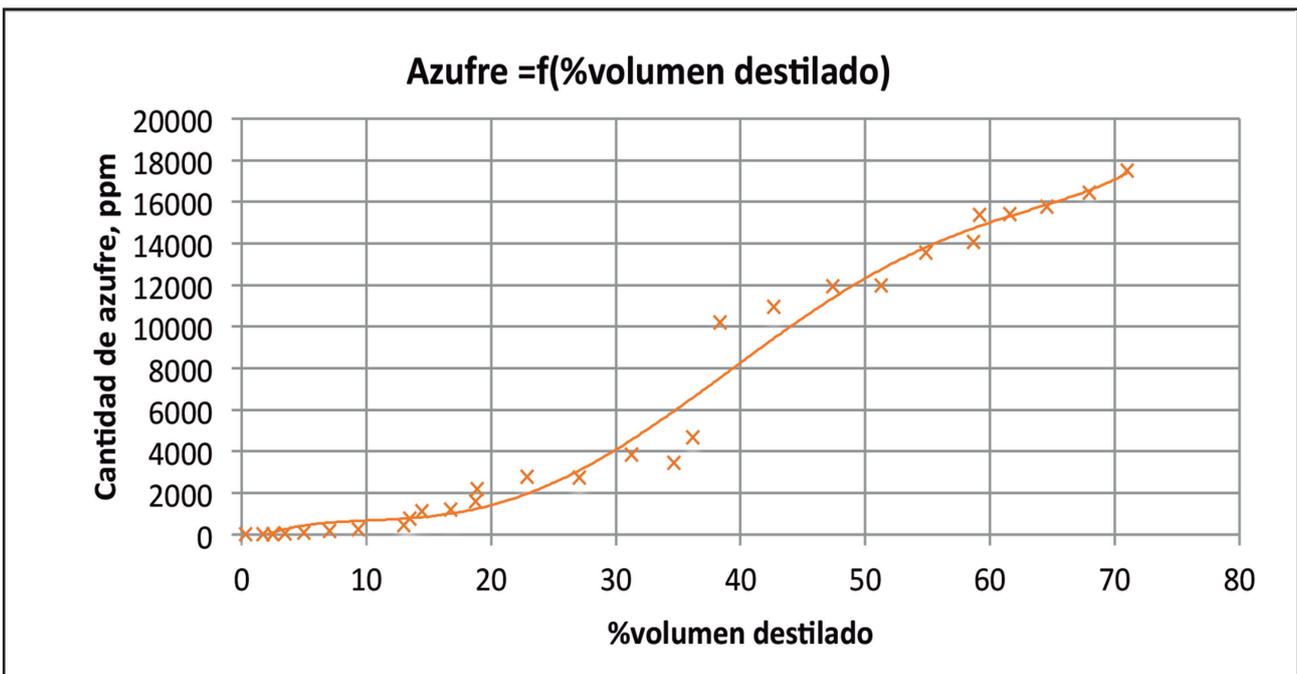


Figura 2. Contenido de azufre presente en las fracciones obtenidas por destilación TBP.

