

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y MANUFACTURERA**

---

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO**

---

**EVALUACIÓN TÉCNICA  
DE CRUDOS NOR-PERUANOS  
TIPO HCT PARA LA OBTENCIÓN  
DE BASES LUBRICANTES VÍA  
EXTRACCIÓN POR SOLVENTES  
SELECTIVOS**

---

**VOLUMEN II  
(ANEXOS)**

**BACHILLERES:**

**ILICH LAMA BUSTINZA  
ERIK PAOLO MENZALA CARBAJAL**

**LIMA, NOVIEMBRE 1999**

# INDICE GENERAL

RECONOCIMIENTOS .....	I
PROLOGO .....	II
RESUMEN .....	III
ENUNCIADO DE LA TESIS .....	IV
INTRODUCCIÓN .....	1

## VOLUMEN I

### CAPÍTULO I

#### CONCEPTOS GENERALES

I.1. COMPOSICIÓN DEL PETRÓLEO CRUDO.....	2
I.1.1. HIDROCARBUROS ALIFÁTICOS.....	2
I.1.1.1. Hidrocarburos Alifáticos Saturados .....	3
I.1.1.2. Hidrocarburos Alifáticos Insaturados .....	4
I.1.2. HIDROCARBUROS CÍCLICOS .....	4
I.1.2.1. Hidrocarburos Nafténicos .....	4
I.1.2.2. Hidrocarburos Aromáticos .....	5
I.1.3. HIDROCARBUROS MIXTOS .....	6
I.1.4. COMPUESTOS AZUFRADOS .....	6
I.1.5. COMPUESTOS OXIGENADOS .....	8
I.1.6. COMPUESTOS NITROGENADOS .....	8
I.1.7. RESINAS Y ASFALTENOS .....	9

<b>I.2. NATURALEZA QUÍMICA DEL PETRÓLEO CRUDO</b> .....	10
I.2.1. CRUDOS DE BASE PARAFÍNICA .....	10
I.2.2. CRUDOS DE BASE NAFTÉNICA .....	10
I.2.3. CRUDOS DE BASE ASFÁLTICA .....	11
I.2.4. CRUDOS DE BASE MIXTA .....	11
<b>I.3. BASES LUBRICANTES</b> .....	12
I.3.1. BASES LUBRICANTES SINTÉTICAS .....	12
I.3.2. BASE LUBRICANTE MINERAL .....	13
I.3.2.1. Bases Lubricantes de Naturaleza Parafínica....	14
I.3.2.2. Bases Lubricantes de Naturaleza Nafténica....	14

## CAPÍTULO II

### ANTECEDENTES Y SELECCIÓN DEL ESQUEMA DE OBTENCIÓN DE BASES LUBRICANTES PARAFÍNICAS

<b>II.1. ESQUEMA ACTUAL DE LA REFINERÍA TALARA</b> .....	16
II.1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL... ..	16
II.1.1.1. Unidad de Destilación Primaria.....	18
II.1.1.2. Complejo de Craqueo Catalítico.....	19
II.1.1.2.1. Unidad de Destilación al Vacío .....	19
II.1.1.2.2. Unidad de Craqueo Catalítico.....	20
II.1.3.3. Planta de Lubricantes.....	21
<b>II.2. CRUDOS PROCESADOS ACTUALMENTE EN LA REFINERÍA TALARA</b> .....	22
<b>II.3. MANUFACTURA DE BASES LUBRICANTES.TECNOLOGIAS</b> .....	23
II.3.1. HIDROTRATAMIENTO .....	24
II.3.1.1. Hidrorrefinamiento.....	25
II.3.1.2. Desparafinado Catalítico.....	26

II.3.1.3. Hidroacabado (Hydrofinishing) .....	26
II.3.2. REFINACIÓN POR SOLVENTES SELECTIVOS.....	29
II.3.2.1. Desaromatizado.....	29
II.3.2.2. Desparafinado.....	30
II.3.2.3. Acabado con tierras Adsorbentes.....	30
<b>II.4. CRITERIO DE SELECCIÓN DEL ESQUEMA TECNOLÓGICO DE TRATAMIENTO.....</b>	<b>32</b>
<b>II.5. METODOLOGÍA GENERAL.....</b>	<b>35</b>

**CAPÍTULO III**  
**SELECCIÓN DEL CRUDO**

<b>METODOLOGÍA GENERAL DEL CAPÍTULO III .....</b>	<b>37</b>
<b>III.1. PRIMERA ETAPA: EVALUACIÓN PRELIMINAR .....</b>	<b>39</b>
III.1.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN .....	39
III.1.2. METODOLOGÍA DEL PROCEDIMIENTO APLICADO .....	40
<i>Acotación Metodológica: Destilación TBP .....</i>	<i>41</i>
III.1.3. PROCEDIMIENTO .....	44
III.1.3.1. Elección de Muestras .....	44
III.1.3.2. Determinación de Propiedades Físicas .....	45
III.1.3.2.1. Destilación atmosférica de las muestras...	46
III.1.3.2.2. Cálculo de Temperatura Media Ponderada....	49
III.1.3.2.3. Cálculo del Peso Molecular .....	52
III.1.3.3. Determinación de Parámetros de Caracterización .....	54
III.1.3.3.1. Factor de Caracterización $K_{UOP}$ .....	54
III.1.3.3.2. Determinación de la Naturaleza Química....	56
III.1.4. CONCLUSIONES PRELIMINARES .....	61
III.1.5. MEZCLAS DE CRUDOS PRE-SELECCIONADAS .....	63

<b>III.2. SEGUNDA ETAPA: ELECCIÓN FINAL.....</b>	<b>64</b>
III.2.1. FUNDAMENTO .....	64
III.2.2. METODOLOGÍA DEL PROCEDIMIENTO APLICADO .....	64
III.2.3. PROCEDIMIENTO .....	65
III.2.3.1. Destilación Atmosférica. ASTM D-285.....	65
III.2.3.2. Destilación al Vacío. ASTM D-1160 .....	70
III.2.3.3. Caracterización .....	72
III.2.4. DECISIÓN FINAL .....	75

**CAPÍTULO IV**  
**OBTENCIÓN DE DESTILADOS LUBRICANTES Y**  
**ACEITE DESASFALTADO**

<b>METODOLOGÍA GENERAL DEL CAPÍTULO IV .....</b>	<b>77</b>
--	-----------

<b>IV.1. RANGOS FINALES DE CORTE DE LOS DESTILADOS LUBRICANTES.....</b>	<b>79</b>
IV.1.1. OBTENCIÓN DEL CRUDO REDUCIDO .....	79
IV.1.2. DESTILACIÓN AL VACÍO AL 5% EN VOLUMEN DE CRUDO REDUCIDO .....	80
IV.1.2.1. Procedimiento establecido para la Acumulación de Cortes provenientes de la Destilación al Vacío .....	83
IV.1.3. DETERMINACIÓN DE RANGOS VOLUMÉTRICOS FINALES DE CORTE.....	87
IV.1.3.1. Metodología .....	87
IV.1.3.2. Predicción de Rangos Volumétricos Finales....	88
IV.1.3.2.1. Cálculo de Viscosidades de los Destilados a partir de las Especificaciones de las Bases Lubricantes .....	89
IV.1.3.2.2. Determinación de los Rangos volumétricos...	90

## **IV.2. OBTENCIÓN DE DESTILADOS LUBRICANTES Y ACEITE**

<b>DESASFALTADO</b> .....	93
IV.2.1. PROCEDIMIENTO PARA LA ACUMULACIÓN DE DESTILADOS LUBRICANTES Y RESIDUO DE VACÍO .....	93
IV.2.1.1. Acumulación de Crudo Reducido .....	93
IV.2.1.2. Verificación de Rangos de Corte Predichos.....	94
IV.2.1.3. Acumulación de destilados lubricantes y el Residuo de vacío.....	96
IV.2.2. OBTENCIÓN DEL ACEITE DESASFALTADO.....	100
IV.2.2.1. Procedimiento Desarrollado en el Laboratorio.....	102

## **CAPÍTULO V**

### **REFINACIÓN SELECTIVA**

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	106
<b>METODOLOGÍA GENERAL DEL CAPÍTULO V</b> .....	107
<b>Acotación Metodológica</b> .....	109
<b>V.1. DESAROMATIZADO: REFINACIÓN CON FURFURAL</b> .....	111
V.1.1. MARCO TEÓRICO .....	111
V.1.1.1. Criterio de Selección del Solvente .....	112
V.1.1.2. El Solvente: Furfural.....	115
V.1.2. FACTORES CONDICIONANTES DEL TRATAMIENTO EN EL LABORATORIO .....	117
V.1.2.1. Temperatura .....	119
V.1.2.2. Relación Solvente/Carga .....	120
V.1.2.3. Etapas Operativas .....	121
V.1.2.3.1. Agitación .....	121
V.1.2.3.2. Separación de Fases .....	122

V.1.3. PROCEDIMIENTO DESARROLLADO EN EL LABORATORIO...	123
V.1.4. TRABAJOS EXPERIMENTALES EN LABORATORIO .....	128
V.1.4.1. Determinación de condiciones operatorias.	
Destilados N°1, N°2 y N°4 .....	128
V.1.4.1.1. Consideraciones Iniciales .....	128
V.1.4.1.2. Destilado Lubricante N°1 .....	129
V.1.4.1.3. Destilado Lubricante N°2 .....	133
V.1.4.1.4. Destilado Lubricante N°4 .....	137
V.1.4.2. Determinación de condiciones operativas.	
Destilado N°3 y DAO .....	141
V.1.4.2.1. Destilado Lubricante N°3 .....	141
V.1.4.2.2. Aceite Desasfaltado (DAO) .....	144
V.1.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL TRATAMIENTO DE .DESAROMATIZADO DE LOS DESTILADOS LUBRICANTES Y EL DAO .....	144
<b>V.2. DESPARAFINADO: REFINACIÓN CON MEK-TOLUENO .....</b>	<b>149</b>
V.2.1. MARCO TEÓRICO .....	149
V.2.1.1. Constitución de la Cera .....	150
V.2.1.2. Criterio de Selección del Solvente .....	151
V.2.1.3. El Bisolvente: MEK-TOLUENO .....	152
V.2.2. FACTORES CONDICIONANTES DEL TRATAMIENTO EN EL LABORATORIO .....	155
V.2.2.1. Relación MEK-Tolueno en el Bisolvente .....	156
V.2.2.2. Relación de Dilución .....	158
V.2.2.3. Diferencial de Temperatura.Enfriamiento .....	159
V.2.2.4. Filtración .....	161
V.2.3. PROCEDIMIENTO DESARROLLADO EN EL LABORATORIO...	164
V.2.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS EN EL TRATAMIENTO DE DESPARAFINADO DE LOS DESTILADOS LUBRICANTES Y EL DAO.....	167
<b>V.3.DECOLORADO: ACABADO CON TIERRAS ADSORBENTES .....</b>	<b>170</b>
V.3.1. MARCO TEÓRICO .....	170
V.3.1.1. Material Adsorbente. Tierras Fuller .....	170

V.3.2. DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DE TRATAMIENTO EN EL LABORATORIO .....	172
V.3.2.1. Metodología .....	172
V.3.3. PROCEDIMIENTO DESARROLLADO EN EL LABORATORIO .....	177
V.3.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL TRATAMIENTO DE DECOLORADO.....	180
<b>V.4. BASES LUBRICANTES FINALES.....</b>	<b>182</b>
V.4.1. ESPECIFICACIONES DE LAS BASES LUBRICANTES FINALES .....	182

**CAPÍTULO VI**  
**ASPECTOS ECONÓMICOS**

<b>VI.1. INFLUENCIA DEL PROCESAMIENTO DE LA MEZCLA DE CRUDOS SELECCIONADA SOBRE EL ESQUEMA DE PRODUCCION EN RFTL...</b>	<b>191</b>
VI.1.1. CALCULO DEL TIEMPO DE OPERACIÓN DE UDP CON MEZCLA DE CRUDOS MAYNA-70%/ONO-30%.....	192
VI.1.2. ANALISIS DE PRODUCCION EN LAS UNIDADES DE RFTL .....	193
VI.1.3. CALCULO DE NÚMERO DE DIAS QUE SE DEBE ALMACENAR C.RED. (MAYNA-30%/ONO-70%) "EN EXCESO" .....	196
<b>VI.2. COSTO DE OPORTUNIDAD DE PRODUCCION.....</b>	<b>202</b>
VI.2.1. PLANTEAMIENTO Y RESULTADOS.....	203
VI.2.2. ACOTACIONES DEL CÁLCULO.....	207
<b>CONCLUSIONES FINALES.....</b>	<b>211</b>
<b>RECOMENDACIÓN FINAL .....</b>	<b>212</b>



## VOLUMEN II

<b>ANEXOS</b> .....	213
1. DATOS EXPERIMENTALES DESTILACIÓN ASTM D86 PARA LAS NUEVE MUESTRAS DE CRUDOS .....	214
2. CURVAS DE DESTILACIÓN ASTM D-86 DE LAS NUEVE MUESTRAS DE CRUDOS .....	216
3. CURVAS DESTILACIÓN TBP (Proveniente de Destilación D86) DE LAS NUEVE MUESTRAS. PROYECCIONES POLINÓMICAS ..	219
4. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE LA TEMPERATURA MEDIA PONDERADA Y $K_{top}$ . PROGRAMA EN LENGUAJE BASIC .....	224
5. ANÁLISIS DE PSEUDOCOMPONENTES DE LAS NUEVE MUESTRAS DE CRUDOS. RESULTADOS .....	230
6. ANÁLISIS DE TENDENCIAS DE PESO MOLECULAR POR TIPO DE MEZCLA DE CRUDOS .....	239
7. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA (n.d.M a 20°C)...	241
8. DETERMINACIÓN PORCENTUAL APROXIMADA POR TIPO DE CARBONOS Y ANILLOS - n.d.M. NATURALEZA QUÍMICA DE LAS NUEVE MUESTRAS DE CRUDOS .....	243
9. DESTILACIONES ASTM D-285 HEMPEL (Atmosférica). CORRIDAS BASE PARA EL PROMEDIO PRESENTADO EN EL CUADRO N°8 .....	244
10. COMPARACIÓN POR CORTE - DESTILACIÓN HEMPEL PARA LAS TRES MEZCLAS DE CRUDOS PRE-SELECCIONADAS .....	245
11. FACTORES QUE INTERVIENEN SOBRE LA PERFORMANCE DE LA DESTILACIÓN AL VACÍO EN DISTINTAS CORRIDAS PARA UNA MISMA CARGA .....	246
12. DESTILACIONES ASTM D-1160 (Vacío). CORRIDAS BASE PARA EL PROMEDIO PRESENTADO EN EL CUADRO N°9 .....	247
13. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO PARA LA TRANSFORMACIÓN DE TEMPERATURAS ASTM D-1160 (10 mmHg) A TBP (760 mmHg) ...	248

<b>14.</b>	RESULTADOS POR ETAPA DE CÁLCULO PARA TRANSFORMACIÓN DE TEMPERATURAS ASTM D-1160 (10 mmHg) A TBP (760 mmHg) .....	251
<b>15.</b>	CÁLCULO DE LA CORRELACIÓN TBP GLOBAL (CTG) Ó NEXO ENTRE DESTILACIÓN ATMOSFÉRICA Y DESTILACIÓN AL VACÍO ...	252
<b>16.</b>	CURVA DE DESTILACIÓN TBP DE LA MEZCLA DE CRUDOS MAYNA-70%/ONO-30% .....	260
<b>17.</b>	MEZCLAS DE CRUDOS MAYNA-50%/ONO-50% Y MAYNA-30%/ONO-70%. HOJAS TÉCNICAS.....	261
<b>18.</b>	ACUMULACIÓN DE CRUDO REDUCIDO POR DESTILACIÓN HEMPEL. CRUDO MAYNA-70%/ONO-30%. ETAPA: DETERMINACIÓN DE RANGOS DE CORTE FINAL .....	262
<b>19.</b>	CARACTERIZACIÓN DEL CRUDO REDUCIDO. PROCEDIMIENTOS DE CÁLCULO .....	263
<b>19-A.</b>	DATOS EXPERIMENTALES DE TEMPERATURA ASTM D-1160 (10 mmHg). DESTILACIÓN AL VACÍO AL 5 % .....	272
<b>19-B.</b>	PROCEDIMIENTO ESTADÍSTICO PRUEBA 'T'. ESTIMACIÓN DEL INTERVALO MEDIO .....	273
<b>19-C.</b>	ANÁLISIS POR PSEUDOCOMPONENTES: CRUDO REDUCIDO HCT MAYNA-70%/ONO-30%. RESULTADOS ETAPA: DETERMINACIÓN DE RANGOS FINALES DE CORTE .....	275
<b>20.</b>	CARACTERIZACIÓN DE LOS 14 CORTES DE VACÍO AL 5% EN VOLUMEN .....	276
<b>20-A.</b>	CÁLCULO DE VISCOSIDADES ACUMULADAS.....	323
<b>20-B.</b>	PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DE VISCOSIDADES DE UNA MEZCLA DE 2 ACEITES. BASADO EN LA NORMA ATM D-341 .....	325
<b>20-C.</b>	PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DE VISCOSIDADES DE CORTES ACUMULADOS - OILMIX. BASADO EN LA NORMA ASTM D-341 .....	327
<b>20-D.</b>	CÁLCULO DEL ÍNDICE DE VISCOSIDAD A PARTIR DE VISCOSIDADES A 40°C Y 100°C - MÉTODO NUMÉRICO. BASADO EN LA NORMA ASTM D2270 .....	329
<b>20-E.</b>	DATOS PARA GRAFICAR CURVA RENDIMIENTO - % AZUFRE. CATORCE CORTES DE VACÍO D-1160 .....	331
<b>20-F.</b>	RESULTADOS EN DETALLE DEL ANÁLISIS n.d.M REALIZADO A LOS CATORCE CORTES DE VACÍO .....	332

<b>20-G.</b> CÁLCULO DE CONSTANTES PROPIAS PARA LA ECUACIÓN RIAZI-DAUBERT. Pour Point. Catorce Cortes de Vacío del Crudo Reducido HCT Mayna-70/ONO-30 .....	333
<b>20-H.</b> RESULTADOS AJUSTADOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS CATORCE CORTES DE VACÍO .....	334
<b>20-I.</b> CURVAS INSTANTÁNEAS Y DE RENDIMIENTO DE PROPIEDADES IMPORTANTES.....	335
<b>20-J.</b> RELACIÓN ENTRE GRAVEDAD API Y ALGUNAS PROPIEDADES INSTANTÁNEAS .....	336
<b>21.</b> PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO PARA LA PREDICCIÓN DE VISCOSIDADES DE DESTILADOS A PARTIR DE DATOS DE ESPECIFICACIÓN DE BASES LUBRICANTES .....	337
<b>22.</b> ACUMULACIÓN DE CRUDO REDUCIDO MAYNA-70%/ONO-30%. DATOS COMPLETOS DESTILACIÓN HEMPEL. ETAPA: OBTENCIÓN DE DESTILADOS LUBRICANTES Y ACEITE DESASFALTADO .....	340
<b>23.</b> DATOS COMPLEMENTARIOS DEL CRUDO REDUCIDO ACUMULADO PARA LA ETAPA DE OBTENCIÓN DE DESTILADOS LUBRICANTES Y ACEITE DESASFALTADO .....	342
<b>24.</b> ESTADÍSTICA DE LAS DESTILACIONES ASTM D-1160 REALIZADAS AL CRUDO REDUCIDO ACUMULADO.ETAPA DE OBTENCIÓN DE DESTILADOS LUBRICANTES Y ACEITE DESASFALTADO .....	345
<b>25.</b> NATURALEZA QUÍMICA DE LOS DESTILADOS ACUMULADOS. CUADRO RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO n.d.M .....	347
<b>26.</b> EFECTO DE LA TEMPERATURA Y RELACIÓN SOLVENTE/CARGA SOBRE LOS RENDIMIENTOS EN VOLUMEN. PRUEBAS DE TENDENCIA PARA DESTILADO N°1 Y DESTILADO N°2 .....	348
<b>27.</b> INTERPOLACIÓN DE LAGRANGE .....	349
<b>28.</b> RESULTADOS DEL CÁLCULO n.d.M POR CADA DESTILADO Y DAO SEGÚN ETAPA DE REFINACIÓN .....	351
<b>29.</b> ANÁLISIS DE LA NATURALEZA QUÍMICA EN LA REFINACIÓN SELECTIVA .....	352

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

**(Al final de cada Volumen)**

# **ANEXOS**

ANEXO N°1:  
DATOS EXPERIMENTALES DESTILACIÓN ASTM D86 PARA LAS NUEVE MUESTRAS DE CRUDOS

DESTILACIÓN D-86.

MUESTRA: MAY-70/ONO-30

API	29,7				
Sp.Gr.	0,8778				
% Volumen Destilado	Datos Observados, T(°F)			Estadísticas	
	Corrida N°1	Corrida N°2	Corrida N°3	Promedio	Desv.Est.
0	187	-	185	186	1,4
5	289	280	272	280	8,5
10	365	-	355	360	7,1
15	437	426	429	431	5,7
20	494	490	488	490	4,0
25	540	539	-	540	0,7
30	574	566	569	570	4,0
35	591	-	601	598	7,1
40	611	603	621	612	9,0
45	634	-	638	636	2,8
50	653	-	656	655	2,1
55	683	-	681	682	1,4
60	699	-	700	700	0,7
65	731	-	732	732	0,7
70	767	-	768	768	0,7

DESTILACIÓN D-86.