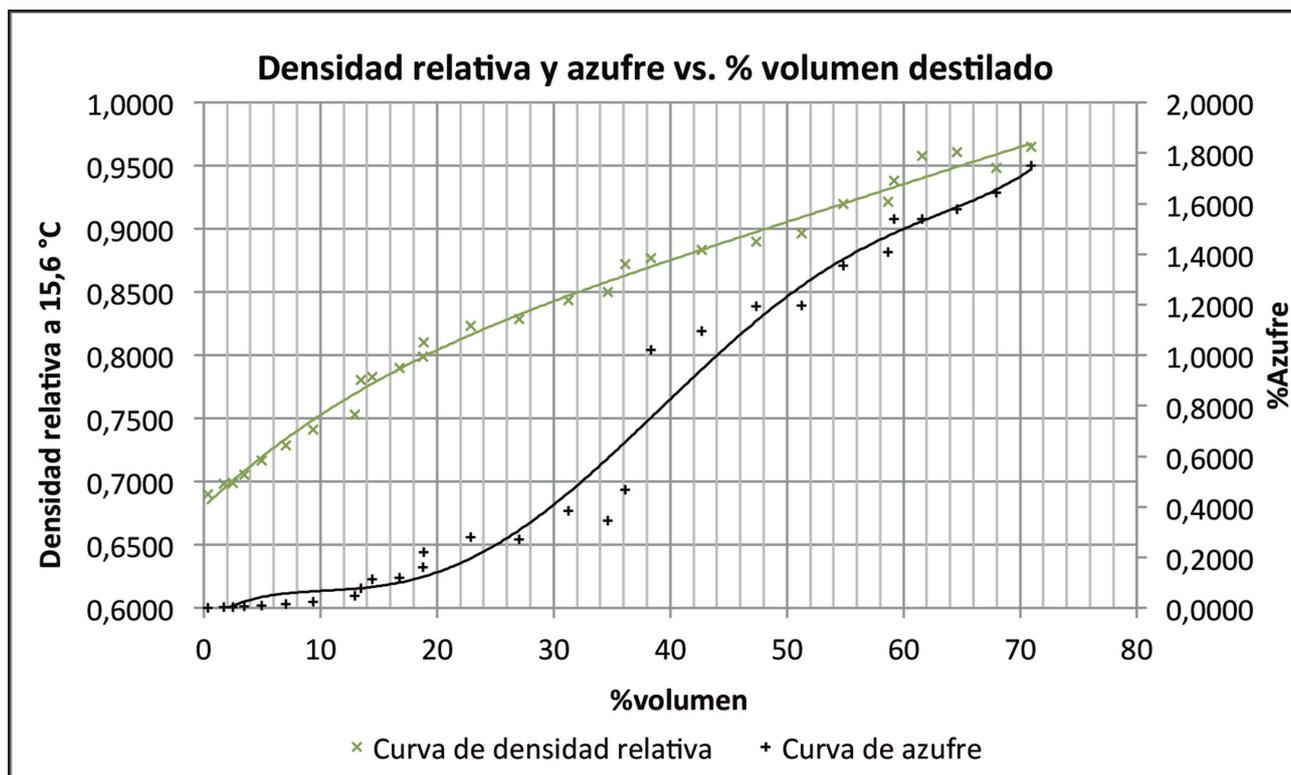


Figura 3. Comparación de la densidad relativa y contenido de azufre de los diferentes cortes vs. %volumen recuperado del crudo de carga.

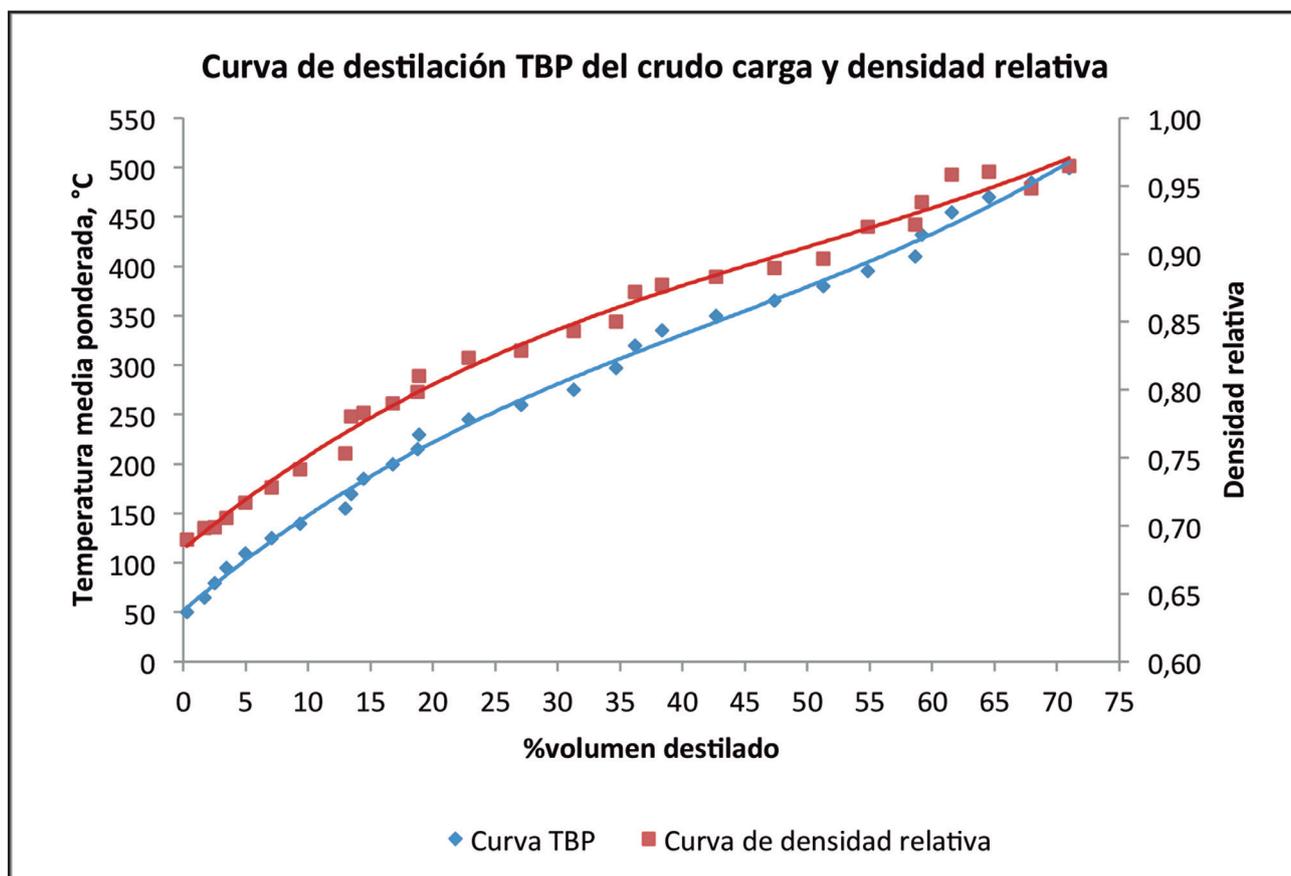


Figura 4. Comparación entre las curvas de destilación TPB y la de densidad relativa del crudo de carga.