MUESTRA: MAY-60/ONO-60

API	31,1				
Sp.Gr.	0,8702				
% Volumen Destilado	Datos Observ. T(°F)			Estadísticas	
	Corrida N°1	Corrida N°2	Promedio	Desv.Est.	
0	174	174	174	0,0	
5	258	248	253	7,1	
10	329	326	328	2,1	
15	363	373	368	7,1	
20	441	443	442	1,4	
25	493	492	493	0,7	
30	529	530	530	0,7	
35	557	557	557	0,0	
40	578	581	580	2,1	
45	603	605	604	1,4	
50	630	631	631	0,7	
55	659	660	660	0,7	
60	685	688	687	2,1	
65	713	718	716	3,5	
70	743	752	746	6,4	

DESTILACIÓN D-86.

MUESTRA: MAY-30/ONO-70

API	32,8				
Sp.Gr.	0,8612				
% Volumen Destilado	Datos Observados, T(°F)			Estadísticas	
	Corrida N°1	Corrida N°2	Corrida N°3	Promedio	Desv.Est.
0	158	158	-	157	1,4
5	238	233	242	238	4,5
10	291	288	282	290	2,1
15	347	340	342	343	3,8
20	408	-	402	405	4,2
25	457	447	454	453	5,1
30	495	494	-	495	0,7
35	525	-	524	525	0,7
40	-	547	550	549	2,1
45	-	572	575	574	2,1
50	597	592	600	596	4,0
55	626	-	620	623	4,2
60	669	649	661	660	10,1
65	707	684	695	695	11,5
70	739	716	725	727	11,6

DESTILACIÓN D-86.

MUESTRA: MAYNA (100%)

API	27,3				
Sp.Gr.	0,8911				
% Volumen Destilado	Datos Observ. T(°F)		Estadísticas		
	Corrida N°1	Corrida N°2	Promedio	Desv.Est.	
0	210	209	210	0,7	
6	334	333	334	0,7	
10	440	437	439	2,1	
15	512	508	510	2,8	
20	559	558	559	1,0	
25	600	600	600	0,0	
30	633	627	630	4,2	
35	651	649	650	1,4	
40	664	663	664	0,7	
45	678	675	676	0,7	
50	692	689	691	2,1	
55	708	707	708	0,7	
60	730	730	730	0,0	
65	767	763	765	2,8	
70	801	798	800	2,1	

DESTILACIÓN D-86.

MUESTRA: ONO (100%)

API	35,5				
Sp.Gr.	0,8473				
% Volumen Destilado	Datos Observ. T(°F)		Estadísticas		
	Corrida N°1	Corrida N°2	Promedio	Desv.Est.	
0	129	137	133	5,7	
5	194	200	197	4,2	
10	248	257	253	6,4	
15	291	300	296	8,4	
20	328	333	330	4,9	
25	366	374	370	5,7	
30	400	409	405	6,4	
35	434	443	439	6,4	
40	469	472	471	2,1	
45	498	492	495	4,2	
50	520	525	523	3,5	
55	557	558	558	0,7	
60	586	584	585	1,4	
65	612	608	610	2,8	
70	631	621	626	7,1	

DESTILACIÓN D-86.

MUESTRA: COE-70/ONO-30

API	28,3				
Sp.Gr.	0,8855				
% Volumen Destilado	Datos Observados, T(°F)			Estadísticas	
	Corrida N°1	Corrida N°2	Corrida N°3	Promedio	Desv.Est.
0	160	176	163	168	8,5
5	244	240	237	240	3,5
10	287	282	284	284	2,5
15	335	332	331	333	2,1
20	386	385	385	385	0,6
25	438	437	440	438	1,5
30	495	490	490	494	3,2
35	520	521	520	520	0,6
40	551	-	549	550	1,4
45	589	585	-	587	2,8
50	598	590	-	594	5,7
55	642	627	-	635	10,8
60	673	656	-	666	9,9
65	702	684	-	693	12,7
70	717	692	-	705	17,7

...CONTINUA ANEXO N°1

**DESTILACIÓN D-86.**

**MUESTRA: COE-50/ONO-50**

API		29,6				
Sp.Gr.		0,8783				
		Datos Observados, T(°F)			Estadísticas	
% Volumen Destilado	Corrida N°1	Corrida N°2	Corrida N°3	Promedio	Desv.Est.	
0	-	178	174	176	2,8	
5	224	-	228	226	2,8	
10	282	287	274	281	6,6	
15	320	324	315	320	4,5	
20	368	367	362	366	3,2	
25	418	416	-	417	1,4	
30	462	461	460	461	1,0	
35	478	-	481	480	2,1	
40	-	499	501	500	1,4	
45	528	534	532	531	3,1	
50	568	568	568	568	0,0	
55	611	628	621	620	8,5	
60	-	651	639	645	8,5	
65	-	672	658	665	9,9	
70	662	700	682	681	19,0	

**DESTILACIÓN D-86.**

**MUESTRA: COE-30/ONO-70**

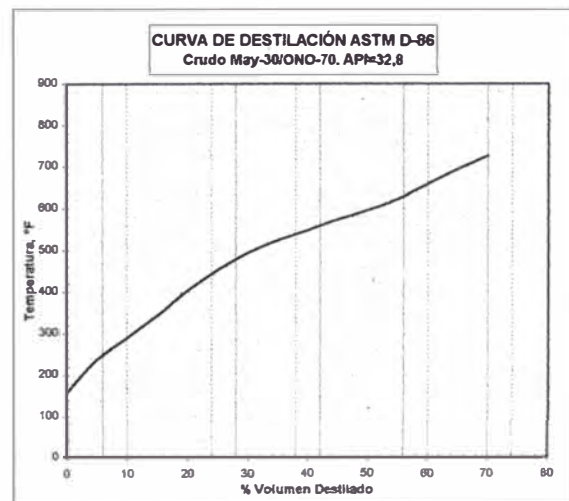
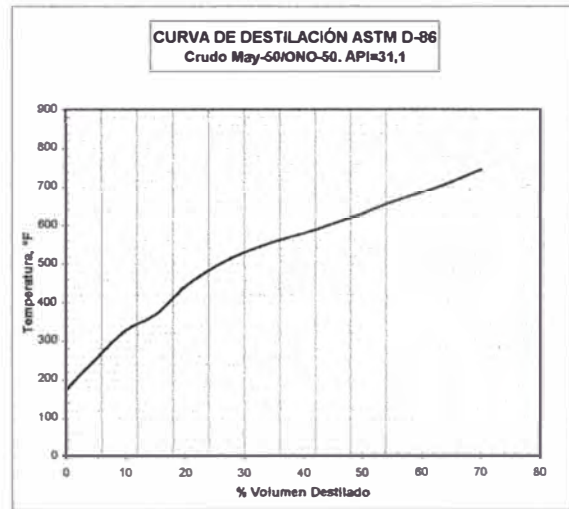
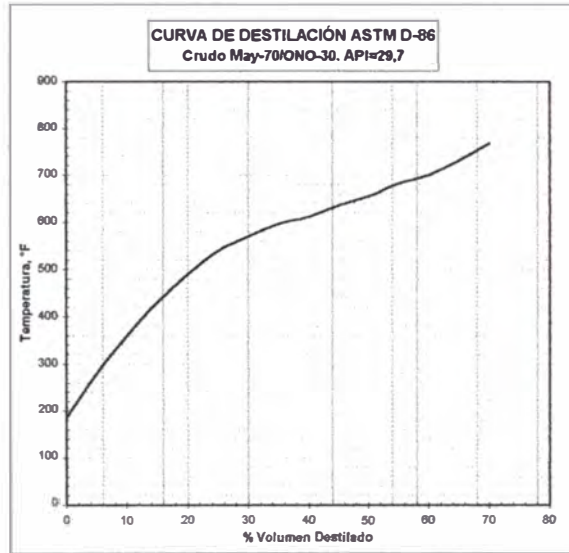
API		32,1				
Sp.Gr.		0,8649				
		Datos Observados, T(°F)			Estadísticas	
% Volumen Destilado	Corrida N°1	Corrida N°2	Promedio	Desv.Est.		
0	167	157	162	7,1		
5	225	225	225	0,0		
10	255	264	260	6,4		
15	298	298	298	0,0		
20	350	333	342	12,0		
25	370	378	374	5,7		
30	416	418	417	1,4		
35	464	446	455	12,7		
40	-	473	473	-		
45	-	511	511	-		
50	-	555	555	-		
55	-	610	610	-		
60	-	647	647	-		
65	-	674	674	-		
70	-	685	685	-		

**DESTILACIÓN D-86.**

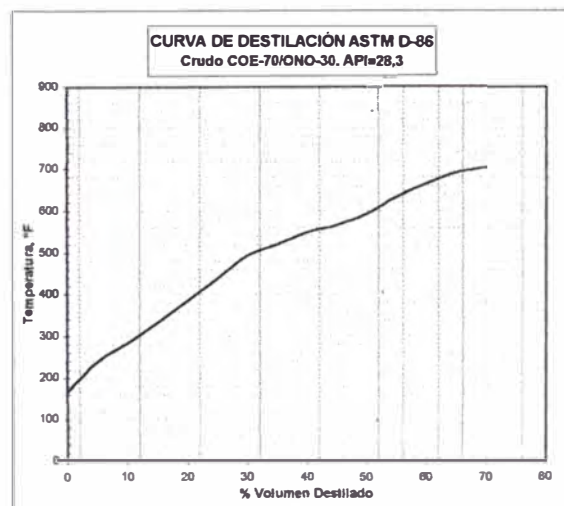
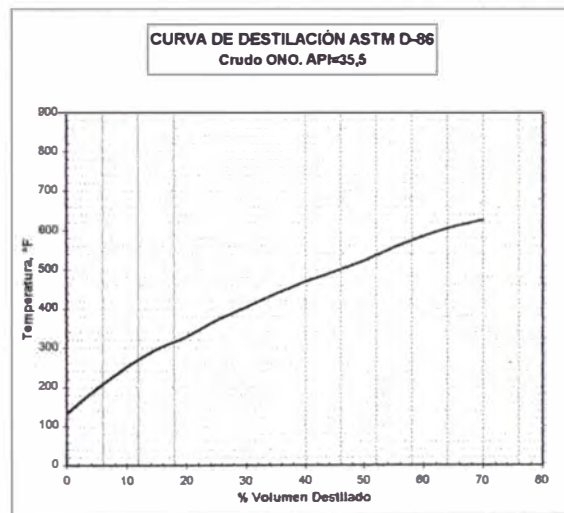
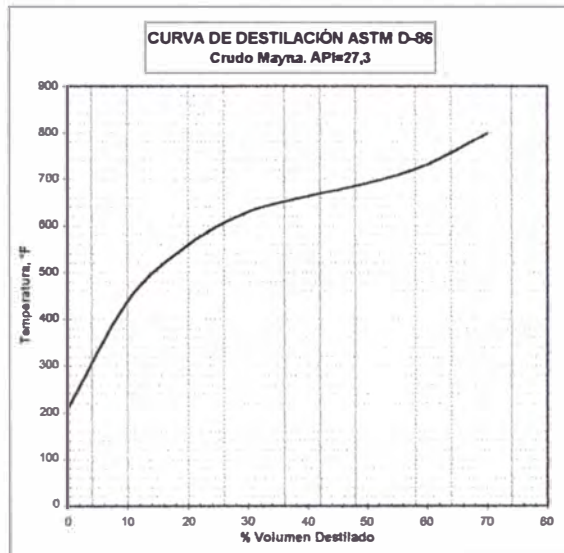
**MUESTRA: COE (100%)**

API		25,0				
Sp.Gr.		0,9042				
		Datos Observados, T(°F)			Estadísticas	
% Volumen Destilado	Corrida N°1	Corrida N°2	Promedio	Desv.Est.		
0	155	188	171	21,8		
5	230	255	243	17,7		
10	292	302	297	7,1		
15	350	368	359	12,7		
20	417	438	427	13,4		
25	487	485	486	1,4		
30	536	543	540	4,9		
35	555	604	580	34,6		
40	597	630	614	23,3		
45	612	637	625	17,7		
50	624	641	633	12,0		
55	652	647	650	3,5		
60	689	661	665	5,7		
65	685	695	690	7,1		
70	744	731	738	9,2		

**ANEXO N°2:**  
**CURVAS DE DESTILACIÓN ASTM D-86 DE LAS NUEVE MUESTRAS**

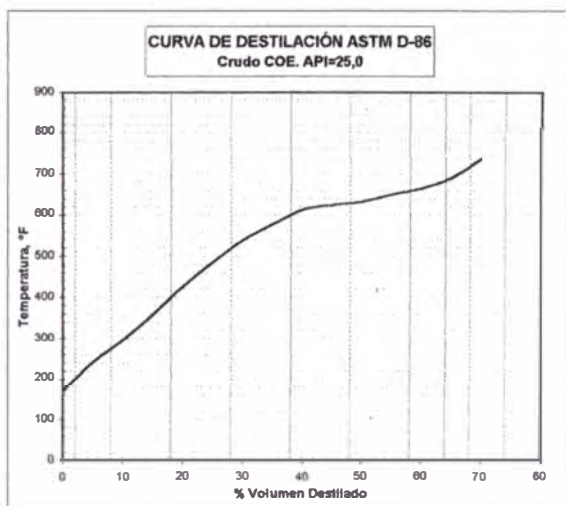
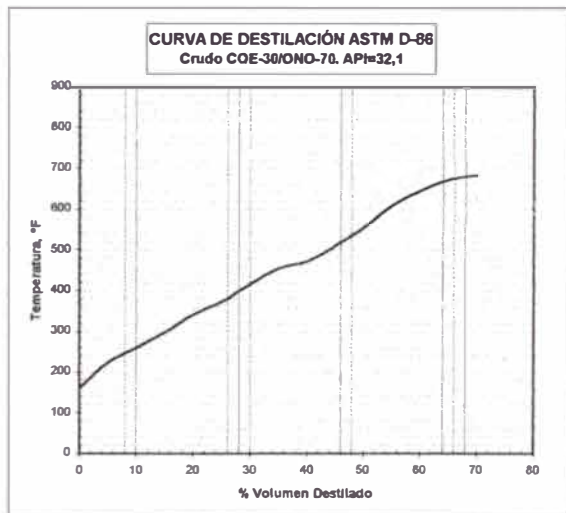
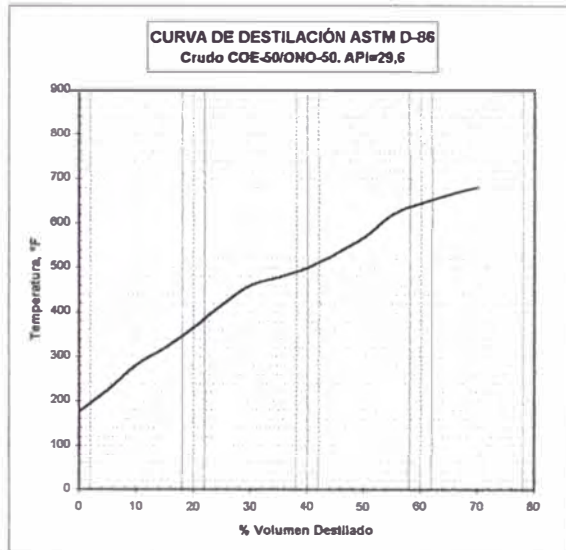


...CONTINUA ANEXO N°2:





...CONTINUA ANEXO N°2:



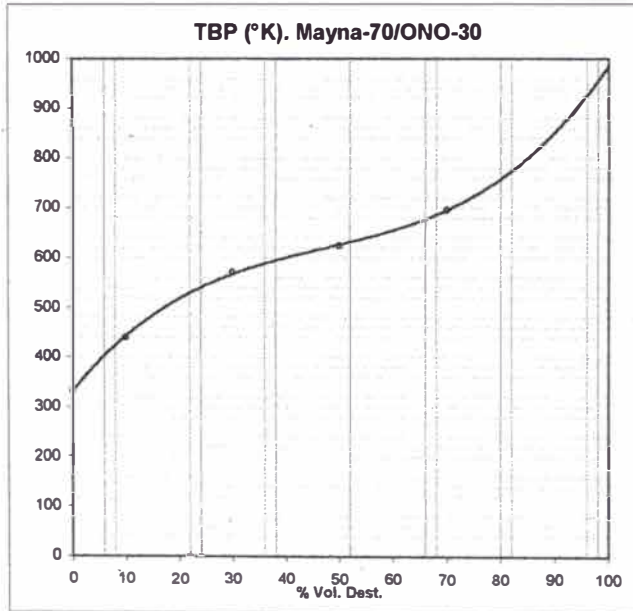
**ANEXO N°3:**

**CURVAS DE DESTILACIÓN TBP (Proveniente de Destilación D-86) DE LAS NUEVE MUESTRAS DE CRUDOS. PROYECCIONES POLINÓMICAS.**

**Crudo: Mayna-70%/ONO-30%**

% Vol.Dest.	T <sub>bp</sub> (K)	T <sub>bt</sub> (K) ajuste
0	332,9	331,5
10	439,6	442,6
30	570,7	567,7
50	625,0	626,8
70	696,6	696,2
80		<b>758,5</b>
90		<b>852,0</b>
100		<b>986,1</b>
Coeficiente Regresión = 0,9998		

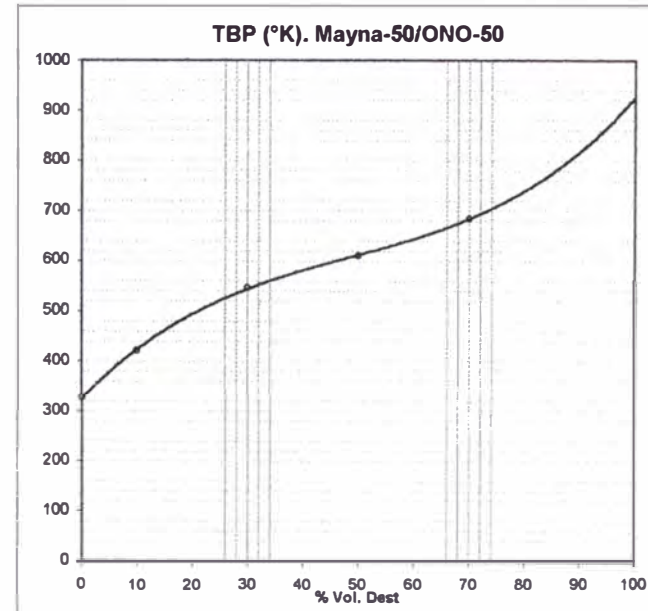
$$TBP (\%V) = 0,0015876*(\%V)^3 - 0,225339*(\%V)^2 + 13,20335*(\%V) + 331,5235$$



**Crudo: Mayna-50%/ONO-50%**

% Vol.Dest.	T <sub>bp</sub> (K)	T <sub>bt</sub> (K) ajuste
0	326,7	325,4
10	420,9	423,7
30	547,6	544,8
50	611,3	613,0
70	685,6	685,2
80		<b>740,7</b>
90		<b>818,5</b>
100		<b>926,0</b>
Coeficiente Regresión = 0,9999		

$$TBP (\%V) = 0,0011885*(\%V)^3 - 0,1731847*(\%V)^2 + 11,43881*(\%V) + 325,4268$$

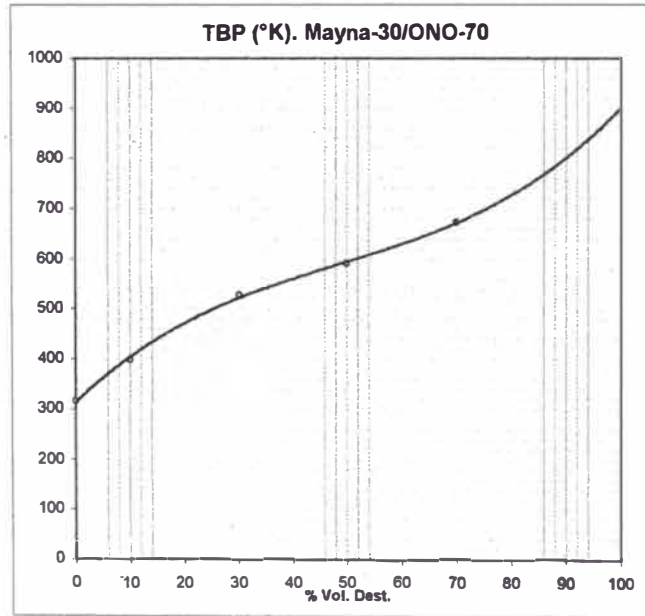


ANEXO N°3: ... CONTINUACIÓN

Crudo: Mayna-30%/ONO-70%

% Vol. Dest.	T <sub>exp</sub> (K)	T <sub>bt</sub> (K) ajuste
0	317,9	315,2
10	398,8	404,7
30	527,4	521,5
50	591,4	594,9
70	673,4	672,6
80		727,8
90		801,9
100		900,8
Coeficiente Regresión = 0,9994		

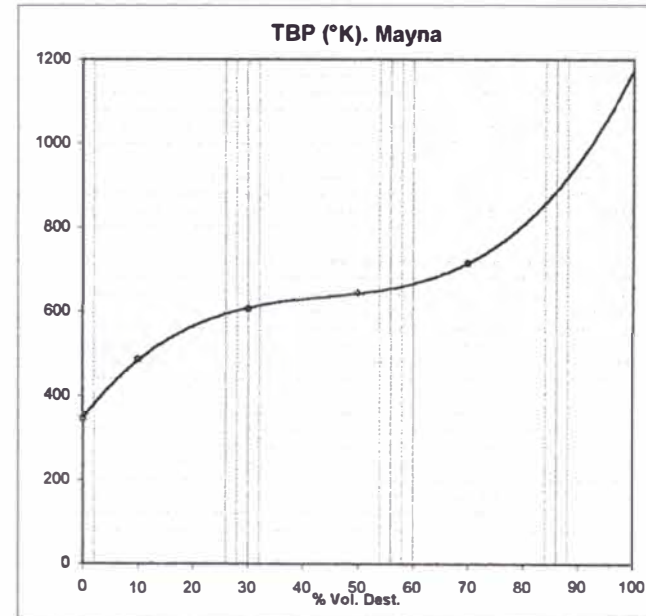
$$TBP (\%V) = 0,00099 * (\%V)^3 - 0,1432818 * (\%V)^2 + 10,28401 * (\%V) + 315,2014$$