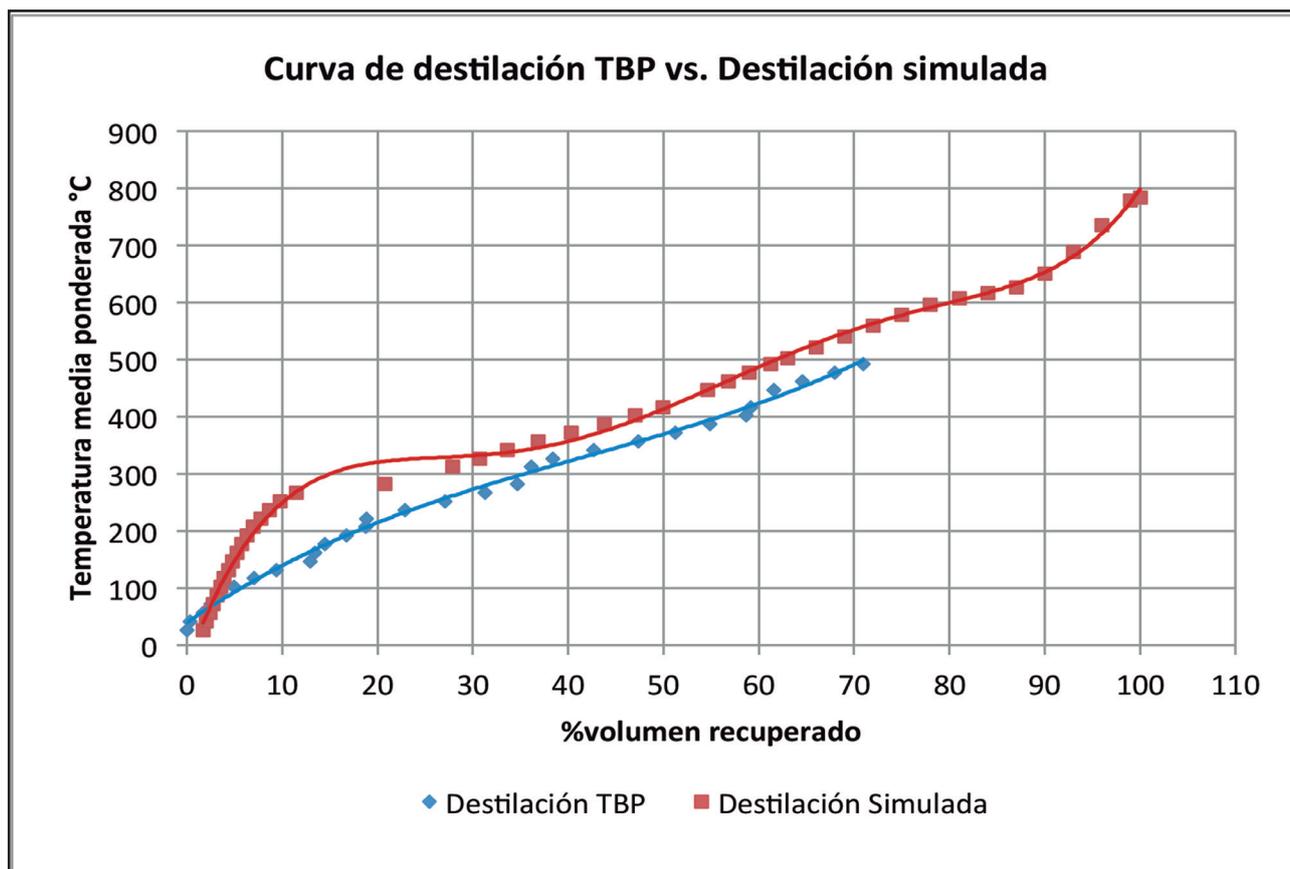


Figura 5. Comparación entre las curvas de destilación TBP y la de destilación simulada.

Tabla 4. Rendimiento y densidad relativa media para los cortes obtenidos por destilación TBP del crudo de carga.

Fracciones obtenidas por destilación TBP	%volumen	Densidad relativa media	Rango de corte °C
Nafta ligera	2,50	0,6938	27-87
Nafta pesada	11,95	0,7375	87-192
Kerosene	12,60	0,8063	192-267
Diésel	9,10	0,8563	267-342
Gasóleo ligero	22,50	0,9125	342-417
Gasóleo pesado	12,30	0,958	417-506
Total	70,95	-	-
Residuo	29,05	-	-

La figura 6 establece las curvas denominadas propiedades-rendimientos que se realizó en base al criterio del autor James Gary.

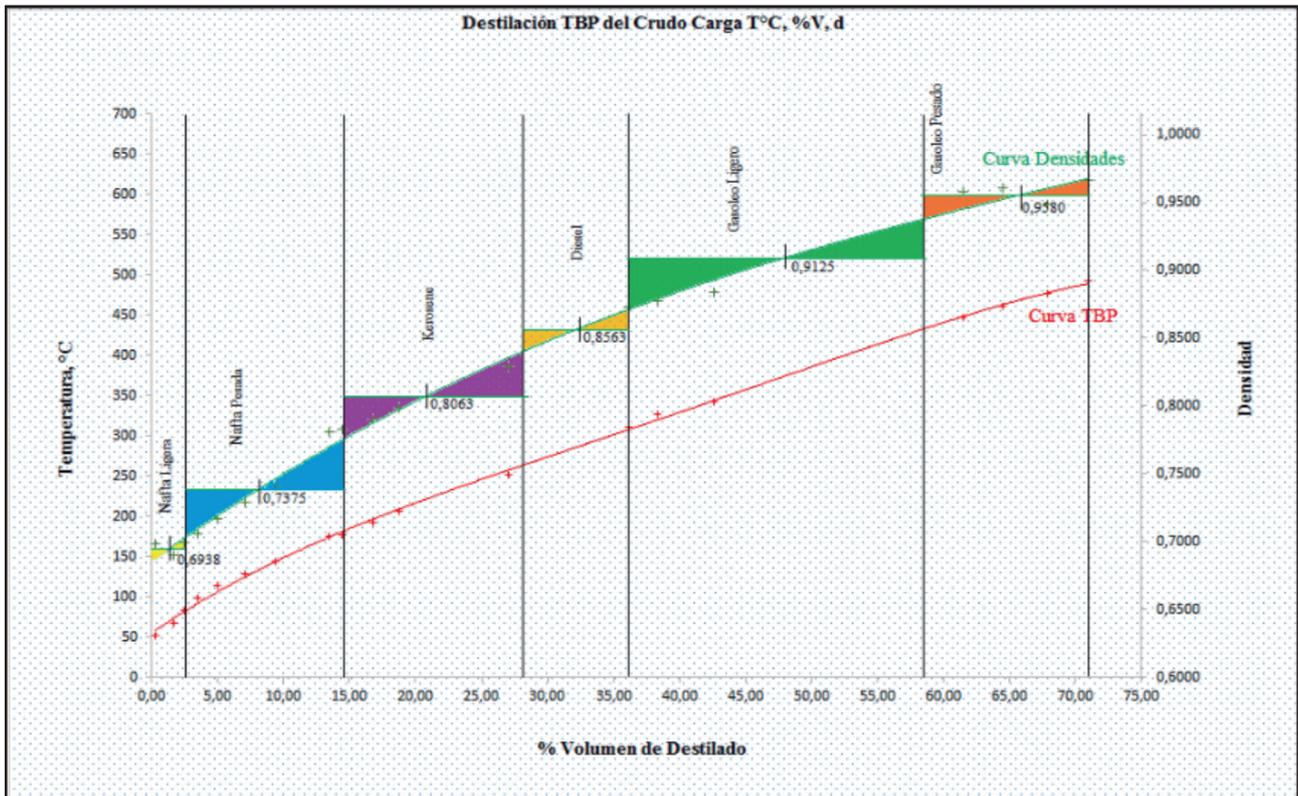


Figura 6. Curva de rendimiento del crudo carga.