Crudo: Mayna

% Vol. Dest.	T <sub>exp</sub> (K)	T <sub>bt</sub> (K) ajuste
0	345,4	346,7
10	485,9	483,0
30	605,4	608,3
50	645,4	643,6
70	715,9	716,3
80		806,5
90		953,7
100		1174,0
Coeficiente Regresión = 0,9998		

$$TBP (\%V) = 0,0026537 * (\%V)^3 - 0,3513651 * (\%V)^2 + 16,87221 * (\%V) + 346,7366$$

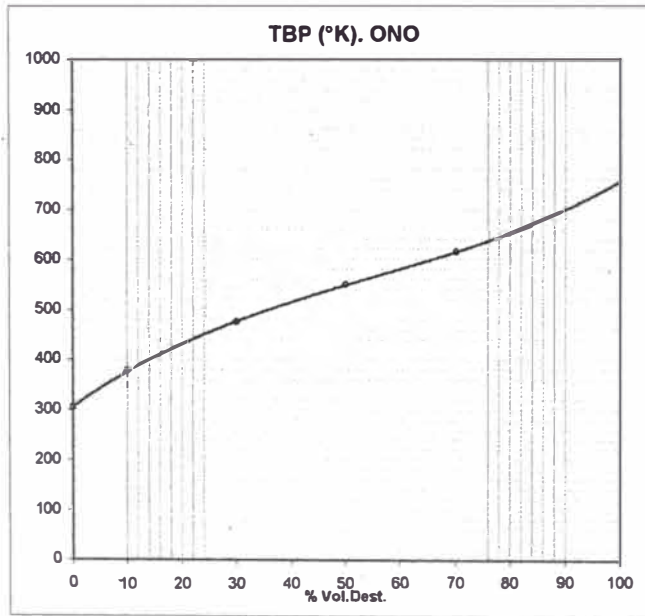


ANEXO N°3: ... CONTINUACIÓN

Crudo: ONO

% Vol.Dest.	T <sub>bp</sub> (K)	T <sub>bt</sub> (K) ajuste
0	305,5	306,2
10	377,4	375,8
30	475,7	477,3
50	550,0	549,0
70	615,0	615,2
80		<b>653,9</b>
90		<b>700,2</b>
100		<b>757,4</b>
Coeficiente Regresión = 0,9999		

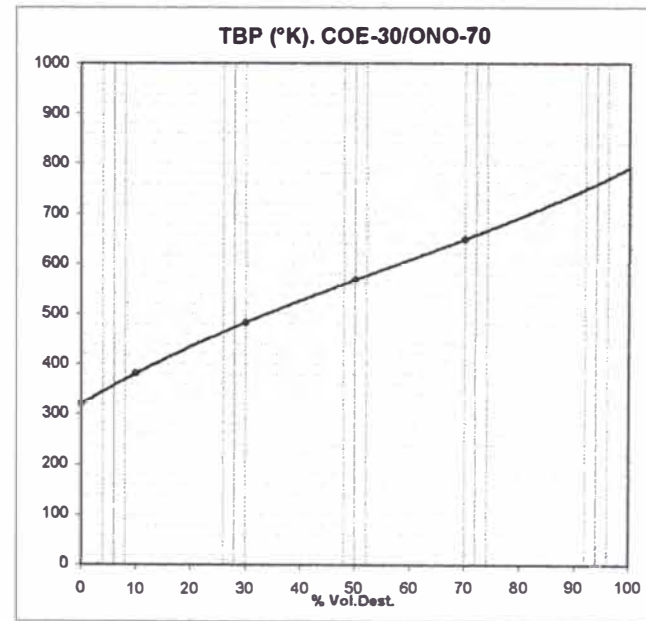
$$TBP (\%V) = 0,0005064 * (\%V)^3 - 0,082849 * (\%V)^2 + 7,732306 * (\%V) + 306,239$$



Crudo: COE-30/ONO-70

% Vol.Dest.	T <sub>bp</sub> (K)	T <sub>bt</sub> (K) ajuste
0	320,5	320,6
10	381,4	381,3
30	482,6	482,7
50	568,0	567,9
70	649,1	649,1
80		<b>692,1</b>
90		<b>738,7</b>
100		<b>790,5</b>
Coeficiente Regresión = 1		

$$TBP (\%V) = 0,0002567 * (\%V)^3 - 0,0434701 * (\%V)^2 + 6,478937 * (\%V) + 320,563$$



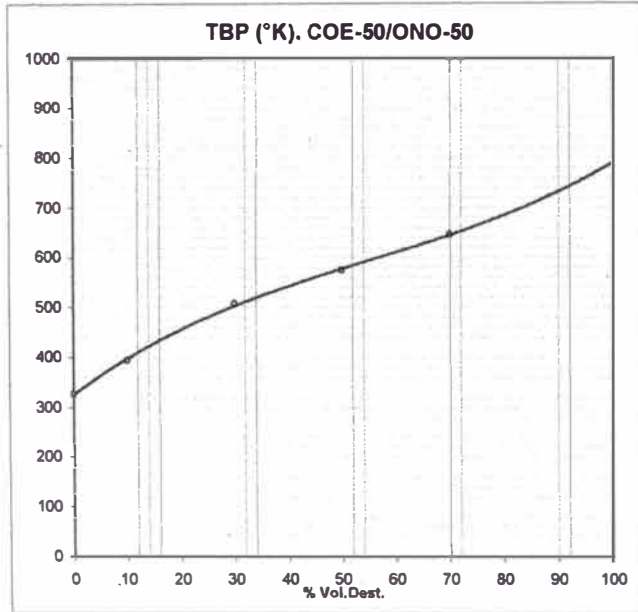
ANEXO N°3 ... CONTINUACIÓN

Crudo: COE-50/ONO-50

% Vol.Dest.	T <sub>bp</sub> (K)	T <sub>bt</sub> (K) ajuste
0	327,7	325,7
10	393,6	397,9
30	507,9	503,6
50	575,4	578,0
70	646,7	646,1
80		685,5
90		732,6
100		790,4

Coeficiente Regresión = 1

$$TBP (\%V) = 0,0005162*(\%V)^3 - 0,0854035*(\%V)^2 + 8,025576*(\%V) + 325,7136$$

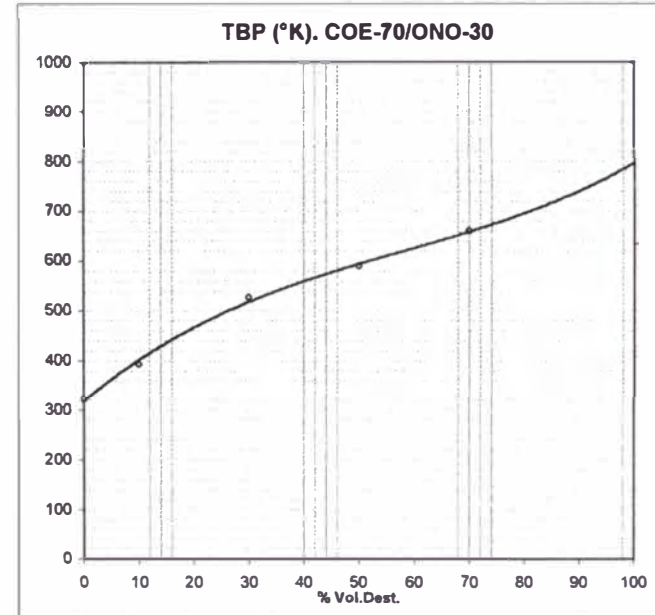


Crudo: COE-70/ONO-30

% Vol.Dest.	T <sub>bp</sub> (K)	T <sub>bt</sub> (K) ajuste
0	322,5	319,1
10	393,6	402,8
30	526,9	519,4
50	590,2	594,7
70	660,7	659,6
80		698,0
90		745,6
100		806,2

Coeficiente Regresión = 0,9989

$$TBP (\%V) = 0,0006504*(\%V)^3 - 0,110378*(\%V)^2 + 9,404502*(\%V) + 319,0937$$

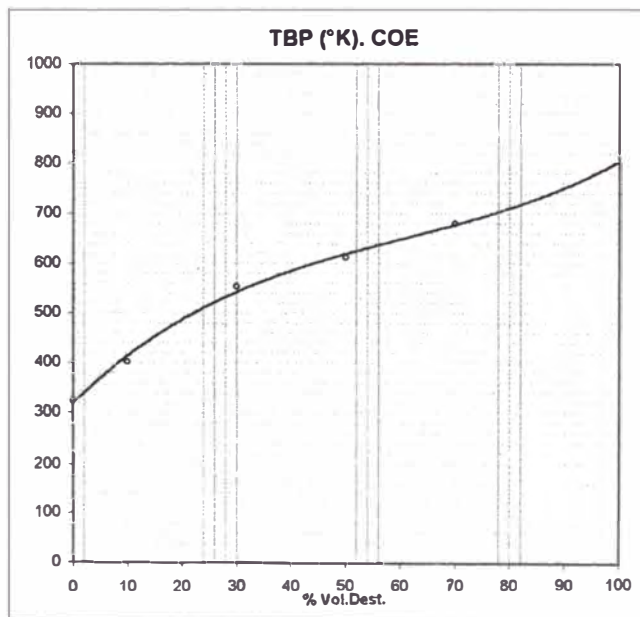


ANEXO N°3: ... CONTINUACIÓN

Crudo: COE

% Vol.Dest.	T <sub>BP</sub> (K)	T <sub>BT</sub> (K) ajuste
0	325,1	320,0
10	402,9	414,0
30	553,4	542,3
50	612,5	619,2
70	679,3	678,2
80		711,6
90		753,1
100		807,0
Coeficiente Regresión = 0,9981		

$$TBP (\%V) = 0,0007012 * (\%V)^3 - 0,1274294 * (\%V)^2 + 10,60099 * (\%V) + 320,0276$$



**ANEXO N°4:  
PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE LA TEMPERATURA MEDIA  
PONDERADA Y KJOP. PROGRAMA EN LENGUAJE BASIC.**

PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

1. Calcular la temperatura de Ebullición Integral ( $T_{ibp}$ ) de todo el rango de ebullición de la mezcla (toda la curva):

$$T_{ibp} = \frac{1}{100} \int_0^{100} T_{bp}(V) \cdot dV \quad \dots(1)$$

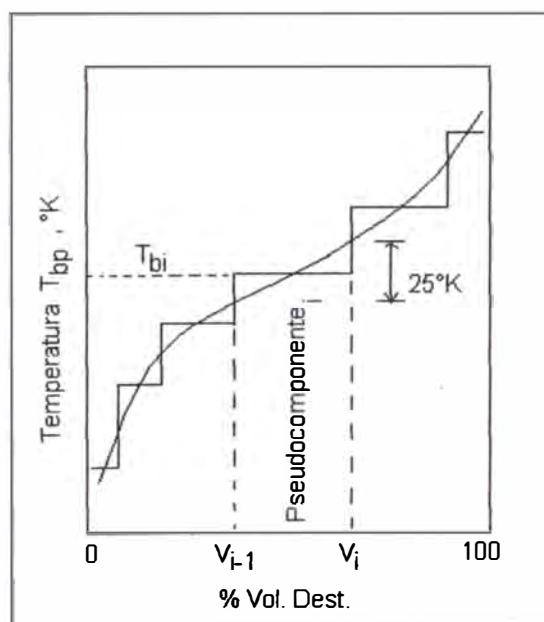


Figura A. División en Pseudocomponentes por el Método Integral

La  $T_{bp}$  (TBP) es una función cúbica que depende de la muestra. Ver Anexo N°5.

$$T_{bp}(V) = a \cdot V^3 + b \cdot V^2 + c \cdot V + d \quad \dots(2)$$

Donde:  $V =$  % volumen destilado

Esta  $T_{ibp}$  es la primera estimación de la TMP (Temperatura Media Ponderada).

Habiendo especificado el número de pseudocomponentes  $N_{pse}$ , se calcula los Puntos de Ebullición ( $T_{bi}$ ) de cada uno de ellos:

$$T_{bi} = \frac{1}{V_i - V_{i-1}} \int_{V_{i-1}}^{V_i} T_{bp}(V) \cdot dV \quad \dots(3)$$

2. A partir de la  $T_{ibp}$  calculada en la ec.(1), y de la gravedad específica de la muestra (gravedad específica global) se obtiene el  $K_{UOP}$  del rango según:

$$K_{UOP} = \frac{1.21644 \cdot (T_b)^{1/3}}{S} \quad \dots(4)$$

Donde:

$K_{UOP}$  = Factor de Caracterización

$T_b = T_{bp}$  = Temperatura Normal de Ebullición de un componente puro o para una mezcla, la TMP, °K

Gravedad Específica =  $\rho$  (densidad en  $\text{kg/m}^3$  a  $60^\circ\text{F}$ ) / 999.024

3. A continuación se calculan las densidades líquidas de cada pseudocomponente ( $\rho_i$ ):

$$\rho_i = \frac{1215.253 \cdot (T_{bi})^{1/3}}{K_{UOP}} \quad \dots(5)$$

4. Utilizando una correlación se calcula los Pesos Moleculares de cada pseudocomponente como función de los  $T_{bi}$  y las  $\rho_i$  calculados previamente. Se ha



utilizado la ecuación de Riazi que se detallará más adelante:

$$PM_i = 42.965 \{ \exp(2.097 \cdot 10^{-4} \cdot T_{bi} - 7.78712 \cdot \rho_i + 2.08476 \cdot 10^{-3} \cdot T_{bi} \cdot \rho_i) \} \cdot (T_{bi})^{1.26007} \cdot \rho_i^{4.98308} \dots(6)$$

Donde:  $T_{bi}$ : Temperatura Ebull. Pseud., [ $^{\circ}$ K]

$\rho_i$  : densidad a 60 $^{\circ}$ F

$PM_i$  : Peso Molecular, [gr/mol]

5. Se calcula las fracciones molares,  $X_i$ , utilizando la siguiente ecuación:

$$X_i = \frac{X_{vi} \cdot (\rho_i / PM_i)}{\sum (X_{vi} \cdot \rho_i / PM_i)} \dots(7)$$

Donde:  $i = 1, \dots, N_{pse}$

$X_{vi}$  = Fracciones en volumen

6. Con las fracciones molares ya determinadas se procede a ponderar las Temperaturas de Ebullición ( $T_{bi}$ ) calculadas en (2), para determinar la Temperatura Molal Promedio (TMLP), la Temperatura Cúbica Promedio (TCP), y de estas dos, la Temperatura Media Ponderada (TMP):

$$TMLP = \sum (X_i) \cdot T_{bi} \dots(8)$$

$$TCP = [\sum X_{vi} \cdot T_{bi}^{1/3}]^3 \dots(9)$$

$i = 1, \dots, N_{pse}$

$$TMP = (TMLP + TCP) / 2 \dots(10)$$

7. Se vuelve al paso (2) utilizando la TMP obtenida en el paso (6), repitiendo los pasos del (2) al (6) hasta que la TMP converja. Según Miquel y Castells, se llega en dos iteraciones como mucho a los valores finales. Los cálculos para nuestros casos así lo comprueban.
8. Finalmente se calcula el error en el balance material y molar usando las siguientes ecuaciones:

$$E_{Bal.Mat} = [1 - (\sum X_{vi} \cdot \rho_i) / \rho] \cdot 100 \quad \dots(11)$$

$$E_{Bal.Mol} = [1 - PM \cdot (\sum X_{vi} \cdot \rho_i / PM_i) / \rho] \cdot 100 \quad \dots(12)$$

Donde: PM = Peso molecular del Crudo

$\rho$  = densidad en kg/m<sup>3</sup> a 60°F

**LISTADO DE PROGRAMA EN LENGUAJE BASIC**

```

10 CLS :
CLEAR
20 PRINT " ***** /
40 PRINT " CALCULO DE TMP Y Kuop A PARTIR DE DATOS      **
* 50 PRINT " DE CURVA TBP Y DENSIDAD DE LA FRACCION TOTAL **
* * Programación: Ilich Lama - Erik Menzala. 1999      **
60 PRINT " *****"
70 PRINT
80 PRINT
85 DIM TB(70), DENS(70), M(70), XV(70), X(70),
86 INPUT " CRUDO="; CRUDO$
90 INPUT " °API ="; API
100 PRINT " INGRESE LOS PARAMETROS DE EC.CUBICA TBP(°K)"
110 PRINT " TBP(%V) = a*(%V)^3+b*(%V)^2+c*(%V)+d"
120 INPUT " a="; a
122 INPUT " b="; b
124 INPUT " c="; c
125 INPUT " d="; d
130 S = (141.5 / (API + 131.5)) * 1000 / 999.024
150 REM ***CÁLCULO DE Tibp = MeABP INICIAL, PUNTO
EBULL.INTEGRAL ***
160 VI = 0: VF = 100
165 GOSUB 2000
    
```

```
170 TIBP = (1 / 100) * ITBP
180 MEABPI = TIBP
182 PRINT
185 REM ***ESTIMACION DEL NUMERO PSEUDOCOMPONENTES, Npse***
188 V = 99.9: GOSUB 3000
190 TBP99.9 = TBP
199 I = 1
200 V = 0
205 DELTA = 0: GOSUB 3000: TBPI = TBP
206 DO WHILE TBP9.9 <= TBP99.9
210 DO WHILE ((TBP9.9 - TBPI) <= 24.7) AND TBP9.9 < TBP99.9
220 DELTA = DELTA + .0001
230 V = V + DELTA
240 GOSUB 3000: TBP9.9 = TBP
250 LOOP
262 TB(I) = TBP9.9
264 V(I) = V
270 I = I + 1
280 TBPI = TBP9.9
290 LOOP
294 CLS
295 REM NP=NUMERO DE PSEUDOCOMPONENTES
296 NP = I - 1
310 REM ***CALCULO DE KW CON EL Tibp***
320 KW = 1.21644 * ((MEABPI) ^ (1 / 3)) / S
325 REM ***OBTENCION DE PROPIEDADES DE PSEUDOCOMPONENTES***
330 FOR J = 1 TO NP
340 DENS(J) = 1215.253 * (TB(J) ^ (1 / 3)) / KW
350 M(J) = 42.965 * (EXP(.0002097 * TB(J) - 7.78712 * S + 2.08476E-03 * TB(J)
* S)) * (TB(J) ^ 1.26007 * S ^ 4.98308)
351 NEXT J
352 XV(1) = V(1) / 100
353 FOR J = 2 TO NP
354 XV(J) = (V(J) - V(J - 1)) / 100
355 NEXT J
361 SUM# = 0
362 FOR J = 1 TO NP
363 SUM# = SUM# + XV(J) * DENS(J) / M(J)
364 NEXT J
365 REM ***OBTENCION DE FRACCIONES MOLARES DE PSEUDOCOMP***
366 FOR J = 1 TO NP
367 X(J) = (XV(J) * DENS(J) / M(J)) / SUM#
420 NEXT J
425 REM ***CALCULO DE TEMPERATURAS MEDIAS***
426 REM CABP=TEMP.MEDIA CUBICA, MABP=TEMP.MEDIA MOLAL,
MEABP=TEMP.MEDIA PONDERADA
430 MABP = 0: CABP3 = 0
440 FOR J = 1 TO NP
450 MABP = MABP + X(J) * TB(J)
460 CABP3 = CABP3 + XV(J) * (TB(J)) ^ (1 / 3)
470 NEXT J
478 CABP = CABP3 ^ 3
500 MEABP = (MABP + CABP3 ^ 3) / 2
507 REM ***ITERACION***
510 IF ABS(MEABP - MEABPI) >= .001 THEN GOTO 520 ELSE 700
```

```

520 MEABP = MEABP: GOTO 320
700 KUOP = 1.21644 * ((MEABP) ^ (1 / 3)) / S
701 REM **ERRORES ERRORMAT=error balance materia; ERRORMOL =error
balance molar
702 MW = 42.965 * (EXP(.0002097 * MEABP - 7.78712 * S + 2.08476E-03 *
MEABP * S)) * (MEABP ^ 1.26007 * S ^ 4.98308)
703 EMB = Q: EMLB = 0
704 FOR J = 1 TO NP
705 EMB = EMB + XV(J) * DENS(J)
706 EMLB = EMLB + XV(J) * DENS(J) / M(J)
707 NEXT J
708 ERRORMAT = ABS((1 - EMB / (S * 1000)) * 100)
709 ERRORMOL = ABS((1 - MW * EMLB / (S * 1000)) * 100)
720 CLS
725 LPRINT "TESIS BASES LUBRICANTES UNI-PETROPERU"
726 LPRINT : LPRINT
728 LPRINT " ANEXO N°4:"
730 LPRINT " RESULTADOS DEL ANALISIS POR
PSEUDOCOMPONENTES"
731 LPRINT " CRUDO: "; CRUDO$
732 LPRINT " API : "; API
733 LPRINT " TBP(%V)= "; a; "(%V)^3+ "; b; "(%V)^2+ "; c; "(%V)+ "; d; ""
735 LPRINT "-----"
740 PRINT
750 LPRINT " i Xvi Xi Tbi(°K) PMi Dens(Kg/m3) "
760 LPRINT "-----"
770 FOR J = 1 TO NP
780 LPRINT TAB(1); J; TAB(5); XV(J); TAB(21); X(J); TAB(37); TB(J); TAB(49);
M(J); TAB(61); DENS(J)
790 NEXT J
800 LPRINT "-----"
810 LPRINT : LPRINT

820 LPRINT "-----"
920 LPRINT " Tibp (°K) = "; TIBP
930 LPRINT " TmeABP (°K) = "; MEABP
940 LPRINT " KUOP = "; KUOP
942 LPRINT " %Err Bal.Mat= "; ERRORMAT
943 LPRINT " %Err Bal.Mol= "; ERRORMOL
945 LPRINT "-----"
947 LPRINT : LPRINT
948 LPRINT "Bs.ILICH LAMA - Bs.ERIK MENZALA"

950 END

2000 ITBP = d * (VF - VI) + .5 * c * (VF ^ 2 - VI ^ 2) + .25 * a * (VF ^ 4 - VI ^ 4) +
(1 / 3) * b * (VF ^ 3 - VI ^ 3)
2020 RETURN

3000 TBP = a * V ^ 3 + b * V ^ 2 + c * V + d
3010 RETURN