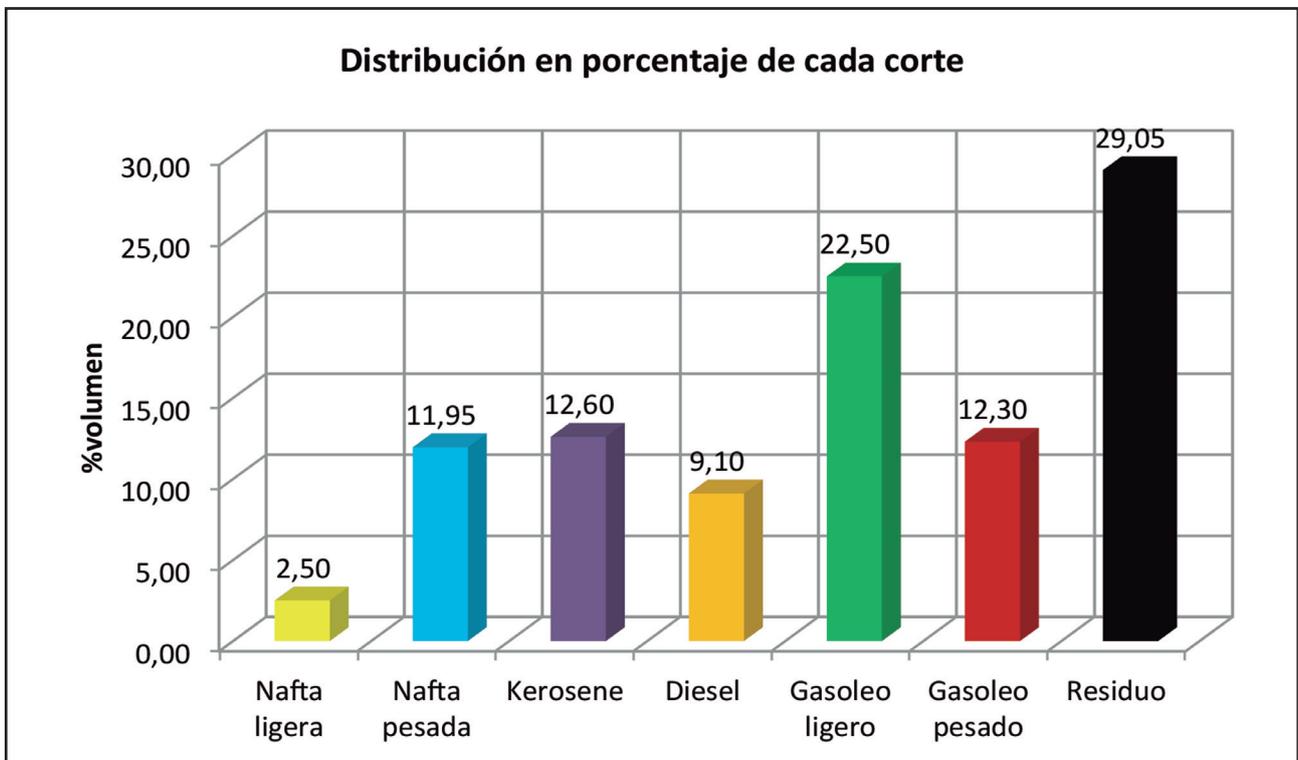


Figura 7. Distribución en porcentaje de cada corte del crudo de carga.

3.4 Caracterización fisicoquímica de fracciones livianas, medianas y pesadas de destilación TBP

Tabla 5. Caracterización fisicoquímica de fracciones livianas

Propiedad	Procedimiento	Corte: (27-72)°C	Corte (102-207)°C
Rendimiento, % Volumen	ASTM D 5236	1,70	11,75
Rendimiento, % Peso		1,29	9,57
Localización en crudo % Volumen		0,0-1,70	1,70-13,45
Localización en crudo % Peso		0,0-1,29	1,29-10,86
Peso molecular		92	106
Análisis PNA	ASTM D-3238		
% Parafínicos		81,07	71,77
% Aromáticos		6,73	9,72
% Nafténicos		12,19	18,51
Densidad API a 15,6 °C	ASTM D-287	84,2	60,7
Densidad Relativa a 15,6 °C	ASTM D-1298	0,6560	0,7362
Color ASTM	ASTM D-1500	<0,5	<0,5
Azufre total, % peso	ASTM D-4294	0,0004	0,0288
Corrosión al cobre 3 h, 50°C	ASTM D-130	1A	1A
Índice de Refracción	ASTM D-1218	1,392	1,413
Contenido de gomas sin lavar, mg/100 ml	ASTM D-381	27,8	<0,5
Contenido de gomas lavadas, mg/100 ml		3,0	<0,5
Presión de Vapor Reid, kPa	ASTM D-323	81,36	44,82
Destilación ASTM, °C	ASTM D-86		
IBP		33	47
5 %vol		37	60
10 %vol		43	67
20 %vol		53	78
30 %vol		61	93
40 %vol		69	101
50 %vol		78	115
60 %vol		86	130
70 %vol		90	147
80 %vol		104	164
90 %vol		123	192
95 %vol		139	200
FBP		161	233
Recuperado, %vol		98	98
Presión, mm Hg	760	760	