```

**ANEXO N°5:  
ANÁLISIS POR PSEUDOCOMPONENTES DE CRUDOS. RESULTADOS**

CRUDO: **MAYNA**

API: **27,3**

$$TBP (\%V) = 0,0026537*(\%V)^3 - 0,3513651*(\%V)^2 + 16,87221*(\%V) + 346,7366$$

i	X <sub>v<sub>i</sub></sub>	X <sub>i</sub>	T <sub>bi</sub> (°K)	PM <sub>i</sub>	Dens(Kg/m <sup>3</sup> )
1	1,522499E-02	4,428796E-02	371,6194	87,42574	741,7443
2	1,640097E-02	4,264217E-02	396,6662	99,96331	758,0476
3	1,751497E-02	4,089430E-02	421,4782	113,59000	773,5347
4	1,912400E-02	4,021083E-02	446,3849	128,57030	788,4810
5	2,098805E-02	3,986781E-02	471,2228	144,90840	802,8422
6	2,332211E-02	4,014608E-02	495,9326	162,65500	816,6369
7	2,708115E-02	4,227269E-02	521,0660	182,35040	830,2056
8	3,174918E-02	4,506030E-02	546,0687	203,71490	843,2775
9	3,887133E-02	5,030224E-02	570,8325	226,74970	855,8369
10	5,289942E-02	6,248404E-02	595,7833	251,98800	868,1289
11	8,669186E-02	9,366612E-02	620,5923	279,25420	880,0153
12	1,606907E-01	1,590296E-01	645,4321	308,88600	891,6032
13	9,830216E-02	8,918216E-02	670,4398	341,25070	902,9728
14	5,642567E-02	4,698415E-02	695,4667	376,37380	914,0716
15	4,098549E-02	3,134960E-02	720,5994	414,60200	924,9525
16	3,245438E-02	2,284883E-02	745,4736	455,57010	935,4750
17	2,822144E-02	1,825930E-02	771,1381	501,34990	946,0894
18	2,371231E-02	1,415584E-02	795,8794	549,10570	956,1012
19	2,152222E-02	1,184993E-02	821,0372	601,58080	966,0710
20	1,923019E-02	9,785135E-03	845,8246	657,42390	975,6968
21	1,815125E-02	8,523496E-03	871,3264	719,47800	985,4057
22	1,703018E-02	7,377423E-03	897,1985	787,55210	995,0638
23	1,587021E-02	6,347049E-03	923,0743	861,17520	1004,5390
24	1,467422E-02	5,428302E-03	948,5728	939,54280	1013,7050
25	1,344521E-02	4,614136E-03	973,3062	1021,47700	1022,4400
26	1,354515E-02	4,295007E-03	999,5893	1115,39600	1031,5620
27	1,227615E-02	3,612314E-03	1024,6270	1211,90200	1040,1040
28	1,235718E-02	3,362609E-03	1051,0300	1321,65000	1048,9620
29	1,243813E-02	3,118855E-03	1078,8520	1446,82400	1058,1370
30	1,112412E-02	2,585826E-03	1104,8190	1573,13100	1066,5600
31	1,118813E-02	2,403787E-03	1131,9900	1715,84200	1075,2320
32	9,842148E-03	1,968913E-03	1156,7850	1856,16300	1083,0260
33	5,646057E-03	1,083191E-03	1171,3920	1943,61100	1087,5660

T <sub>ibp</sub> (°K)	=	<b>682,5552</b>
TMP (°K)	=	<b>644,2493</b>
K <sub>UOP</sub>	=	<b>11,7791</b>
%Err Bal. Mat.	=	<b>1,661942</b>
%Err Bal. Mol.	=	<b>0,528138</b>

**...CONTINUACIÓN ANEXO N°5**

CRUDO: **MAYNA-7Q/ONO-30**

API: **29,7**

$$TBP (\%V) = 0,0015876*(\%V)^3 - 0,225339*(\%V)^2 + 13,20335*(\%V) + 331,5235$$

i	X <sub>v<sub>i</sub></sub>	X <sub>i</sub>	T <sub>bi</sub> (°K)	PM <sub>i</sub>	Dens(Kg/m <sup>3</sup> )
1	1,950298E-02	5,306865E-02	356,4286	81,90498	735,0896
2	2,096697E-02	5,092534E-02	381,3720	93,85149	751,8520
3	2,271998E-02	4,944385E-02	406,3582	106,98480	767,9256
4	2,480005E-02	4,852939E-02	431,3350	121,36940	783,3473
5	2,745011E-02	4,844156E-02	456,3559	137,13570	798,2103
6	3,630180E-02	4,890676E-02	481,2536	154,27490	812,4702
7	3,483122E-02	5,046808E-02	506,0298	172,87560	826,1802
8	4,121035E-02	5,426342E-02	531,0138	193,31140	839,5593
9	4,984241E-02	5,979355E-02	555,8677	215,43940	852,4585
10	6,301863E-02	6,902951E-02	580,6261	239,39930	864,9313
11	8,227082E-02	8,240531E-02	605,4487	265,48480	877,0854
12	9,635105E-02	8,837029E-02	630,3238	293,85150	888,9363
13	8,537503E-02	7,183213E-02	655,0854	324,46510	900,4275
14	6,631680E-02	5,121917E-02	680,0449	357,89870	911,7210
15	5,172264E-02	3,672155E-02	704,9579	394,03730	922,7212
16	4,252556E-02	2,777054E-02	730,0380	433,41520	933,5364
17	3,616340E-02	2,173850E-02	755,2191	476,19770	944,1487
18	3,185043E-02	1,762440E-02	780,7103	523,06320	954,6542
19	2,854523E-02	1,454273E-02	806,4573	574,29860	965,0354
20	2,504234E-02	1,784120E-02	831,4852	628,13450	974,9169
21	2,271233E-02	9,886971E-03	856,2881	685,69060	984,5159
22	2,164032E-02	8,699867E-03	881,8878	749,79990	994,2308
23	2,052025E-02	7,612080E-03	908,0248	820,54360	1003,9580
24	1,935524E-02	6,625085E-03	934,4148	897,79430	1013,5910
25	1,814819E-02	5,737024E-03	960,7534	981,16160	1023,0260
26	1,548820E-02	4,560150E-03	984,4958	1062,06200	1031,3850

T <sub>ibp</sub> (°K)	=	<b>637,461</b>
TMP (°K)	=	<b>606,9127</b>
K <sub>UOP</sub>	=	<b>11,72152</b>
%Err Bal. Mat.	=	<b>1,503509</b>
%Err Bal. Mol.	=	<b>0,2621016</b>

...CONTINUACIÓN ANEXO N°5

CRUDO: MAYNA-50/QNO-50

API: 31,1

$$TBP (\%V) = 0,0011885*(\%V)^3 - 0,1731847*(\%V)^2 + 11,43881*(\%V) + 325,4268$$

i	X <sub>v<sub>i</sub></sub>	X <sub>i</sub>	T <sub>bi</sub> (°K)	PM <sub>i</sub>	Dens(Kg/m <sup>3</sup> )
1	2,236598E-02	5,839290E-02	350,1578	79,89313	732,0043
2	2,429896E-02	5,657372E-02	375,1554	91,67205	749,0246
3	2,610601E-02	5,447372E-02	399,9549	104,49220	765,1783
4	2,870409E-02	5,383619E-02	424,9109	118,62120	780,7733
5	3,139516E-02	5,314871E-02	449,6275	133,92080	795,6279
6	3,562020E-02	5,450859E-02	474,6793	150,85460	810,1382
7	4,049133E-02	5,616462E-02	499,6888	169,30100	824,1234
8	4,698937E-02	5,921882E-02	524,6876	189,39440	837,6436
9	5,568556E-02	6,389605E-02	549,6881	211,26830	850,7418
10	6,636067E-02	6,949505E-02	574,5576	234,92450	863,3831
11	7,752082E-02	7,420874E-02	599,4741	260,66360	875,6875
12	8,163185E-02	7,154948E-02	624,3771	288,57750	887,6492
13	7,500591E-02	6,027416E-02	649,3214	318,89270	899,3159
14	6,353279E-02	4,686713E-02	674,2986	351,78230	910,7023
15	5,332565E-02	3,614105E-02	699,4085	387,59010	921,8692
16	4,536255E-02	2,827118E-02	724,6100	426,49630	932,8113
17	3,906052E-02	2,242022E-02	749,6799	468,36420	943,4473
18	3,480339E-02	1,840210E-02	775,0084	514,10280	953,9548
19	3,154838E-02	1,536534E-02	800,6658	564,21630	964,3680
20	2,807739E-02	1,262721E-02	825,8458	617,36610	974,3732
21	2,578331E-02	1,071543E-02	851,0549	674,80030	984,1884
22	2,475929E-02	9,487445E-03	877,2601	739,30790	994,1879
23	2,228027E-02	7,898992E-03	902,6047	806,69310	1003,6710
24	1,829124E-02	6,063155E-03	924,7179	869,77700	1011,8020

T <sub>ibp</sub> (°K)	=	<b>617,21</b>
TMP (°K)	=	<b>588,3436</b>
K <sub>UOP</sub>	=	<b>11,70149</b>
%Err Bal. Mat.	=	<b>1,485212</b>
%Err Bal. Mol.	=	<b>0,2776738</b>

...CONTINUACIÓN ANEXO N°5

CRUDO: MAYNA-30/ONO-70

API: 32,8

$$TBP (\%V) = 0,00099*(\%V)^3 - 0,1432818*(\%V)^2 + 10,28401*(\%V) + 315,2014$$

i	X <sub>v<sub>i</sub></sub>	X <sub>i</sub>	T <sub>bi</sub> (°K)	PM <sub>i</sub>	Dens(Kg/m <sup>3</sup> )
1	2,497597E-02	6,358411E-02	340,0083	76,32767	725,0866
2	2,702695E-02	6,129167E-02	364,9457	87,73040	742,3969
3	2,940304E-02	5,963693E-02	389,9583	100,28320	758,9842
4	3,212012E-02	5,849871E-02	414,9338	114,01680	774,8536
5	3,525920E-02	5,789284E-02	439,7547	128,94250	790,0056
6	3,940626E-02	5,850025E-02	464,5913	145,24780	804,6069
7	4,471237E-02	6,015633E-02	489,5052	163,08370	818,7396
8	5,097845E-02	6,233039E-02	514,3257	182,43630	832,3502
9	5,849758E-02	6,515666E-02	539,0784	203,42680	845,4943
10	6,668267E-02	6,777937E-02	563,8900	226,28650	858,2718
11	7,261181E-02	6,745897E-02	588,7632	251,16520	870,7101
12	7,220779E-02	6,145215E-02	613,4704	277,96490	882,7233
13	6,717781E-02	5,241109E-02	638,3936	307,26370	894,5204
14	5,930672E-02	4,246174E-02	663,4329	339,14350	906,0643
15	5,108467E-02	3,363166E-02	688,2673	373,37030	917,2318
16	4,543655E-02	2,749614E-02	713,5750	411,11050	928,3389
17	4,040047E-02	2,248380E-02	739,0931	452,30150	939,2757
18	3,619041E-02	1,853762E-02	764,6971	497,02820	949,9990
19	3,164444E-02	1,497527E-02	789,4409	543,71890	960,1370
20	2,951340E-02	1,289559E-02	814,6732	595,09200	970,2593
21	2,725029E-02	1,100172E-02	839,9529	650,63980	980,1932
22	2,486732E-02	9,297058E-03	864,7874	709,46610	989,7598
23	2,378334E-02	8,225834E-03	890,2025	774,34450	999,3623
24	8,463059E-03	2,844108E-03	899,6539	799,74480	1002,8870

T <sub>ibp</sub> (°K)	=	<b>599,2958</b>
TMP (°K)	=	<b>569,7403</b>
K <sub>UOP</sub>	=	<b>11,69787</b>
%Err Bal.Mat.	=	<b>1,549125</b>
%Err Bal.Mol.	=	<b>0,4025383</b>



...CONTINUACIÓN ANEXO N°5

CRUDO: ONO

API: 35,5

$$TBP (\%V) = 0,0005064*(\%V)^3 - 0,082849*(\%V)^2 + 7,732306*(\%V) + 306,239$$

i	X <sub>v<sub>i</sub></sub>	X <sub>i</sub>	T <sub>bi</sub> (°K)	PM <sub>i</sub>	Dens(Kg/m <sup>3</sup> )
1	3,315296E-02	7,428605E-02	330,9818	73,75209	726,6381
2	3,585297E-02	7,152458E-02	355,8178	84,86013	744,3766
3	3,887413E-02	6,936030E-01	380,6489	97,03963	761,3044
4	4,254624E-02	6,814843E-02	405,5298	110,40040	777,5430
5	4,708035E-02	6,789915E-02	430,5403	125,08480	793,2098
6	5,206541E-02	6,783914E-02	455,4842	141,07540	808,2417
7	5,814957E-02	6,862776E-02	480,4829	158,54910	822,7656
8	6,423365E-02	6,889013E-02	505,2835	177,42240	836,6848
9	7,125874E-02	6,955290E-02	530,2876	198,11530	850,2643
10	7,546081E-02	6,722414E-02	555,0718	220,39610	863,3096
11	7,701591E-02	6,272571E-02	579,9003	244,61170	875,9943
12	7,421787E-02	5,536867E-02	604,6692	270,79560	888,2927
13	6,881782E-02	4,709474E-02	629,4718	299,18870	900,2758
14	6,202583E-02	3,900501E-02	654,1828	329,79430	911,9056
15	5,665062E-02	3,273043E-02	679,3427	363,50230	923,4495
16	5,048370E-02	2,684877E-02	704,3109	399,67430	934,6269
17	4,639358E-02	2,270586E-02	729,7223	439,47130	945,7348
18	4,189545E-02	1,890099E-02	754,9595	482,18610	956,5141
19	2,825089E-03	1,267258E-03	756,7453	485,33500	957,2677

T <sub>ibp</sub> (°K)	=	<b>543,291</b>
TMP (°K)	=	<b>524,7711</b>
K <sub>UOP</sub>	=	<b>11,56866</b>
%Err Bal.Mat.	=	<b>1,1944</b>
%Err Bal.Mol.	=	<b>0,2655008</b>

...CONTINUACIÓN ANEXO N°5

CRUDO: COE-70/ONO-30

API: 28,3

$$TBP (\%V) = 0,0006504*(\%V)^3 - 0,110378*(\%V)^2 + 9,404502*(\%V) + 319,0937$$

	$X_{vi}$	$X_i$	$T_{bi}$ (°K)	$PM_i$	Dens(Kg/m <sup>3</sup> )
1	2,726097E-02	6,701855E-02	343,9242	75,49554	752,0187
2	2,901896E-02	6,357914E-02	368,6420	86,69410	769,6194
3	3,129106E-02	6,133754E-02	393,4221	99,02258	786,4915
4	3,420014E-02	6,014530E-02	418,4207	112,66390	802,8088
5	3,699523E-02	5,862020E-02	443,1857	127,46210	818,3448
6	4,063030E-02	5,819011E-02	467,8873	143,59370	833,2747
7	4,525436E-02	5,872235E-02	492,6341	161,23250	847,7138
8	5,141548E-02	6,052531E-02	517,6563	180,68610	861,8300
9	5,799658E-02	6,209612E-02	542,5702	201,79520	875,4401
10	6,592564E-02	6,430801E-02	567,5588	224,84350	888,6786
11	7,353584E-02	6,546488E-02	592,5671	249,93330	901,5441
12	7,839489E-02	6,379595E-02	617,5884	277,21400	914,0588
13	7,731594E-02	5,764286E-02	642,4032	306,58220	926,1407
14	7,257195E-02	4,960126E-02	667,4349	338,71400	938,0171
15	6,508476E-02	4,081927E-02	692,5697	373,69970	949,6472
16	5,746559E-02	3,310518E-02	717,7666	411,71230	961,0269
17	5,010368E-02	2,657174E-02	742,6403	452,33830	972,0023
18	4,468262E-02	2,183674E-02	767,5247	496,29030	982,7398
19	4,016548E-02	1,810855E-02	792,3668	543,70780	993,2300
20	1,969124E-02	8,510955E-03	805,4811	570,25270	998,6797

---

$T_{ibp}$ (°K)	=	<b>583,9921</b>
TMP (°K)	=	<b>561,4565</b>
$K_{UOP}$	=	<b>11,32206</b>
%Err Bal. Mat.	=	<b>1,303684</b>
%Err Bal. Mol.	=	<b>0,1294201</b>

...CONTINUACIÓN ANEXO N°5

CRUDO: COE-50/ONO-50

API: 29,6

$$TBP (\%V) = 0,0005162*(\%V)^3 - 0,0854035*(\%V)^2 + 8,025576*(\%V) + 325,7136$$

i	X <sub>v<sub>i</sub></sub>	X <sub>i</sub>	T <sub>bi</sub> (°K)	PM <sub>i</sub>	Dens(Kg/m <sup>3</sup> )
1	3,187796E-02	7,289013E-02	350,4464	79,14346	755,2884
2	3,418797E-02	6,977633E-02	375,1566	90,70309	772,6387
3	3,721911E-02	6,801962E-02	400,0639	103,48900	789,3726
4	4,063121E-02	6,670415E-02	425,0647	117,55590	805,4847
5	4,427529E-02	6,553815E-02	449,9421	132,87370	820,9017
6	4,882540E-02	6,534813E-02	474,8293	149,61590	835,7662
7	5,445051E-02	6,602460E-02	499,8616	167,99590	850,2021
8	6,007559E-02	6,619130E-02	524,7294	187,90070	864,0737
9	6,661465E-02	6,680038E-02	549,7194	209,68010	877,5785
10	7,140079E-02	6,534198E-02	574,4944	233,16250	890,5690
11	7,489887E-02	6,261941E-02	599,4521	258,86330	903,2829
12	7,456288E-02	5,702048E-02	624,5198	286,89740	915,7024
13	6,963089E-02	4,883371E-02	649,2648	316,91460	927,6402
14	6,450173E-02	4,150475E-02	674,2698	349,78740	939,3992
15	5,825974E-02	3,443815E-02	699,2870	385,41910	950,8765
16	5,238068E-02	2,848037E-02	724,2744	423,94790	962,0699
17	4,714554E-02	2,361204E-02	749,1664	465,46370	972,9676
18	4,278061E-02	1,975955E-02	774,0057	510,23550	983,6041
19	2,528130E-02	1,109676E-02	789,7942	540,53900	990,2471

T <sub>ibp</sub> (°K)	=	<b>571,364</b>
TMP (°K)	=	<b>551,1454</b>
K <sub>UOP</sub>	=	<b>11,34387</b>
%Err Bal.Mat.	=	<b>1,21727</b>
%Err Bal.Mol.	=	<b>0,1554581</b>

...CONTINUACIÓN ANEXO N°5

CRUDO: COE-30/ONO-70

API: 32,1

$$TBP (\%V) = 0,0002567*(\%V)^3 - 0,0434701*(\%V)^2 + 6,478937*(\%V) + 320,563$$

i	X <sub>v<sub>i</sub></sub>	X <sub>i</sub>	T <sub>bi</sub> (°K)	PM <sub>i</sub>	Dens(Kg/m <sup>3</sup> )
1	3,933995E-02	8,761317E-02	345,3940	78,32408	745,3289
2	4,126101E-02	8,200958E-02	370,0942	89,80599	762,6884
3	4,365018E-02	7,773191E-02	394,8459	102,42090	779,3255
4	4,656927E-02	7,450009E-02	419,8316	116,36620	795,4290
5	4,929642E-02	7,106972E-02	444,8511	131,64220	810,9260
6	5,183743E-02	6,757218E-02	469,7735	148,26240	825,7955
7	5,407553E-02	6,395449E-02	494,4850	166,22900	840,0286
8	5,722259E-02	6,148062E-02	519,4703	186,01250	853,9451
9	5,902062E-02	5,776704E-02	544,2864	207,39200	867,3323
10	6,123665E-02	5,465712E-02	569,3454	230,86030	880,4438
11	6,201073E-02	5,057133E-02	594,3640	256,31420	893,1557
12	6,224472E-02	4,644104E-02	619,4835	284,05550	905,5649
13	6,079182E-02	4,159157E-02	644,3786	313,86730	917,5366
14	5,870270E-02	3,690281E-02	669,0847	345,90090	929,1163
15	5,729370E-02	3,309815E-02	694,1308	381,04500	940,5679
16	5,415962E-02	2,881135E-02	718,9180	418,66280	951,6330
17	5,187073E-02	2,542164E-02	743,9008	459,63860	962,5309
18	4,923058E-02	2,224801E-02	768,9351	504,00280	973,2094
19	3,918648E-02	1,655817E-02	789,9078	543,88700	981,9781

T <sub>ibp</sub> (°K)	=	<b>563,7845</b>
TMP (°K)	=	<b>539,7476</b>
K <sub>UOP</sub>	=	<b>11,43994</b>
%Err Bal.Mat.	=	<b>1,396475</b>
%Err Bal.Mol.	=	<b>0,3594094</b>

...CONTINUACIÓN ANEXO N°5

CRUDO: COE

API: 25,0

$$TBP (\%V) = 0,0007012*(\%V)^3 - 0,1274294*(\%V)^2 + 10,60099*(\%V) + 320,0276$$

i	X <sub>v<sub>i</sub></sub>	X <sub>i</sub>	T <sub>bi</sub> (°K)	PM <sub>i</sub>	Dens(Kg/m <sup>3</sup> )
1	2,4089970E-02	6,3091210E-02	344,8356	73,78554	761,5870
2	2,5679950E-02	5,9845120E-02	369,7186	84,87029	779,4816
3	2,7258020E-02	5,6801680E-02	394,4445	96,98283	796,4847
4	2,9463110E-02	5,5067210E-02	419,3145	110,35670	812,8843
5	3,2110170E-02	5,3967150E-02	444,3460	125,11800	828,7481
6	3,5154190E-02	5,3274560E-02	469,4318	141,32350	844,0593
7	3,8471340E-02	5,2751230E-02	494,3171	158,90580	858,7182
8	4,3029330E-02	5,3498140E-02	519,2588	178,15040	872,9246
9	4,8555490E-02	5,4867800E-02	544,1420	199,09390	886,6513
10	5,5318560E-02	5,6957550E-02	568,8683	221,76340	899,8830
11	6,4532620E-02	6,0614250E-02	593,7504	246,58820	912,8164
12	7,4841840E-02	6,4221040E-02	618,6870	273,64690	925,4205
13	8,3080940E-02	6,5258980E-02	643,4841	302,88200	937,6226
14	8,6010050E-02	6,1893310E-02	668,4454	334,83220	949,5929
15	7,9664000E-02	5,2619670E-02	693,2229	369,23660	961,1838
16	7,0028840E-02	4,2500260E-02	718,0529	406,60290	972,5253
17	6,1194760E-02	3,4117040E-02	743,2739	447,73970	983,7810
18	5,2455600E-02	2,6913370E-02	768,2767	491,92180	994,6906
19	4,5573660E-02	2,1556800E-02	793,0336	539,25380	1005,2620
20	2,2488250E-02	1,0183630E-02	806,4188	566,42140	1010,8860

T <sub>ibp</sub> (°K)	=	<b>600,6126</b>
TMP (°K)	=	<b>577,006</b>
K <sub>UOP</sub>	=	<b>11,18969</b>
%Err Bal.Mat.	=	<b>1,330626</b>
%Err Bal.Mol.	=	<b>0,004977</b>

**ANEXO N°6:  
ANÁLISIS DE TENDENCIAS DE PESO MOLECULAR POR TIPO DE  
MEZCLA DE CRUDOS.**

Las curvas TMP vs. PM para cada tipo de mezclas muestran tendencias crecientes definidas puesto que la naturaleza química que se compara es la misma (mismos crudos, en distintas proporciones), tal como se puede observar en la Figura A.

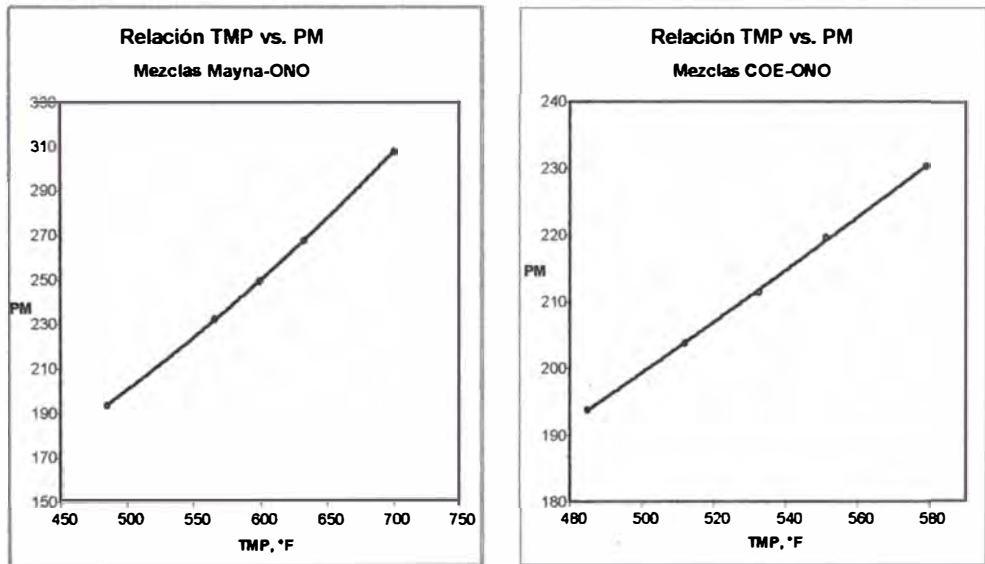


Figura A

Obsérvese también la forma de estas curvas. El análisis de las mismas requiere de la comparación de las curvas por su gradiente<sup>1</sup>. Para un mismo rango de ebullición 485-585°F, se tiene que, para las **mezclas Mayna**, por cada aumento de 20°F en el punto de ebullición, el peso molecular se incrementa con **un gradiente** a razón de 0.016 (gr/mol)/°F, mientras que para las **mezclas COE**, el peso molecular experimenta un aumento con **un gradiente** a razón de 0.008 (gr/mol)/°F.

<sup>1</sup> Gradiente =  $\Delta PM / \Delta TMP$

Estos cálculos proceden del Cuadro A. Al estudiar las gradientes de estas curvas se puede dar una idea más cercana del tamaño y tipo de moléculas que están pasando al estado de vapor al momento de destilar. Es obvio que el incremento del Peso Molecular (PM) es debido en ambos casos al incremento de la TMP, sin embargo, el que en las mezclas Mayna exista un incremento en la gradiente dos veces mayor al incremento correspondiente a las mezclas COE, implica que las moléculas presentes en las mezclas Mayna poseen más hidrocarburos saturados, a los que se les puede atribuir el carácter parafínico, que aquellas que se encuentran en las mezclas COE, para el mismo rango de ebullición. Es sabido que, para un mismo número de carbonos presentes en la molécula, el PM es mayor para los hidrocarburos parafínicos que para los nafténicos y aromáticos.

**CUADRO A  
TENDENCIA DEL GRADIENTE  $\Delta PM/\Delta TMP$**

Rango, °F TMP	Peso Molecular (*)		Gradiente Mezcla Mayna	$\Delta PM/\Delta TMP$ Mezcla COE
	Mezcla Mayna	Mezcla COE		
485	175	194	0,386	0,378
505	183	202	0,402	0,386
525	191	209	0,418	0,394
545	199	217	0,434	0,402
565	208	225	0,450	0,410
585	217	234		

(\*) Interplado de Curvas

Un análisis posterior de la naturaleza química de estas mezclas establecerá la deducción que el incremento del PM en las mezclas COE se debe al aumento de componente nafténico pesado.

**ANEXO N°7:  
PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS  
PARÁMETROS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA (n.d.M a 20°C)**

1. Variables de entrada:

n índice de refracción, medido a 20°C  
d densidad a 20°C  
M Peso Molecular

2. Formas de cálculo

a. Cálculo de factores Condicionantes V y W:

$$V = 2.51 \cdot (n - 1.4750) - (d - 0.8510)$$

$$W = (d - 0.8510) - 1.11 \cdot (n - 1.4750)$$

b. Cálculo del %C<sub>A</sub>:

$$\text{Si } V > 0: \quad \%C_A = 430 \cdot V + 3660/M$$

$$\text{Si } V < 0: \quad \%C_A = 670 \cdot V + 3660/M$$

c. Cálculo del %C<sub>R</sub> (incluye el %C en total en los  
anillos tanto nafténicos como aromáticos):

$$\text{Si } W > 0: \quad \%C_R = 820 \cdot W - 3 \cdot S + 10000/M$$

$$\text{Si } W < 0: \quad \%C_R = 1440 \cdot W - 3 \cdot S + 10600/M$$

Donde: S porcentaje en peso de Azufre



d. Cálculo de %C<sub>N</sub> y %C<sub>P</sub>:

$$\%C_N = \%C_R - \%C_A$$

$$\%C_P = 100 - \%C_N$$

e. Cálculo de R<sub>A</sub>:

$$\text{Si } V > 0: \quad R_A = 0.44 + 0.055 \cdot M \cdot V$$

$$\text{Si } V < 0: \quad R_A = 0.44 + 0.080 \cdot M \cdot V$$

f. Cálculo de R<sub>T</sub> (Número total de anillos por molécula):

$$\text{Si } W > 0: \quad R_T = 1.33 + 0.146 \cdot M \cdot (W - 0.005 \cdot S)$$

$$\text{Si } W < 0: \quad R_T = 1.33 + 0.180 \cdot M \cdot (W - 0.005 \cdot S)$$

g. Cálculo de R<sub>N</sub>:

$$R_N = R_T - R_A$$

ANEXO N°8:  
**DETERMINACIÓN PORCENTUAL APROXIMADA POR TIPO DE CARBONOS Y ANILLOS - n.d.M**  
**NATURALEZA QUÍMICA DE LAS NUEVE MUESTRAS DE CRUDOS**

CRUDOS	API	$d_{20^{\circ}\text{C}}$	TMP, °F	% S	$n_D$	M	V	W	% C <sub>A</sub>	R <sub>A</sub>	% C <sub>R</sub>	R <sub>T</sub>	% C <sub>N</sub>	% C <sub>P</sub>	R <sub>N</sub>
ONO	35,5	0,8458	485	0,049	1,4841	194	0,0279	-0,0153	<b>30,90</b>	0,74	32,6	0,79	<b>1,68</b>	<b>67,42</b>	0,05
MAY-30/ONO-70	32,8	0,8597	566	0,127	1,4909	232	0,0311	-0,0089	<b>29,12</b>	0,84	32,4	0,93	<b>3,27</b>	<b>67,60</b>	0,09
COE-30/ONO-70	32,1	0,8634	512	0,661	1,4945	204	0,0365	-0,0092	<b>33,64</b>	0,85	38,7	0,87	<b>3,11</b>	<b>63,26</b>	0,02
MAY-50/ONO-50	31,1	0,8687	599	0,229	1,4971	249	0,0377	-0,0068	<b>30,88</b>	0,96	32,0	0,97	<b>1,14</b>	<b>67,99</b>	0,02
MAY-70/ONO-30	29,7	0,8762	633	0,243	1,4983	268	0,0333	-0,0006	<b>27,98</b>	0,93	37,9	1,24	<b>9,96</b>	<b>62,06</b>	0,31
COE-50/ONO-50	29,6	0,8768	532	1,020	1,5003	211	0,0376	-0,0023	<b>33,48</b>	0,88	43,8	1,05	<b>10,31</b>	<b>56,20</b>	0,17
COE-70/ONO-30	28,3	0,8839	551	1,360	1,5047	220	0,0417	-0,0001	<b>34,58</b>	0,94	44,1	1,06	<b>9,51</b>	<b>55,91</b>	0,12
MAYNA	27,3	0,8895	700	0,480	1,5088	308	0,0463	0,0010	<b>31,81</b>	1,23	31,8	1,27	<b>0,02</b>	<b>68,17</b>	0,04
COE	25,0	0,9025	579	1,650	1,5105	230	0,0378	0,0121	<b>32,06</b>	0,92	48,4	1,46	<b>16,37</b>	<b>51,58</b>	0,54

LEYENDA

$d_{20^{\circ}\text{C}}$ : densidad (gravedad específica) a 20°C

%S: Porcentaje de Azufre

$n_D$ : Índice de Refracción a 20°C

M: Peso Molecular

V y W: Parámetros de Cálculo

C<sub>P</sub>: PORCENTAJE DE ÁTOMO DE C PARAFÍNICOS

C<sub>A</sub>: PORCENTAJE DE ÁTOMO DE C AROMÁTICOS

C<sub>N</sub>: PORCENTAJE DE ÁTOMO DE C NAFTÉNICOS

R<sub>T</sub>: CANTIDAD DE CICLOS TOTALES

R<sub>N</sub>: CANTIDAD DE CICLOS NAFTÉNICOS

R<sub>A</sub>: CANTIDAD DE CICLOS AROMÁTICOS

ANEXO N°9:

DESTILACIONES ASTM HEMPEL (Atmosférica)

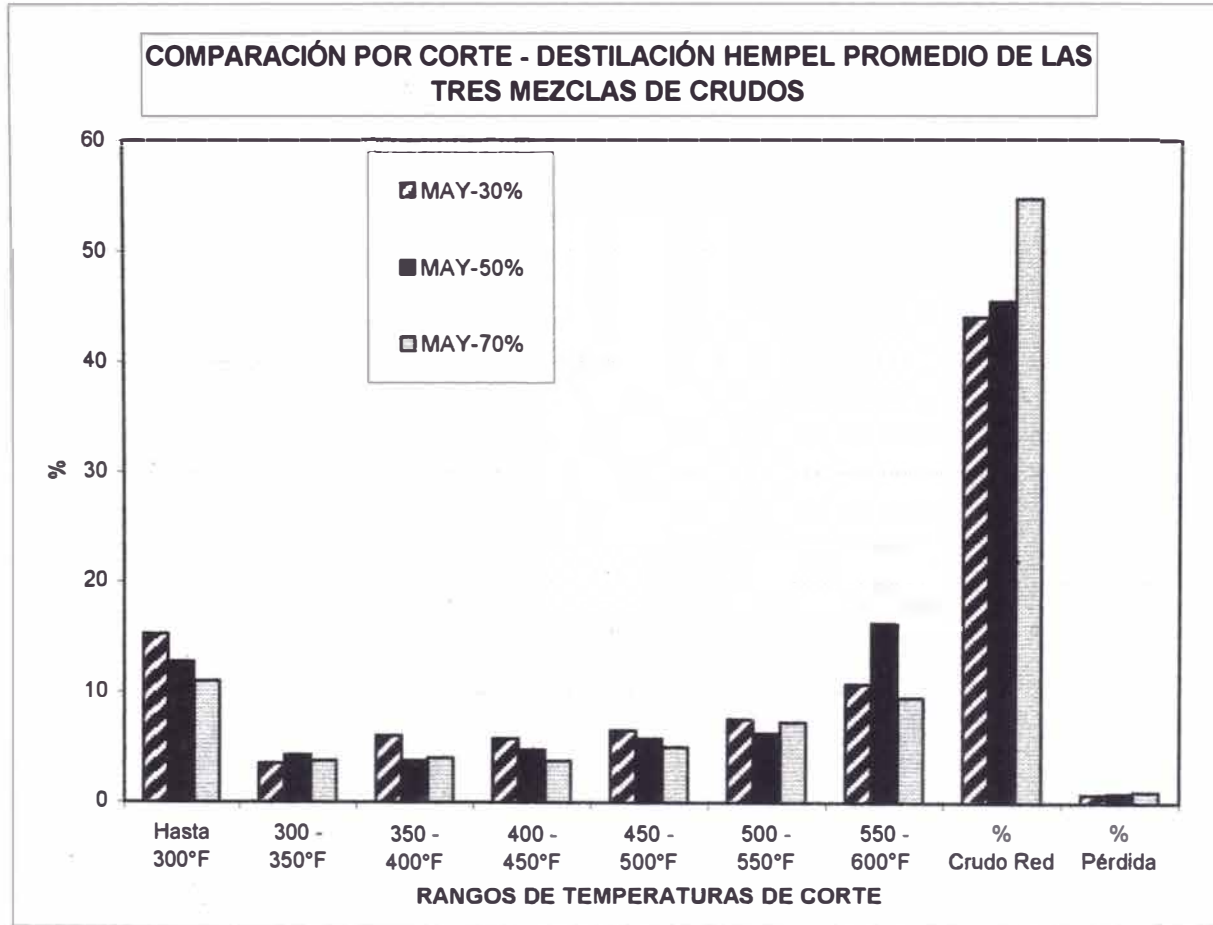
Corridos base para el Promedio presentado en el Cuadro N°8

Fracción Acumulada	Crudo Mayna-30/ONO-70, vol.acumulado en mL.					Crudo Mayna-60/ONO-60, vol.acumulado en mL.					Crudo Mayna-70/ONO-30, vol.acumulado en mL.				
	Destilación N°1	Destilación N°2	Destilación N°3	Promedio	Desviación estándar	Destilación N°1	Destilación N°2	Destilación N°3	Promedio	Desviación estándar	Destilación N°1	Destilación N°2	Destilación N°3	Promedio	Desviación estándar
< 300°F	58	64	60	61	3,1	52	50	51	51	1,0	46	42	45	44	2,1
300-350°F	78	72	74	75	3,1	70	68	67	68	1,5	60	58	59	59	1,0
350-400°F	96	102	98	99	3,1	84	82	82	83	1,2	77	73	74	75	2,1
400-450°F	118	126	121	122	4,0	103	102	102	102	0,6	92	88	89	90	2,1
450-500°F	146	150	147	148	2,1	127	124	125	125	1,5	112	108	109	110	2,1
500-550°F	174	182	177	178	4,0	152	148	150	150	2,0	141	137	140	139	2,1
550-600°F	220	222	220	221	1,2	215	213	216	215	1,5	180	175	177	177	2,5

Cuadro Resumen

Fracción	Crudo Mayna-30/ONO-70		Crudo Mayna-60/ONO-60		Crudo Mayna-70/ONO-30	
	Promedio, mL. de la fracción	% Destilado	Promedio, mL. de la fracción	% Destilado	Promedio, mL. de la fracción	% Destilado
< 300°F	61	16,3	61	12,8	44	11,0
300-350°F	14	3,6	17	4,3	16	3,8
350-400°F	24	6,0	16	3,8	16	4,0
400-450°F	23	6,8	19	4,8	16	3,8
450-500°F	26	6,6	23	6,8	20	6,0
500-550°F	30	7,6	26	6,3	29	7,3
550-600°F	43	10,8	66	16,3	38	9,60
<b>% Destilado Final</b>		<b>66,25</b>		<b>63,76</b>		<b>44,3</b>

**ANEXO N°10:  
COMPARACIÓN POR CORTE – DESTILACIÓN HEMPEL PARA LAS TRES MEZCLAS  
DE CRUDOS PRE-SELECCIONADAS**



**ANEXO N°11:**

**FACTORES QUE INTERVIENEN SOBRE LA PERFORMANCE DE LA DESTILACIÓN AL VACÍO EN DISTINTAS CORRIDAS PARA UNA MISMA CARGA**

Las variaciones en la performance de la destilación al vacío se pudieron deber básicamente a los siguientes factores:

1. Variación del vacío o perturbación del mismo, lo que origina una lectura errónea de la temperatura.
2. Calentamiento inadecuado. Si se calienta rápidamente (flujo<sup>1</sup> de calor alto) puede producirse craqueo térmico de la carga por incremento violento de la temperatura, por el contrario, si se calienta demasiado lento (flujo de calor bajo), las moléculas que deberían alcanzar su estado de vapor, como consecuencia de una determinada adición de energía (Flujo de calor x tiempo), no lo hacen, permanecen demasiado tiempo en el balón y podría, eventualmente, provocar también un craqueo térmico de sus moléculas.
3. Entre distintas corridas de una misma mezcla, las variaciones de las temperaturas correspondientes a un mismo valor de volumen destilado, podrían suceder debido a una irregular homogeneización de la mezcla antes de destilarla, descartado del volumen que se suministra.

---

<sup>1</sup> El flujo de calor se controla a través del flujo de destilado que según la norma correspondiente debe estar entre 6 a 8 ml/min

ANEXO N°12:

DESTILACIONES ASTM D-1160 (Vacio)

Corridos base para el Promedio presentado en el Cuadro N°10

% Volumen de Crudo Reducido	Crudo Mayna-30/ONO-70					Crudo Mayna-50/ONO-50					Crudo Mayna-70/ONO-30				
	Destilación N°1	Destilación N°2	Destilación N°3	Promedio	Desviación estándar	Destilación N°1	Destilación N°2	Destilación N°3	Promedio	Desviación estándar	Destilación N°1	Destilación N°2	Destilación N°3	Promedio	Desviación estándar
0	318	322	319	<b>320</b>	2,1	342	341	342	<b>342</b>	0,6	302	310	303	<b>305</b>	4,4
10	445	446	446	<b>446</b>	0,6	459	460	461	<b>460</b>	1,0	446	451	446	<b>448</b>	2,9
20	474	478	476	<b>476</b>	2,0	492	491	492	<b>492</b>	0,6	476	480	477	<b>478</b>	2,1
30	499	501	500	<b>500</b>	1,0	510	510	511	<b>510</b>	0,6	510	511	510	<b>510</b>	0,6
40	528	532	529	<b>530</b>	2,1	542	541	544	<b>542</b>	1,5	545	549	546	<b>547</b>	2,1
50	560	567	564	<b>564</b>	3,5	579	577	579	<b>578</b>	1,2	581	589	583	<b>584</b>	4,2
60	599	602	599	<b>600</b>	1,7	613	612	616	<b>614</b>	2,1	618	623	620	<b>620</b>	2,5

**ANEXO N°13:**

**PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO PARA LA TRANSFORMACIÓN DE TEMPERATURAS ASTM D-1160 (10 mmHg) A TBP (760 mmHg)**

1. Se transforma las temperaturas del Cuadro N°9 (Pág.57), que están en grados Fahrenheit [°F] a grados Celsius [°C].
2. A través de las siguientes ecuaciones se obtendrá las transformaciones a TBP (10 mmHg):

$$\begin{aligned}
 T_{50/TBP} &= T_{50/D1160} \\
 T_{30/TBP} &= T_{50/TBP} - f_1(T_{50/D1160} - T_{30/D1160}) \\
 T_{10/TBP} &= T_{30/TBP} - f_1(T_{30/D1160} - T_{10/D1160}) \quad \dots(1) \\
 T_{0/TBP} &= T_{10/TBP} - f_2(T_{10/D1160} - T_{0/D1160})
 \end{aligned}$$

Donde: Los subíndices indican %Vol.Dest./Tipo Destilación; las temperaturas están en [°C] y las funciones  $f_i$  provienen del Cuadro A por medio de interpolaciones.