Tabla 6. Caracterización fisicoquímica de fracciones medianas

Propiedad	Procedimiento	Corte: (177-267)°C	Corte: (267-327)°C
Rendimiento, % Volumen		13,60	9,10
Rendimiento, % Peso	ASTM D-5236	13,30	8,08
Localización en crudo, % Volumen		13,45-27,05	27,05-36,15
Localización en crudo, % Peso		10,86-24,15	24,15-32,23
Peso molecular		164	200
Análisis PNA	ASTM D-3238		
%Parafínicos		52,52	49,84
%Aromáticos		4,72	12,04
%Nafténicos		42,76	38,12
Densidad API a 15,6°C	ASTM D-287	42,6	34,8
Densidad Relativa a 15,6°C	ASTM D-1298	0,8128	0,8509
Color ASTM	ASTM D-1500	<0,5	<0,5
Azufre total,% peso	ASTM D-1294	0,1845	0,5896
Corrosión a la lámina de cobre	ASTM D-130	1A	1A
Viscosidad Cinemática a 50°C	ASTM D-445	1,33	-
Viscosidad a 37,8 °C, cSt		-	2,88
Viscosidad a 40 °C, cSt		-	2,69
Índice de refracción	ASTM D-1218	1,448	1,470
Punto de inflamación,°C	ASTM D-93	60,4	82,4
Punto de vertido,°C	ASTM D-976	-71	-44
Contenido de gomas sin lavar, mg/100 ml	ASTM D-381	0,2	-
Contenido de gomas lavadas, mg/100 ml	ASTM D-381	<0,5	-
Destilación ASTM,°C	ASTM D-86		
IBP		132	190
5%vol		160	210
10 %vol		168	221
20%vol		175	238
30 %vol		181	244
40%vol		188	258
50%vol		198	267
60%vol		207	276
70%vol		216	284
80%vol		223	296
90%vol		245	313
95%vol			260
FBP		289	350
Recuperado, %vol		99	99
Presión, mm Hg		760	760

Tabla 7. Caracterización fisicoquímica de fracciones pesadas

Propiedad	Procedimiento	Corte: (327-417)°C	Corte: (417-506)°C
Rendimiento, %Volumen	ASTM D- 5236	22,50	12,30
Rendimiento, %Peso		25,26	11,67
Localización en crudo, %Volumen		36,15-58,65	58,65-70,95
Localización en crudo, %Peso		32,23-57,49	57,49-69,17
Densidad API a 15,6°C	ASTM D-287	25,9	16,4
Densidad Relativa a 15,6°C	ASTM D-1298	0,8987	0,9569
Color ASTM	ASTM D-1500	1,5	7
Azufre total,%peso	ASTM D-4294	1,2114	1,6241
Carbón Conradson	ASTM D-189	0,0524	0,0349
Carbón Ramsbotton	ASTM D-524	0,1100	0,090
Cenizas, %peso	ASTM D-482	0,0010	0,029
Viscosidad Saybolt a 50°C	ASTM D-88	57,88	474,05
Sodio, mg/L	ASTM D- 5863	0,280	0,385
Vanadio, mg/L		< 0,700	< 0,700
Cobre, mg/L		< 0,050	< 0,050
Níquel, mg/L		< 0,150	< 0,150
Hierro, mg/L		< 0,250	0,274

4. DISCUSIÓN

- Los resultados del presente estudio corresponden al petróleo de carga de la Refinería Estatal Esmeraldas que tiene 24,6°API; agua y sedimentos 0,25% en volumen; contenido de sal de 9,47 lb NaCl/1000 BBL crudo y contenido de azufre de 1,36 % en masa. La destilación de puntos de ebullición verdaderos (TBP), se la efectuó en una columna de destilación POLIDIST, Modelo PETRODIST 200 S.
- Al representar la temperatura de cabeza y el volumen de destilado (Ver Figura 1), se obtiene una curva con una ligera dispersión en los datos, dispersión debida al cambio de presión de vacío que se debe efectuar para poder destilar las fracciones pesadas, y al uso de un modelo matemático para convertir la temperatura de la presión de vacío utilizada y obtener las correspondientes, referidas a una atmósfera.
- Las Figuras 2 y 3 ratifican que el contenido de azufre se incrementa a medida que las fracciones van haciéndose más pesadas; así por ejemplo para el último corte destilado, la cantidad de azufre es de 17.510 ppm.
- En la Figura 5 se comparan los resultados obtenidos mediante destilación simulada (método cromatográfico) y destilación TBP. En esta última se llega hasta una temperatura de 492°C con una recuperación de destilado del 71% en volumen, debido a que se debería incrementar la presión de vacío para poder destilar los hidrocarburos de mayor peso molecular.
- De acuerdo a la Figura 7 los rendimientos de las fracciones características del crudo de carga de la Refinería Estatal Esmeraldas fueron determinados con base en las notas del autor James Gary (2003), por lo que si variamos los rangos TBP para sus cortes cambian los rendimientos.