**CUADRO N°A:  
DATOS PARA TRANSFORMACIÓN A TBP (10 mmHg)**

$\Delta T$ (°C)	$f_2$ (dT) (°C)	$f_1$ (dT) (°C)
0	0.0	0.0
10	20.0	13.0
20	35.5	24.0
30	47.5	34.5
40	57.0	44.0
50	64.0	53.5
60	70.0	63.0
70	75.0	72.0
80	82.5	81.5
90	91.0	90.5
100	100.0	100.0

Fuente: J. Wauquier. *Le Raffinage du Pétrole*. Vol.1. P.105

Para las fracciones destiladas superiores a 50%, las temperaturas D1160 son iguales a las TBP.

3. Los resultados TBP (10 mmHg) están dados en [°C] por lo que hay que transformarlos a [°K].
4. Convertidos a [°K] se procede a transformar dichas temperaturas TBP(10mmHg) en temperaturas TBP(760 mmHg), con la siguiente ecuación:

$$T_{760\text{mmHg}} = \frac{T_{K=12} - 366 \cdot 1.389 \cdot G / 111}{1 - 1.389 \cdot G / 111} \quad \dots(2)$$

Donde:

$$G = (K_{UOP} - 12) \cdot (\log(P) - 2.8808)$$

$$T_{K=12} = \frac{748.1 \cdot x \cdot T_P}{1 + T_P \cdot (0.3861 \cdot x - 0.00051606)}$$

$$x = \frac{5.994296 - 0.972546 \cdot \log(P)}{2663.129 - 95.76 \cdot \log(P)}$$

P = Presión a la que se realiza la destilación, mmHg. (en este caso P = 10 mmHg)

$T_{760\text{mmHg}}$  = Temperatura calculada a 760 mmHg, °K

$T_P$  = Temperatura medida a la presión P, °K

$K_{UOP}$  = Factor de caracterización, diferente de 12

$T_{K=12}$  = Temperatura atmosférica TBP cuando el factor de caracterización es igual a 12



Además se debe contar con las siguientes condiciones:

i) Si  $(T_{760\text{mmHg}} - 366) / 111 < 0 \rightarrow T_{760\text{mmHg}} = T_{K=12}$

ii) Si  $(T_{760\text{mmHg}} - 366) / 111 > 0 \rightarrow T_{760\text{mmHg}} = T_{K=12} + 1.389 \cdot G$

**ANEXO N°14:  
RESULTADOS POR ETAPA DE CÁLCULO PARA LA TRANSFORMACIÓN DE TEMPERATURAS  
ASTM D-1160 (10 mmHg) a TBP (760 mmHg)**

CONVERSIÓN  $T_{D1160, 10 \text{ mmHg}}$  a  $T_{TBP, 10 \text{ mmHg}}$

% Vol.Des.	TEMPERATURA (°F)-ASTM D1160		
	May-30%	May-50%	May-70%
0	320	342	305
10	446	460	448
30	500	510	510
50	564	578	584
60	600	614	620

% Vol.Des.	TEMPERATURA (°C)-ASTM D1160			TEMPERATURA (°C)- TBP		
	May-30%	May-50%	May-70%	May-30%	May-50%	May-70%
0	160	172	152	146	157	141
10	230	238	231	221	230	222
30	260	266	266	255	262	262
50	296	303	307	296	303	307
60	316	323	327	316	323	327

% Vol.Des.	TEMPERATURA (°F)- TBP		
	May-30%	May-50%	May-70%
0	295	314	285
10	430	446	432
30	492	504	503
50	564	578	584
60	600	614	620

CONVERSIÓN  $T_{TBP, 10 \text{ mmHg}}$  a  $T_{TBP, 760 \text{ mmHg}}$

% Vol.Des.	TEMPERATURA (°K)- TBP, 10 mmHg			TEMPERATURA (°F)- TBP, 760 mmHg		
	May-30%	May-50%	May-70%	May-30%	May-50%	May-70%
0	419	430	414	545	568	533
10	494	503	496	705	724	709
30	529	535	535	778	792	791
50	569	576	580	860	876	883
60	589	596	600	901	917	923

**ANEXO N°15:  
CÁLCULO DE LA CORRELACIÓN TBP GLOBAL (CTG) Ó NEXO ENTRE  
DESTILACIÓN ATMOSFÉRICA Y DESTILACIÓN AL VACÍO**

El objetivo de este cálculo es determinar una función que represente la curva de destilación TBP del crudo, de utilidad a la Refinería, a partir de las curvas de destilación atmosférica (ASTM D-86), destilación al vacío (ASTM D-1160) y el porcentaje vaporizado en la destilación atmosférica Hempel (ASTM D-285).

**Tanto las destilaciones ASTM D-86 como la ASTM D-1160 poseen relaciones de interconversión a datos TBP.** Como se mencionó anteriormente, la destilación elegida para la acumulación de crudo reducido fue la ASTM D-285 con una capacidad de carga mayor a la ASTM D-86, pero que no posee relaciones de interconversión a TBP. Por esa razón, fue necesario utilizar datos ASTM (En este caso de la **D-86**) hasta el PFE de la destilación ASTM D-285, es decir, aquellos correspondientes a la fracción vaporizada, y luego continuar con los datos de la destilación **ASTM D-1160** (equivalente atmosférico), correspondientes a la fracción líquida. De esta forma, toda la curva ASTM puede ser convertida a sus valores TBP.

W.C. Edmister y S.N. Obryadchikov<sup>1</sup> han desarrollado, sobre la base de trabajos experimentales, procedimientos de cálculo para obtener las curvas de destilación de la fracción líquida y de la fracción vaporizada, a partir de la curva de destilación y el porcentaje vaporizado de la mezcla. Sin embargo, no se ha encontrado en la bibliografía

<sup>1</sup> Wuithier, (Ref.51-Págs.424-430)

técnica el cálculo inverso que en esta sección se discute.

El procedimiento de cálculo propuesto por los Tesistas consiste en:

1. Determinar el porcentaje en volumen destilado atmosféricamente Hempel ( $VFH$ ).
2. Graficar las temperaturas TBP provenientes de la D-86 hasta el punto inmediato inferior que se tiene disponible. En el presente caso puede ser el punto 30% o el punto 50%.
3. Considerar la temperatura inicial de vacío TBP, proveniente de la D-1160, como el punto correspondiente al  $VFH^2$ . Cabe recordar que los porcentajes han de colocarse en función del rendimiento en crudo.
4. Observar en la gráfica el **Punto de Nexo**, usualmente es un punto que está por debajo de la curva, o simplemente, está fuera de la tendencia.
5. Eliminar el Punto Nexo y realizar una regresión polinomial de tercer grado con los puntos que quedan. Con ello queda establecida la correlación TBP Global (CTG).

Las curvas CTG para las tres mezclas se muestran en las Figuras A, B y C. Las ecuaciones CTG correspondientes son las siguientes:

$$\text{Mayna-30\%: } T(^{\circ}F) = 0.0014 \cdot V^3 - 0.2070 \cdot V^2 + 17.105 \cdot V + 111.38$$

$$\text{Mayna-50\%: } T(^{\circ}F) = 0.0018 \cdot V^3 - 0.2583 \cdot V^2 + 19.134 \cdot V + 129.86$$

$$\text{Mayna-70\%: } T(^{\circ}F) = 0.0019 \cdot V^3 - 0.2880 \cdot V^2 + 21.161 \cdot V + 142.22$$

---

<sup>2</sup> El PFE de la destilación Hempel (ASTM D-285) se puede considerar igual al correspondiente PFE de la TBP, ya que inmediatamente después se inicia la destilación de componentes pesados como los existentes en el crudo reducido. (Gary, et.al. Ref.21-Pág.20)

**CUADRO A:**  
Crudo: *Mayna-30/ONO-70*

% Volumen Dest.Hempel 55,3

	% Vol.Dest.	T(°F)	T <sub>ajuste</sub> (°F)
Destilación Atmosférica	0,0	113	111
	10,0	258	263
	30,0	490	476
	50,0	605	624
Destilación al Vacío	55,3	545	661
	59,7	705	693
	68,7	778	763
	77,6	860	846
	82,1	901	895

**CUADRO B:**  
Crudo: *Mayna-50/ONO-50*

% Volumen Dest.Hempel 53,8

	% Vol.Dest.	T(°F)	T <sub>ajuste</sub> (°F)
Destilación Atmosférica	0,0	128	130
	10,0	298	297
	30,0	526	520
	50,0	641	666
Destilación al Vacío	53,8	568	692
	58,4	724	725
	67,6	792	799
	76,9	876	892
	81,5	917	948

**CUADRO C:**  
Crudo: *Mayna-70/ONO-30*

% Volumen Dest.Hempel 44,3

	% Vol.Dest.	T(°F)	T <sub>ajuste</sub> (°F)
Destilación Atmosférica	0,0	140	142
	10,0	332	327
	30,0	568	569
Destilación al Vacío	44,3	533	679
	49,8	709	717
	61,0	791	792
	72,1	883	883
	77,7	923	939

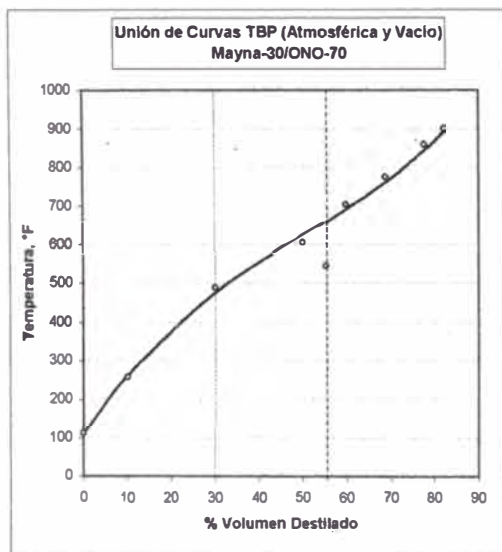


Figura A

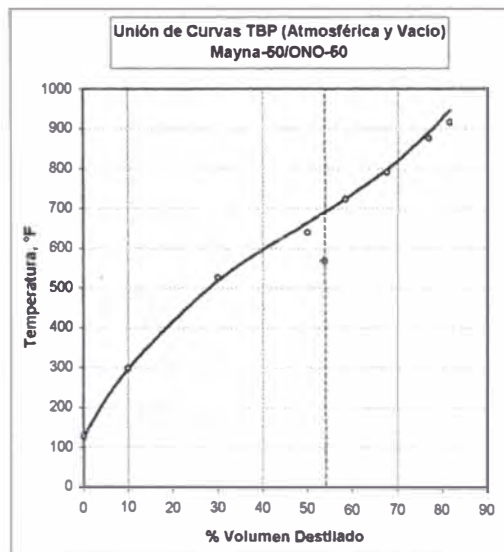


Figura B

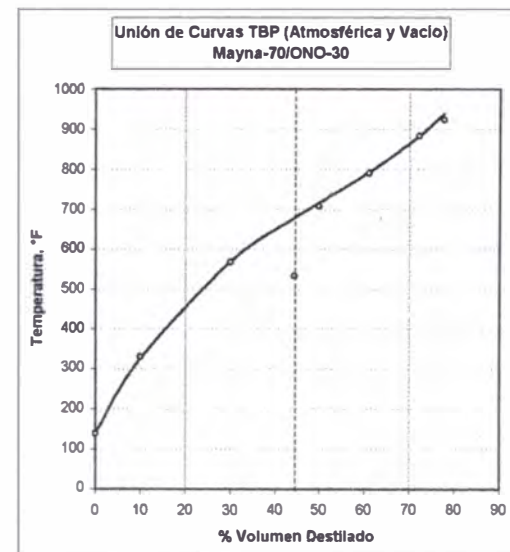


Figura C

Ahora se comparará las proyecciones de temperatura para el 80, 90 y 100%V hechas en el Anexo N°3 (utilizando sólo datos ASTM D-86), con las proyecciones evaluadas en las ecs.(20) CTG (ASTM D-86, Hempel, D-1160) para los mismos porcentajes en volumen y se establecerá las desviaciones correspondientes con respecto a las CTG's. Ver Cuadro D. Las desviaciones tienen un máximo de 6.1% con respecto a la correlación TBP global (CTG), por lo que los Tesistas consideran válidas, para los efectos de caracterización, tanto una como la otra regresión polinomial. Sin embargo, si se dispone de los datos experimentales de vacío, sería más correcto utilizar la CTG.

**CUADRO D:**  
**DESVIACIONES EN LOS %VOL EXTRAPOLABLES**  
**Datos Calculados TBP a partir de D-86 y de CTG**

<b>% Vol.Extrap.</b>	<b>TBP(°F) proy. D-86 Anexo 2</b>	<b>TBP(°F) proy. CTG Anexo 7</b>	<b>Desv. (%)</b>
<b>MAYNA-30/ONO-70</b>			
<b>80</b>	<b>850</b>	<b>872</b>	<b>2.52</b>
<b>90</b>	<b>984</b>	<b>995</b>	<b>1.11</b>
<b>100</b>	<b>1162</b>	<b>1152</b>	<b>0.87</b>
<b>MAYNA-50/ONO-50</b>			
<b>80</b>	<b>874</b>	<b>922</b>	<b>5.21</b>
<b>90</b>	<b>1014</b>	<b>1072</b>	<b>5.41</b>
<b>100</b>	<b>1207</b>	<b>1260</b>	<b>4.21</b>
<b>MAYNA-70/ONO-30</b>			
<b>80</b>	<b>906</b>	<b>965</b>	<b>6.11</b>
<b>90</b>	<b>1074</b>	<b>1099</b>	<b>2.27</b>
<b>100</b>	<b>1315</b>	<b>1278</b>	<b>2.90</b>

**CUADRO E:  
COMPARACIÓN DE RENDIMIENTOS DE PLANTA (UDP Talara) CON LOS DE TBP(CTG-Tesistas)**

% MEZCLA MAYNA	30			50			70			Producto
	Rendimientos (%)		DESV.ABS. (%)	Rendimientos (%)		DESV.ABS. (%)	Rendimientos (%)		DESV.ABS. (%)	
	TBP <sub>CTG</sub>	PLANTA		TBP <sub>CTG</sub>	PLANTA		TBP <sub>CTG</sub>	PLANTA		
< 284	11,59	13,39	1,80	9,10	13,48	4,38	7,41	12,57	5,16	Gas + Nafta Liviana
284 - 356	6,02	2,01	4,01	5,21	2,01	3,20	4,46	2,01	2,45	Nafta Pesada
356 - 554	22,39	25,13	2,74	19,87	22,80	2,93	16,48	18,09	1,61	Kerosene
554 - 689	19,20	14,55	4,65	19,20	11,09	8,11	17,33	13,03	4,30	Diesel
> 689	40,80	44,92	4,12	46,62	50,62	4,00	54,32	54,30	0,02	Crudo Reducido

El Cuadro E muestra el rango de ebullición de las fracciones atmosféricas<sup>3</sup>, el rendimiento de estos productos por tipo de mezcla HCT (Mayna-ONO) procesada en la UDP de la Refinería Talara<sup>4</sup> y su comparación con los rendimientos utilizando las curvas TBP (CTG) obtenidas por los Tesistas. Cabe anotar que para establecer las comparaciones mencionadas, las pérdidas que presenta el reporte de PetroPerú se las ha repartido proporcionalmente en los demás productos, como se muestra en el Cuadro F, porque en la UDP dichas pérdidas no necesariamente se refieren a las producidas por fugas de los componentes más volátiles, como sucede en las destilaciones de laboratorio<sup>5</sup>.

Asimismo, se aprecia que la CTG de la mezcla Mayna-70/ONO-30 posee menores desviaciones absolutas con respecto a los rendimientos de UDP. Se confirma el mayor rendimiento de crudo reducido que produce esta mezcla con respecto a las demás. Más aún, la CTG de la mezcla Mayna-70/ONO-30 **predice con mucha precisión el porcentaje de crudo reducido que se produce en la UDP**, con una desviación del 0.02%.

*Nota.- En el cuadro N°15 la comparación entre rendimientos de laboratorio y planta fue realizada con el fin de mostrar la desviación **absoluta** de los rendimientos utilizando la curva calculada CTG. Como se sabe, teóricamente, la CTG al provenir de datos TBP, debe mostrar aproximadamente los mismos rendimientos que en planta.*

<sup>3</sup> Gil, (Ref.22)

<sup>4</sup> Céspedes, (Ref.14)

<sup>5</sup> Las pérdidas se producen en todo el "sistema UDP". Son causadas tanto por deficiencias operativas como por deficiencias en los fenómenos de transferencia de masa, calor o movimiento.



**CUADRO F**  
**RENDIMIENTOS DE MEZCLA DE CRUDOS HCT MAYNA-ONO**  
**PROCESADOS EN LA UDP - REFINERÍA DE TALARA(\*)**

% vol. de Mayna en la mezcla	Considerando Pérdidas			Reajuste sin considerar Pérdidas		
	30	50	70	30	50	70
% Rendimiento en volumen						
Gas + Nafta Liviana	13,32	13,41	12,51	13,39	13,48	12,57
Nafta Pesada	2,00	2,00	2,00	2,01	2,01	2,01
Kerosene	25,00	22,67	18,00	25,13	22,80	18,09
Diesel	14,47	11,03	12,96	14,55	11,09	13,03
Crudo Reducido	44,69	50,34	54,03	44,92	50,62	54,30
Pérdidas	0,52	0,55	0,50	-	-	-
Total	100	100	100	100	100	100

(\*) Reporte UDP de Ingeniería de Procesos, Departamento Técnico, Refinería Talara, Junio 1998.

UDP: Unidad de Destilación Atmosférica

Las Figuras D, E y F muestran las comparaciones gráficas de las curvas TBP (CTG) y las procedentes de datos de UDP, para las tres mezclas de crudos. Se aprecia mejor como la mezcla Mayna-70/ONO-30 tiene una CTG que se ajusta muy bien a partir de aproximadamente 40% de volumen destilado. Esto es una comprobación que los datos de planta pueden ser extrapolados a partir de datos TBP.

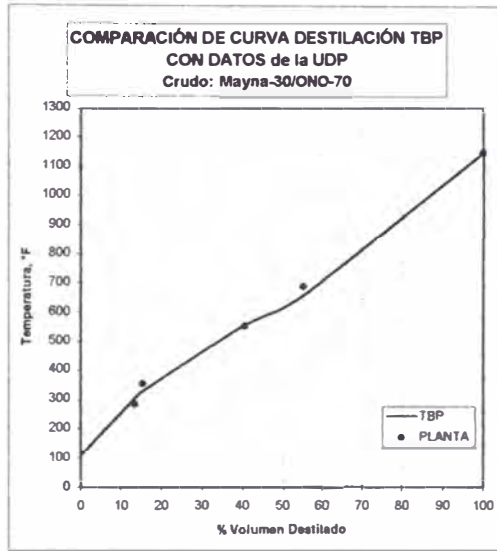


Figura D

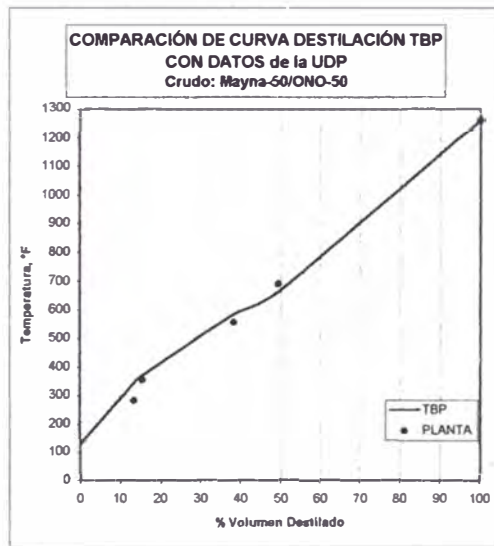


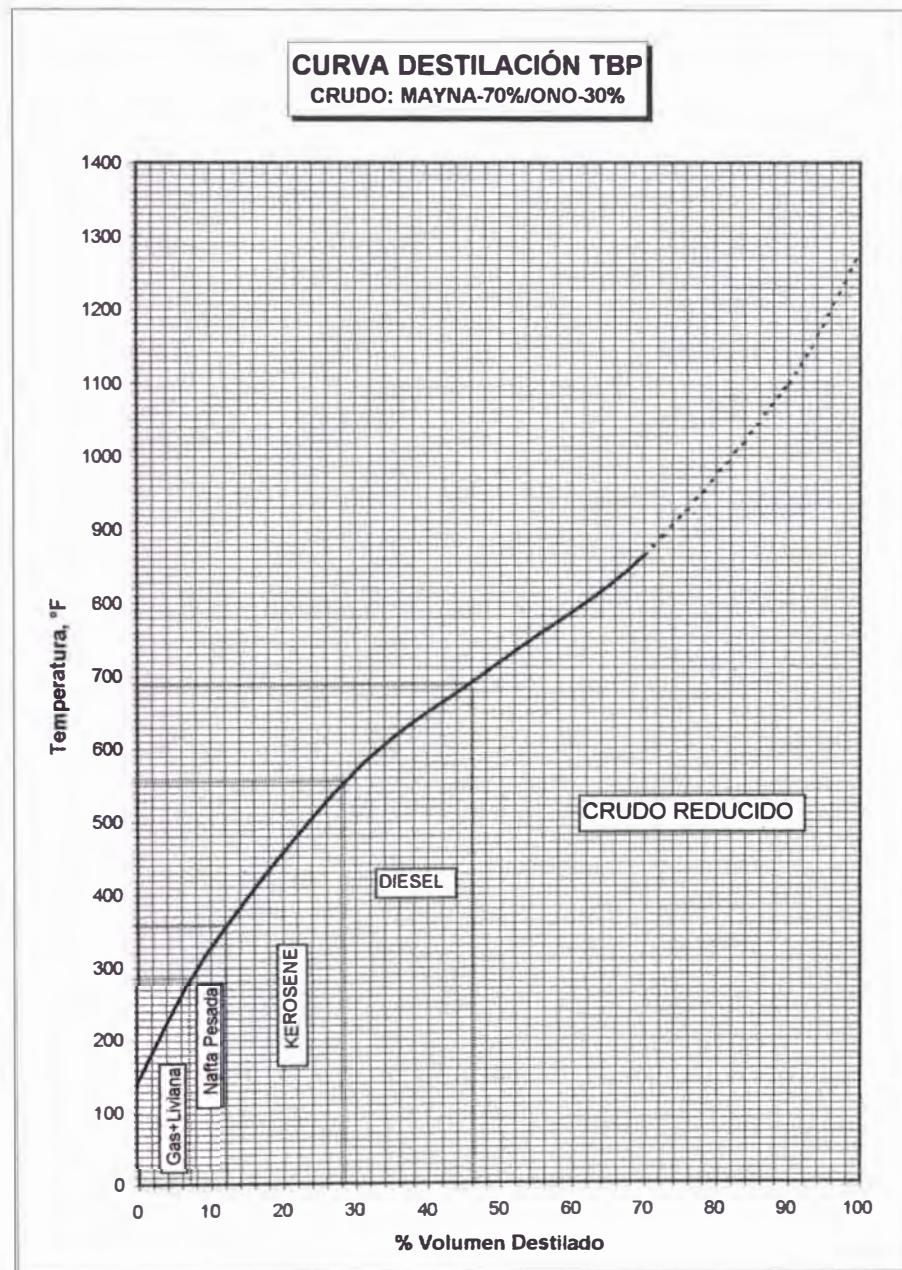
Figura E



Figura F

**ANEXO N°16:**

**CURVA DE DESTILACIÓN TBP DE LA MEZCLA DE CRUDOS MAYNA-70%/ONO-30%**



**ANEXO N°17:**

**HOJA TÉCNICA DE MEZCLAS DE CRUDOS MAYNA-50%/ONO-50% Y MAYNA-30%/ONO-70%**

**CRUDO MAY-50/ONO-50**  
HOJA TÉCNICA

PRUEBA	Resultado
GRAVEDAD API (15,6°C)	31,1
Gravedad específica (15,6°C)	0.8702
Viscosidad, cS (37,8°C)	11.66
Viscosidad, cS (50°C)	10.17
Azufre Total, % Peso	0.229
Sales, (lbs/MBrl)	0,21
Agua y Sedimentos, %vol	0.1
Peso Molecular	249
Kuop	11.7
% C <sub>aromáticos</sub> (ajustado)	30,8
% C <sub>parafínicos</sub> (ajustado)	67,8
% C <sub>nafénicos</sub> (ajustado)	1,4
<b>Destilación ASTM D-86</b>	
PIE (°F)	174.0
5% Recuperado	253.0
10% Recuperado	327.5
15% Recuperado	368.0
20% Recuperado	442.0
25% Recuperado	492.5
30% Recuperado	529.5
35% Recuperado	557.0
40% Recuperado	579.5
45% Recuperado	604.0
50% Recuperado	630.5
55% Recuperado	659.5
60% Recuperado	686.5
65% Recuperado	715.5
70% Recuperado	747.5
Temperatura Media Ponderada (°F)	599,3
<b>Destilación Hempel</b>	
Recuperado hasta 148,9°C	12.8
Recuperado de 148.9 hasta 176.7°C	4.3
Recuperado de 176.7 hasta 204.4°C	3.8
Recuperado de 204.4 hasta 232.2°C	4.8
Recuperado de 232.2 hasta 260.0°C	5.8
Recuperado de 260.0 hasta 287.7°C	6.3
Recuperado de 287.7 hasta 315.6°C	16.3
Recuperado hasta 315.6°C, % Vol	53.8
Residuo +315.6°C, %Vol	45.4
Pérdida	0.9
<b>Pruebas Residuo Hempel</b>	
Gravedad API (15,6°C)	20.2
Gravedad específica (15,6°C)	0.9330
Viscosidad, cS (50°C)	129.17
Pour Point, °C	26

**CRUDO MAY-30/ONO-70**  
HOJA TÉCNICA

PRUEBA	Resultado
GRAVEDAD API (15,6°C)	32,8
Gravedad específica (15,6°C)	0.8612
Viscosidad, cS (37,8°C)	8.82
Viscosidad, cS (50°C)	6.0
Azufre Total, % Peso	0.127
Sales, (lbs/MBrl)	0,12
Agua y Sedimentos, %vol	0.1
Peso Molecular	232
K <sub>uop</sub>	11,7
% C <sub>aromáticos</sub> (ajustado)	30,4
% C <sub>parafínicos</sub> (ajustado)	67,7
% C <sub>nafénicos</sub> (ajustado)	2,0
<b>Destilación ASTM D-86</b>	
PIE (°F)	157.0
5% Recuperado	237.7
10% Recuperado	290.3
15% Recuperado	343.0
20% Recuperado	405.0
25% Recuperado	452.7
30% Recuperado	494.5
35% Recuperado	524.5
40% Recuperado	548.5
45% Recuperado	573.5
50% Recuperado	596.3
55% Recuperado	623.0
60% Recuperado	659.7
65% Recuperado	695.3
70% Recuperado	726.7
Temperatura Media Ponderada (°F)	565,9
<b>Destilación Hempel</b>	
Recuperado hasta 148,9°C	15.3
Recuperado de 148.9 hasta 176.7°C	3.5
Recuperado de 176.7 hasta 204.4°C	6.0
Recuperado de 204.4 hasta 232.2°C	5.8
Recuperado de 232.2 hasta 260.0°C	6.5
Recuperado de 260,0 hasta 287.7°C	7.5
Recuperado de 287.7 hasta 315.6°C	10.8
Recuperado hasta 315.6°C, % Vol	55.3
Residuo +315.6°C, %Vol	44.0
Pérdida	0.8
<b>Pruebas Residuo Hempel</b>	
Gravedad API (15,6°C)	20.3
Gravedad específica (15,6°C)	0.9322
Viscosidad, cS (50°C)	139.1
Pour Point, °C	24

ANEXO N° 18:

ACUMULACIÓN DE CRUDO REDUCIDO POR DESTILACIÓN HEMPEL. CRUDO MAYNA-70%/ONO-30%. ETAPA: DETERMINACIÓN DE RANGOS DE CORTE FINAL

API ONO	35,7	API MAYNA	26,5
---------	------	-----------	------

FECHA	PRUEBA	Crudo				Volumen de Destilado, ml							% Destilado en Vol.	Crudo Reducido				% Rendimiento o C.Reducido en masa	
		Peso gr.	API	Sp.Gr.	PFE (°F)	Hasta 300°F	De 300 a 350°F	De 350 a 400°F	De 400 a 450°F	De 450 a 500°F	De 500 a 600°F	De 600 a 650°F		De 650 a PFE	API	Sp.Gr.	Peso gr.		% C.Reduc. en Vol.
20-Jul-98	11	352,0	29,3	0,8800	560	47	59	73	87	109	136	164	41,0	19,8	0,9352	216,6	57,9	1,1	61,5%
20-Jul-98	12	352,2	29,2	0,8805	540	48	63	74	91	116	164	164	41,0	20,0	0,9340	218,0	58,4	0,6	81,9%
20-Jul-98	13	351,5	29,5	0,8789	565	48	57	71	88	106	133	164	41,0	20,1	0,9334	216,7	58,0	1,0	61,7%
21-Jul-98	14	352,2	29,2	0,8805	568	48	58	75	86	110	138	164	41,0	20,0	0,9340	216,9	58,1	0,9	61,6%
21-Jul-98	16	351,3	29,6	0,8783	557	48	58	72	87	109	137	164	41,0	20,0	0,9340	215,6	57,7	1,3	61,4%
22-Jul-98	17	351,6	29,5	0,8789	547	46	59	71	88	111	164	164	41,0	20,1	0,9334	217,4	58,2	0,8	61,8%
22-Jul-98	18	351,3	29,6	0,8783	561	50	60	76	89	117	141	165	41,3	20,1	0,9334	216,9	58,1	0,7	61,7%
22-Jul-98	19	351,3	29,6	0,8783	570	47	58	72	88	110	137	164	41,0	20,1	0,9334	217,0	58,1	0,9	61,8%
31-Jul-98	26	352,6	29,0	0,8816	595	43	52	67	77	98	120	166	41,5	20,1	0,9334	216,6	58,0	0,5	61,4%
31-Jul-98	27	352,4	29,1	0,8811	590	42	52	69	79	108	128	165	41,3	19,9	0,9346	214,7	57,4	1,3	60,9%
03-Ago-98	28	352,9	28,9	0,8822	583	43	58	66	82	106	130	166	41,5	20,1	0,9334	214,7	57,5	1,0	60,8%
04-Ago-98	29	352,6	29,0	0,8816	585	40	53	64	79	100	127	165	41,3	20,2	0,9328	215,0	57,6	1,1	61,0%
05-Ago-98	31	353,1	28,8	0,8827	593	40	52	65	77	97	124	166	41,5	20,1	0,9334	218,6	58,6	-0,1	61,9%
05-Ago-98	32	352,9	28,9	0,8822	556	43	50	63	86	110	144	164	41,0	20,1	0,9334	218,6	58,6	0,4	61,9%
06-Ago-98	33	352,6	29,0	0,8816	587	40	52	68	80	102	127	167	41,8	19,9	0,9346	213,6	57,1	1,1	60,6%
06-Ago-98	34	353,5	28,6	0,8838	553	43	54	68	84	106	136	166	41,5	20,1	0,9334	217,9	58,4	0,1	61,6%
<b>ESTADÍSTICAS</b>																			
N° Datos	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	14	16	16	16	16	16	16	16	16
Promedio	352,3	29,2	0,8807	569	45	56	70	84	107	133	165	165	41,2	20,0	0,9337	216,6	56,0	0,8	61,5%
Desviación Estándar	0,7	0,3	0,0017	17	3,4	3,8	4,0	4,6	5,7	6,9	1,0	0,3	0,1	0,0006	1,5	0,4	0,4	0,4	0,4%
Varianza	0,5	0,1	0,0000	302	11	14	16	21	33	47	1	0,1	0,0	0,0000	2,2	0,2	0,2	0,2	0,0%
Intervalo de la media	Confianza 95%																		
MINIMO	352,1	29,1	0,8804	566	44	55	69	83	106	131	165	165	41,2	20,0	0,9336	216,3	57,9	0,7	61,4%
MÁXIMO	352,4	29,2	0,8810	572	45	57	70	85	108	134	165	165	41,3	20,1	0,9338	216,8	58,1	0,9	61,5%

**ANEXO N°19:  
CARACTERIZACIÓN DEL CRUDO REDUCIDO. PROCEDIMIENTOS DE  
CÁLCULO.**

**1. DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS**

Para determinar las características de la Materia Prima es necesario obtener en el laboratorio, las siguientes propiedades fundamentales:

1. Temperatura Media Ponderada (TMP)
2. Gravedad API (a 60°F)
3. Porcentaje en peso de Azufre

De las tres propiedades, sólo la TMP requiere de cálculos adicionales sobre los datos obtenidos en las 18 destilaciones ASTM D-1160 realizadas en el laboratorio y que se muestran en el Anexo N°19-A. Frente a la cantidad y diversidad de los datos los Tesistas utilizaron un criterio estadístico para eliminar los datos no representativos. El procedimiento estadístico utilizado es el conocido como **Prueba t<sup>1</sup>**. Este procedimiento calcula un intervalo<sup>2</sup> en el cual se puede encontrar la media de los datos. Luego verifica si cada uno de ellos está en el **Intervalo Medio** calculado, si no lo está, el dato es rechazado. En el Anexo N°19-B se muestra el procedimiento estadístico.

En el Cuadro A se resume los resultados del procedimiento de la Prueba 't'.

<sup>1</sup> Este procedimiento se ejecutó con el programa estadístico perteneciente de la calculadora personal CASIO FX-880P. Véase el manual de la misma (Ref.13-Pág.361-362)

<sup>2</sup> El intervalo se establece por regiones críticas a ambos lados de la distribución t, con grado de libertad (n-1), donde n es el número de datos.

Como se mencionó, el intervalo de la Media que aparece para cada corte, en el Cuadro A, determina los valores de temperatura que serán rechazados por estar fuera del mismo.

La eliminación de algunos datos, bajo este criterio, implica el cálculo de nuevos promedios o medias, distintos obviamente, a los que aparecen en el Cuadro A. De esta forma, los valores no rechazados poseen desviaciones menores respecto a las nuevas medias. Esto se muestra en el Cuadro B. Las medias o promedios que aparecen en este cuadro son las utilizadas para graficar la curva de destilación que muestra en la Figura A.

**Cuadro A:**  
**TEMPERATURA DE LOS CORTES DE DESTILACIÓN AL VACÍO (10 mmHg) AL 5 %**  
**Cuadro Resumen de la Prueba 't' de Datos Experimentales del Anexo N°19-A**

Intervalo Significancia 0,05	NºDATOS	PROMEDIO °F	DESVIACIÓN ESTÁNDAR °F	VARIANZA	MÍNIMO °F	MÁXIMO °F	
PIE(°F)	16	221	6,2	37,9	217	225	
ESTADÍSTICAS					INTERVALO DE LA MEDIA		
NºCORTE	RANGO %V	NºDATOS	PROMEDIO °F	DESVIACIÓN ESTÁNDAR °F	VARIANZA	MÍNIMO °F	MÁXIMO °F
1	0%-5%	16	393	6,5	42,4	389	397
2	5%-10%	17	410	5,5	30,6	407	414
3	10%-15%	18	425	6,3	39,3	421	429
4	15%-20%	18	442	8,3	68,4	437	446
5	20%-25%	18	459	9,5	89,8	453	464
6	25%-30%	18	477	7,7	59,6	472	481
7	30%-35%	18	495	12,1	145,8	488	502
8	35%-40%	18	521	8,3	68,3	516	526
9	40%-45%	18	539	10,9	119,3	533	545
10	45%-50%	17	559	14,7	214,9	550	567
11	50%-55%	13	582	10,8	116,1	574	590
12	55%-60%	11	612	4,6	20,8	608	616
13	60%-65%	12	620	30,2	910,4	598	643
14	65%-70%	6	641	6,0	36,3	633	648

*Nota.- El corte N°14 en realidad abarca el rango 65-72.5%, pero las temperaturas fueron medidas sólo hasta el 70% de volumen de crudo reducido destilado, por lo tanto, el rango de corte N°14 es considerado como 65%-70%. Se procedió de esta forma porque al 70% de volumen destilado se retiraba el medio de calentamiento para detener la destilación.*

**CUADRO B:**  
**TEMPERATURAS DE LOS CORTES DESTILACIÓN AL VACÍO (10 mmHg) AL 5 %**  
**RANGOS PROMEDIADOS PRUEBA t- ASTM D1160**

RANGO %V	PROMEDIO TEMP, °F	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	VARIANZA
0%	222,14	2,7	7,1
ESTADÍSTICAS			
	PROMEDIO DE TEMP.FINAL DE C/CORTE,(°F)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	VARIANZA
5%	393,67	1,5	2,3
10%	410,25	2,0	3,9
15%	424,17	1,6	2,6
20%	445,20	1,1	1,2
25%	458,00	1,9	3,4
30%	475,71	3,5	12,6
35%	501,20	1,1	1,2
40%	521,33	1,0	1,1
45%	539,50	1,0	1,0
50%	559,60	1,7	2,8
55%	582,60	3,0	8,8
60%	611,67	2,0	3,9
65%	628,40	0,9	0,8
70%	642,80	3,3	11,2

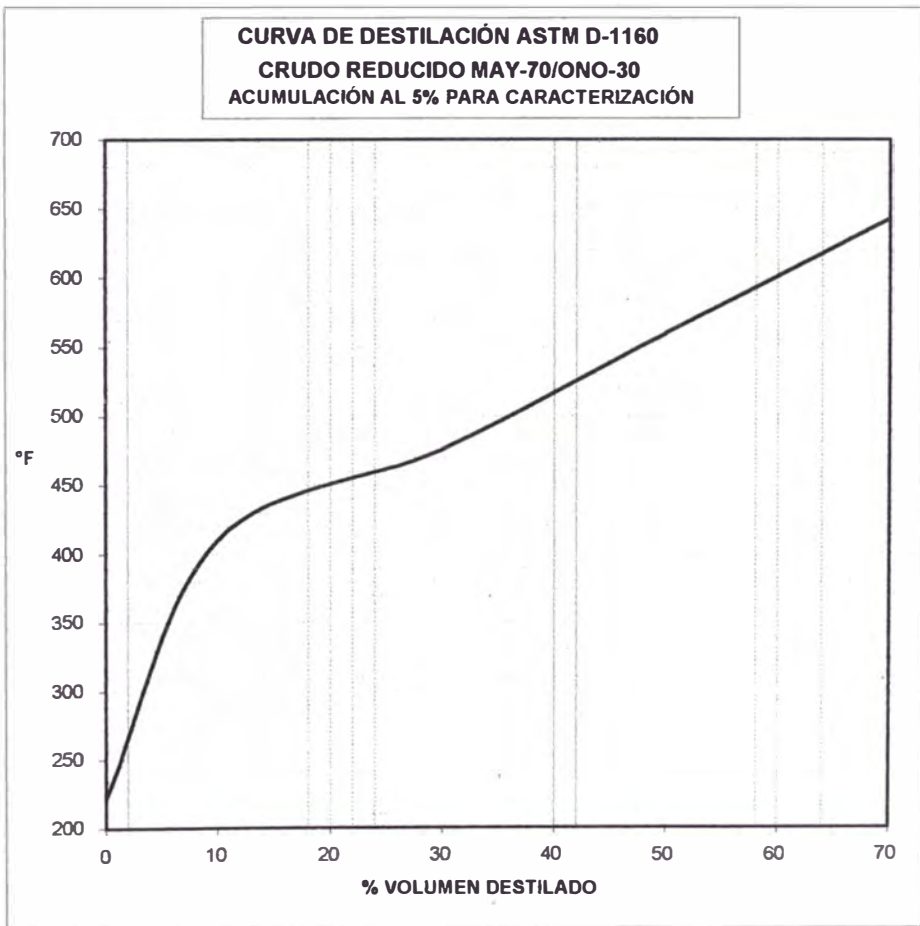


Figura A



De los datos del Cuadro B se obtiene las temperaturas equivalentes TBP correspondientes, bajo los mismos procedimientos establecidos en el Anexo N°13. Los resultados de dichas transformaciones se muestran en el Cuadro C y la respectiva curva TBP en la Figura B.

**CUADRO C**  
**TEMPERATURAS DE DESTILACIÓN AL VACÍO D-1160 - TBP**  
**DATOS DE ACUMULACIÓN AL 5% VOLUMEN**

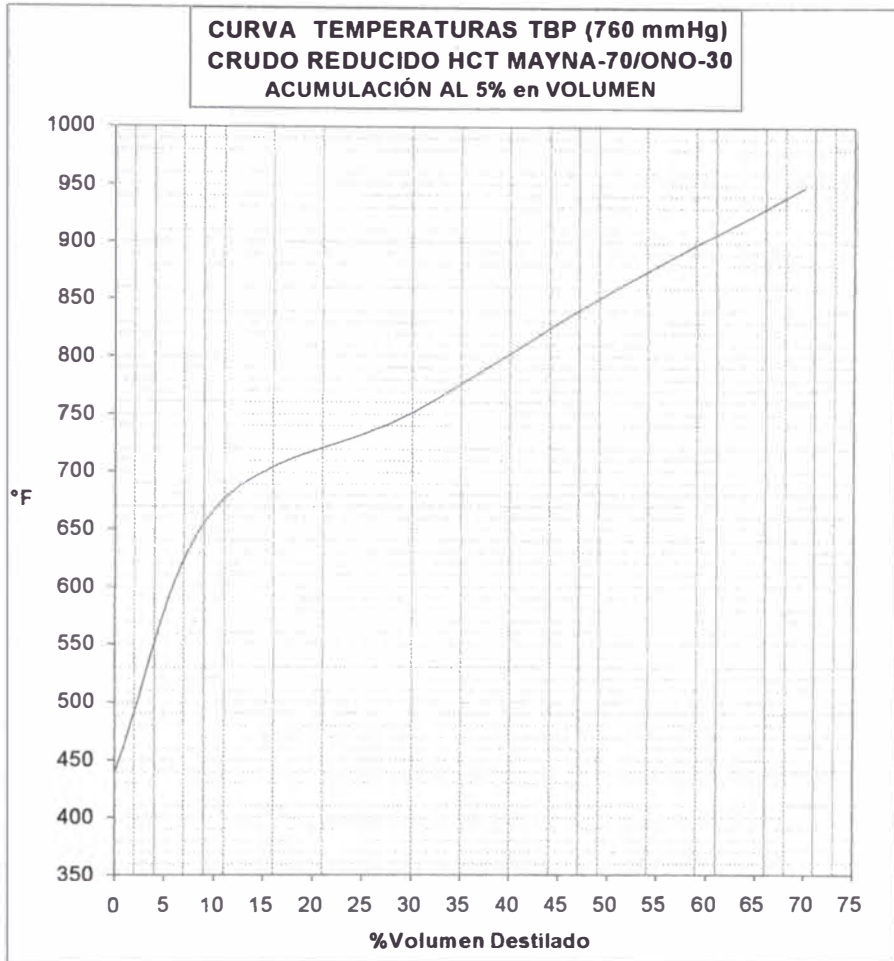
% VOLUMEN	T(°C) 10mmHg ASTM D- 1160	T(°C) 10mmHg TBP	T(°F) 760 mmHg TBP
0	105,63	97,8	439
10	210,14	202,3	666
30	246,51	242,8	751
50	293,11	293,1	855
70	339,33	339,3	949

La curva de destilación TBP presenta una gran pendiente de temperatura de  $26.3^{\circ}\text{F}/\%V$  hasta aproximadamente 6.5% de volumen destilado ( $610^{\circ}\text{F}$ ) punto en el que disminuye gradualmente su valor hasta el 30% de volumen destilado ( $751^{\circ}\text{F}$ ). A partir de ahí, aumenta ligeramente permaneciendo creciente a un cambio aproximado de  $5^{\circ}\text{F}/\%V$ .