- El cálculo de la distribución del rendimiento, expresado en % en volumen, se lo realizó de acuerdo al criterio de James Gary (2003). Los resultados se los aprecia en las Figuras 6 y 7.

5. CONCLUSIONES

- El Crudo de Carga de la Refinería Estatal Esmeraldas tiene un factor de caracterización Kuop de 11,55 lo que indica que tiene una base de hidrocarburos mixtos.
- Al realizar la distribución de cada corte consecutivo, se obtuvo un porcentaje en volumen total de: naftas 14,45%; queroseno 12,60%; diésel 9,10%; gasóleos 34,80% y un residuo de 29,05%, debido a que el petróleo crudo de carga tiene una densidad API de 24,6, concluyendo que el crudo de carga tiene un mayor rendimiento en productos pesados y residuo.
- El contenido de azufre para el corte (267-327)°C, es de 0,59%, concentración que debe disminuirse para que cumpla con los requisitos del diesel.
- Para el corte (177-267)°C el punto de vertido es -71 °C, por lo que se concluye que el rango establecido presenta un punto bajo que no va a originar inconvenientes al ser usado como combustible base para Jet Fuel, es decir, que puede soportar bajas temperaturas cuando los aviones se encuentran a una altura del orden de 10 km.
- La destilación ASTM para el corte (27-72)°C se encuentra de acuerdo con la especificación máxima para la formulación de gasolinas.
- El contenido de residuo carbonoso, para los cortes de gasóleo es menor a 1% y no guarda relación con la temperatura de corte establecida.
- El corte (102-207)°C, no cumple con la especificación de destilación ASTM, debido a que superan los requisitos máximos de tempera-

tura del 90% de recuperado y punto final establecidos para gasolinas. Esto implica que se debe reducir el rango de destilación para poder realizar cortes que presenten mayor cantidad en compuestos livianos y así evitar componentes pesados que alteren los datos finales de temperatura.

- El corte (267-327)°C tiene 49,8% de hidrocarburos parafínicos y un número de cetano de 47,3; lo que ratifica la relación directa que existe entre el número de cetano y la concentración de hidrocarburos parafínicos.
- El residuo de la destilación TBP, tiene un contenido de parafinas de 2,25%; concentración que facilitaría la producción de asfaltos.
- Los rendimientos de las fracciones características del crudo de carga de la Refinería Estatal Esmeraldas son los siguientes: nafta ligera 2,50; nafa pesada, 11,95; queroseno, 12,60%; diésel 9,10; gasóleo ligero 22,50, gasóleo pesado 12,30 y residuo de destilación 29,50.

AGRADECIMIENTO

Los autores expresan su agradecimiento a EP PETROECUADOR, a la Gerencia de Refinación, al personal de la Refinería Estatal Esmeraldas y personal técnico de estas empresas, por su ayuda y asesoramiento técnico para el desarrollo de este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- ASTM, American Society of Testing and Materials. Petroleum Products, Lubricants and Fossil Fuels. Volume 05-02, Philadelphia, Editorial ASTM, 2005.
- CALLE, Luis. Química y características del petróleo y productos básicos, Universidad Central del Ecuador. Escuela de Ingeniería Química, Quito. 2008.
- GARY, J.; HANDWERK, G. Refino de Pe-

- tróleo, 1ra edición, Barcelona, Editorial Reverté. Reimpresión 2003.
- RIAZI, M.R. Characterization and Properties, Petroleum Fractions. American Society For Testing and Materials, ASTM, First Edition, Philadelphia, 2005.
 - SALVATORE, J. RAND. Significance of Test for Petroleum Products. American Society For Testing and Materials, ASTM, Seventh Edition, Bridgeport, 2010.
 - TOTTEN, George. Fuels and Lubricants Handbook: Technology, Properties, Performance and Testing. American Society For Testing and Materials, ASTM, First Edition, Philadelphia, 2005.
 - WAUQUIER, J. P. El Refino del petróleo, petróleo crudo, productos petrolíferos y esquemas de fabricación, Instituto Francés del Petróleo. Ediciones Díaz de Santos, Madrid, 2004.