El gran gradiente inicial es consecuencia de la destilación de fracciones como diesel, gasóleos, incluso algo de kerosene<sup>3</sup>. Probablemente se deba también al craqueo térmico del crudo reducido bajo las causas descritas en el Anexo N°11.

---

<sup>3</sup> El rango que se estableció en el cap.II, cuadro N°15, para las fracciones es: Kerosene ( $356-554^{\circ}\text{F}$ ), Diesel ( $554-689^{\circ}\text{F}$ ). Gil, (Ref. 22)



**Figura B**

En el Cuadro D se compara las temperaturas correspondientes a destilaciones al vacío del crudo reducido HCT MAYNA-70/ONO-30 realizada en la etapa de Selección de Crudos (Sección II.2.3.2., Cuadro N°11), y la presentada en el Cuadro C. Se demuestra que no existe mayor variación a partir del 10% en volumen destilado. La variación existente en el PIE se debe básicamente a la variación en la separación atmosférica. El promedio de las desviaciones en las temperaturas de destilación es del 5.2% (sin contar el correspondiente al PIE), valor que muestra la poca variación en la naturaleza del crudo reducido debido al cambio en la carga para las acumulaciones Hempel.

**CUADRO D:**

**VARIACIÓN DEL CRUDO REDUCIDO POR DISTINTAS ACUMULACIONES**

**Etapas de Acumulación: 1. Selección Crudos y 2. Destilación al 5% en vol.**

% Vol. Destilado (Con respecto al Crudo Reducido)	T(°F) Etapa: Selección de Crudos	T(°F) Etapa: Destilación al 5% en vol.	Desv. (%)
PIE	533	439	21.4
10	709	666	6.5
30	791	751	5.3
50	883	855	3.3
60	923	874	5.6
Promedio de la Desviación entre 10 y 60% Vol.Dest.			5.2

**a) . Temperatura Media Ponderada (TMP) .** -El cálculo de la TMP sigue básicamente el procedimiento establecido en el Anexo N° 4. El factor  $K_{UOP}$  es el correspondiente al crudo May-70/ONO-30, **11.72152**. Esto es una consideración propia y válida para el método. La única diferencia es el cálculo de los pesos moleculares de los pseudocomponentes y del crudo reducido mismo. La ecuación que se utiliza es la de Lee y Kesler<sup>4</sup>

destinada para el cálculo de pesos moleculares de fracciones pesadas con temperaturas de ebullición recomendadas superiores a 600°K (620°F) :

$$PM = -12272.6 + 9486.4 \cdot S + TMP \cdot (8.3741 - 5.9917 \cdot S) + (10^7 / TMP) \cdot (10.77084 \cdot S - 0.02058 \cdot S^2) \cdot (0.7465 - 222.466 / TMP) + (10 / TMP^3) \cdot (1 - 0.80882 \cdot S + 0.02226 \cdot S^2) \cdot (0.32284 - 17.3354 / TMP)$$

Donde: PM = Peso molecular [gr/mol]  
 S = Gravedad Específica (60°F/60°F) TMP  
 = Temperatura media Ponderada, °K

Al igual que en el procedimiento anterior, para determinar la TMP bajo el método de pseudocomponentes será necesaria la curva polinómica que ajuste la TBP. La ecuación que se obtiene es:

$$TBP(^{\circ}K) = 0.0021 \cdot (\%V)^3 - 0.2646 \cdot (\%V)^2 + 12.19 \cdot (\%V) + 508.24$$

**b). Gravedad API.**- Medida en laboratorio es igual a 20.0°. La **densidad a 20°C** es 0.9323 gr/cc.

Los resultados obtenidos por el método de pseudocomponentes se muestran, en detalle, en el Anexo N 19-C. La **Temperatura Media Ponderada (TMP)** calculada es 745.7°K (882.6°F).

**c). Peso Molecular (PM).** - El PM del crudo reducido, evaluado en la ec. (1), para la TMP, es 424.97 gr/mol.

**d). Cálculo del Índice Refracción IR (20°C).** - La determinación del Índice de Refracción tiene como objetivo establecer la naturaleza química aproximada del crudo reducido. El valor experimental no se pudo obtener por la dificultad en la lectura debida a la consistencia espesa del residuo. Por esta razón se procedió a su cálculo. Se siguió el establecido por el American Petroleum Institute<sup>5</sup>. Los parámetros de entrada son la Temperatura Media Ponderada (TMP), la densidad líquida a 20°C ( $d_{20}$ ) y el Peso Molecular (PM). El procedimiento de cálculo es válido, puesto que los resultados están dentro de los siguientes rangos: PM(70-567gr/mol);  $TMP_{20}$  97-928 ° F);  $18.62-135.7$  gr/cc); Para PM > 200 gr/mol el error aprox.

<sup>5</sup> API, (Ref.2-Págs.2-23,2-24)

es de 1.1%. El procedimiento es recomendado para fracciones de petróleo y se describe a continuación.

1. Se calcula el Parámetro de *Huang*, (*H*):

$$H = 1.896 \cdot 10^{-3} \cdot TMP^{1.0848} \cdot (PM/d_{20})^{-0.4439}$$

Donde: *TMP* = Temperatura Media Ponderada, [°R]

*PM* = Peso Molecular, [gr/mol]

*d*<sub>20</sub> = Densidad del líq. a 20°C, gr/cc

2. Cálculo del Índice de Refracción (*IR*<sub>20</sub>):

$$IR_{20} = ((1 + 2 \cdot H) / (1 - H))^0.5$$

Los resultados para el crudo reducido fueron:

$$\begin{aligned} H &= \\ &0.3095830594 \cdot IR_{20} \\ &= 1.5314 \end{aligned}$$

## 2. DETERMINACIÓN DE NATURALEZA QUÍMICA

La determinación de la Naturaleza Química del Crudo Reducido está basada en la misma metodología establecida en el Anexo N°7 para los crudos, es decir, se seguirá el método n.d.M. Es necesario para ello del porcentaje de azufre que posee el crudo reducido. Experimentalmente, el **% Azufre obtenido es de 0.480**.

A continuación se muestra el Cuadro E donde se resume las propiedades físicas del crudo reducido como también, los resultados del análisis n.d.M de naturaleza química del mismo.

**CUADRO E:**

**CUADRO RESUMEN CARACTERÍSTICAS DE MATERIA PRIMA  
Crudo Reducido HCT MAYNA-70/ONO-30**

API	<b>20.0</b>	IR <sub>20</sub>	<b>1.5314</b>
TMP	<b>882.6°F / 745.7°K</b>	Azufre (% peso)	<b>0.480</b>
K <sub>UOP</sub>	<b>11.799*</b>	% C <sub>PARAFÍNICO</sub>	<b>62.6</b>
d <sub>20</sub> (gr/cc)	<b>0.9323</b>	% C <sub>AROMÁTICO</sub>	<b>34.5</b>
PM (gr/mol)	<b>424.97</b>	% C <sub>NAFTÉNICO</sub>	<b>2.9</b>

\* La diferencia con el K<sub>UOP</sub> del crudo (0.66%) radica básicamente en el grado de precisión en el ajuste de las curvas polinómicas TBP

Si se compara la naturaleza química de la mezcla de crudos MAYNA-70/ONO-30 con la de su correspondiente crudo reducido, ver Figura C, se observa que el carácter parafínico no varía mucho, mientras que tanto el carácter aromático y el nafténico incrementaron sus porcentajes.

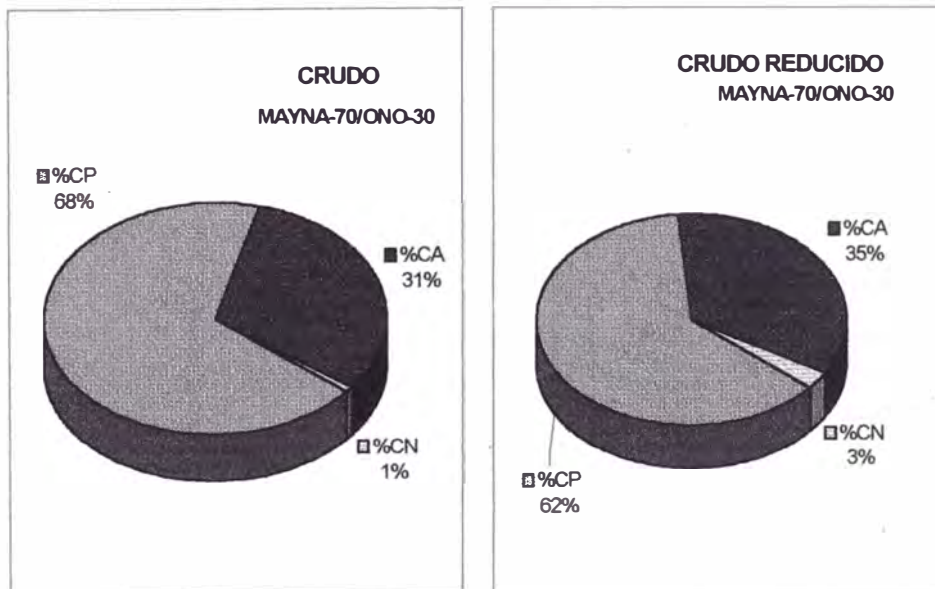


Figura C

Por los resultados se deduce que las fracciones destiladas atmosféricamente poseen una naturaleza química similar a la del crudo reducido.

ANEXO N°19-A:

DATOS EXPERIMENTALES DE TEMPERATURA ASTM D-1160 (10 mmHg)

DESTILACIÓN AL VACÍO AL 5 %

INTERVALO DE CONFIANZA:		95%																	
PIE(°F)		210	215	218	220	220	225	220	220	215	215	215			230	225	230	225	230
		PUNTOS FINALES (°F) - N°DESTILACIÓN																	
N°CORTE	RANGO %V	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0%-5%	380			390	388	398	396	397	394	401	402	385	400	394	392	382	394	392
2	5%-10%	404		410	405	408	416	408	412	412	420	420	405	418	412	406	402	412	408
3	10%-15%	422	420	420	428	418	432	424	432	426	436	434	420	432	426	418	414	423	424
4	15%-20%	436	438	442	436	426	450	448	446	438	458	452	430	444	444	440	430	446	448
5	20%-25%	464	456	456	458	442	456	470	468	460	474	470	440	460	464	458	444	460	454
6	25%-30%	478	472	464	468	472	488	488	482	478	483	482	480	484	478	462	470	472	482
7	30%-35%	490	480	492	472	482	508	502	508	480	514	510	500	498	496	502	482	500	502
8	35%-40%	526	516	516	508	514	522	536	526	522	536	528	520	526	522	522	504	520	516
9	40%-45%	548	520	536	524	532	542	558	558	538	552	542	525	544	540	540	528	540	532
10	45%-50%		532	648	542	554	572	580	584	552	568	562	532	560	558	560	571	558	564
11	50%-65%		572	570	576	580	596			586	584	596		584	560	579		592	592
12	55%-60%			610	606	616				612	614	618		618	610	604		610	614
13	60%-65%			628	622	628	630			628	632	636		640	526	622		624	628
14	65%-70%			642						840	644	648						630	640

**ANEXO N°19-B:**

**PROCEDIMIENTO ESTADÍSTICO PRUEBA 'T'. ESTIMACIÓN  
DEL INTERVALO MEDIO**

1. Se calcula el Promedio o Media ( $\mu$ ) de los datos experimentales ( $x_i$ ) obtenidos:

$$\mu = (\sum x_i)/n$$

donde:

$$i = 1, \dots, n$$

$n$  = Número de datos

2. Se determina la Varianza de los datos:

$$V = \frac{n \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}{n \cdot (n - 1)}$$

3. Se establece un nivel de confianza. En la presente Tesis todos los cálculos de Prueba 't' han sido con un nivel de confianza de **95%**, es decir, existe una confianza del 95% de que un valor cualquiera se encuentre en el intervalo estimado:

$$1 - \alpha = 0.95$$

$$\alpha = \text{Nivel de Significancia} = 0.05$$

El nivel de significancia es un concepto inverso al de confianza y es el que se utiliza en esta prueba.



4. Es necesario determinar el Punto Porcentual de la distribución 't' (PPt) para los siguientes parámetros:

$$PPt = f(p, v)$$

$$p = \text{Probabilidad} = 0.05 / 2 = 0.025$$

$$\text{Grados de Libertad} = v = n - 1$$

El Punto Porcentual se puede obtener de cualquier tabla estadística o utilizando una computadora. Los Tesistas han hecho ~~facilidad~~ ~~de las~~ ~~as~~ se ofrece el software Microsoft Excel 7.0 en sus funciones estadísticas. En el caso específico la función utilizada fue:

$$\text{Distr.t.inv}(p; v)$$

5. Contando con todos los parámetros, se procede a determinar el Intervalo Medio:

El **Límite inferior, MINIMO:**

$$L_{inf} = \mu - (PPt) \cdot (V/n)^{0.5}$$

El **Límite superior, MÁXIMO:**

$$L_{sup} = \mu + (PPt) \cdot (V/n)^{0.5}$$

**ANEXO N°19-C:**

**ANÁLISIS POR PSEUDOCOMPONENTES: CRUDO REDUCIDO HCT  
MAYNA-70/ONO-30. RESULTADOS ETAPA: DETERMINACIÓN DE  
RANGOS FINALES DE CORTE.**

API: 20,0

$$TBP (\%V) = 0,0021*(\%V)^3 - 0,2646*(\%V)^2 + 12,19*(\%V) + 508,24$$

i	X <sub>v<sub>i</sub></sub>	X <sub>i</sub>	T <sub>bi</sub> (°K)	PM <sub>i</sub>	Dens(Kg/m <sup>3</sup> )
1	2,132098E-02	4,106951E-02	533,0478	192,6032	835,1187
2	2,352896E-02	4,135251E-02	557,7791	214,3099	847,8394
3	2,678100E-02	4,306783E-02	582,7533	237,6599	860,3089
4	3,074710E-02	4,543136E-02	607,5588	262,2799	872,3463
5	3,675019E-02	5,007552E-02	632,2750	288,2196	884,0188
6	4,722731E-02	5,951318E-02	657,1069	315,6792	895,4435
7	6,890055E-02	8,055132E-02	681,9211	344,4943	906,5760
8	1,430244E-01	1,556123E-01	706,6901	374,5961	917,4220
9	1,683039E-01	1,709086E-01	731,4488	405,9871	928,0132
10	7,696598E-02	7,307412E-02	756,5831	439,1451	938,5233
11	4,970856E-02	4,428836E-02	781,3240	473,0124	948,6439
12	3,819252E-02	3,201444E-02	806,0313	508,0077	958,5397
13	3,178535E-02	2,511533E-02	830,9282	544,4149	968,3091
14	2,742340E-02	2,046878E-02	855,9047	582,0475	977,9154
15	2,407326E-02	1,701637E-02	880,7161	620,4886	987,2750
16	2,184525E-02	1,464756E-02	905,7209	660,2528	996,5314
17	2,082420E-02	1,324053E-02	931,8872	702,9183	1006,0370
18	1,843132E-02	1,115721E-02	957,0369	744,8998	1015,0070
19	1,729012E-02	9,978469E-03	982,4016	788,1658	1023,8960
20	1,611031E-02	8,881485E-03	1007,6380	832,0964	1032,5890
21	1,489418E-02	7,862815E-03	1032,3910	876,0063	1040,9770
22	1,501518E-02	7,581242E-03	1058,7730	923,6591	1049,7690
23	1,375519E-02	6,627680E-03	1084,2330	970,4504	1058,1170
24	1,385513E-02	6,432796E-03	1111,1630	1020,7610	1066,8060
25	1,255516E-02	5,607324E-03	1136,7080	1069,2280	1074,9190
26	1,263618E-02	5,425469E-03	1163,5390	1120,8810	1083,3110
27	7,055053E-03	2,962874E-03	1179,0180	1151,0160	1088,0940

T <sub>ibp</sub> (°K)	=	<b>760,7399</b>
TMP (°K)	=	<b>745,6815</b>
K <sub>UOP</sub>	=	<b>11,79887</b>
%Err Bal.Mat.	=	<b>0,6358607</b>
%Err Bal.Mol.	=	<b>2,232901</b>

**ANEXO N°20:**

**CARACTERIZACIÓN DE LOS 14 CORTES DE VACÍO AL 5% EN VOLUMEN**

Fueron necesarias 18 destilaciones al vacío. Como cada corrida produjo 10 ml de corte (5% de 200 ml) se logró acumular en las 18 corridas, aproximadamente 180 ml por corte. Este es un volumen que permite medir adecuadamente las propiedades necesarias para la caracterización de cada corte destilado.

**1. PROPIEDADES MEDIDAS Y METODOLOGÍA DE REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE RESULTADOS**

Se realizó la caracterización de los cortes destilados que representan cada uno el 5% en volumen del crudo reducido.

Las propiedades elegidas para la caracterización son las que usualmente aparecen en las fichas técnicas de las Bases Lubricantes Parafínicas<sup>1</sup> y aquellas que dan el soporte técnico a la explicación sobre el comportamiento y composición del lubricante. Son las que se listan a continuación:

- Viscosidad medida a 40°C, cSt -ASTM D445
- Viscosidad medida a 100°C, cSt -ASTM D445
- Gravedad API           ASTM D287 y ASTM D1298
- % Peso de azufre (%S) -ASTM D1552
- Índice de refracción (IR) -ASTM D1747
- Pour Point -ASTM D97
- % Sólidos disueltos (%SS) -ASTM D1218
- % Peso de parafinas (%PAR) -UOP 46.64

<sup>1</sup> Shell, (Ref. 46) y Mobil (Ref. 34)

Mediante correlaciones matemáticas se obtuvieron las siguientes propiedades:

- Índice de viscosidad (IV) - ASTM D2270
- Peso molecular (PM) Ecuación a partir de viscosidades<sup>2</sup>
- Naturaleza Química (%Carbonos Parafínicos, Nafténicos y Aromáticos) - Análisis n.d.M.

A continuación se definirá los tipos de representaciones gráficas que se han utilizado para mostrar y poder analizar los resultados en esta etapa de caracterización de cortes.

### **1.1. Curvas de Propiedades Instantáneas (MID PERCENT CURVES)**

Este tipo de curvas representa el cambio instantáneo que se produce en una propiedad determinada conforme se está destilando, es decir, gota a gota.

Cualquier propiedad de una fracción, sea la densidad o la viscosidad, es un promedio de todas las gotas existentes en esa fracción. Cada gota es diferente de la gota anterior y de la que viene, el hecho que se considere a la gota que destila a la mitad de la fracción como la representante promedio de la fracción implica que la curva instantánea en el rango de la misma sea una línea recta<sup>3</sup>. En el presente caso, cada corte se ha realizado al 5% en volumen por lo que la asunción de una línea recta en dicho intervalo es válida. Por ello, en las gráficas

---

Wauquier, (Ref.50-  
Pág.99) Nelson,  
(Ref.36-Pág.111)

realizadas se ha considerado los puntos medios de cada rango como representantes de la propiedad promedio de cada corte y como los puntos de unión para la formación de la curva.

*Nota.- Cada corte es al 5%, menos el último (14°) que destiló entre 2 y 3% más (65-72.5%V), debido principalmente a la dificultad de detener instantáneamente la destilación (tiempo de respuesta del proceso). Esta variación en el porcentaje del último corte se trató de mantener constante durante todas las corridas para lograr una composición lo más homogénea posible en el residuo de vacío que se acumulaba.*

Finalmente, es necesario saber si la propiedad que se representa cumple con la **ley de la Aditividad**. Esta ley establece que la propiedad de una fracción es un **promedio ponderado simple** de las correspondientes a cada gota componente de la fracción. Si se extiende esta definición a una mezcla de fracciones, la propiedad de dicha mezcla es un promedio ponderado de las correspondientes a cada fracción. Ejemplos de **propiedades aditivas** son: densidad, Punto de Anilina, los porcentajes (%Azufre, %Carbonos), el ratio H/C. Como ejemplos de **propiedades no aditivas** se tiene la viscosidad, el API, el Color, el Pour Point, el Flash Point. Esta condición de aditividad es importante para la determinación de las curvas de Rendimiento que se definen a continuación.

## 1.2. Curvas de Propiedades Rendimiento (YIELD CURVES)

Las curvas de propiedades Rendimiento muestran el comportamiento del corte destilado conforme avanza la destilación, representando el valor final de la curva las propiedades de todo el destilado acumulado. Las curvas de propiedades Rendimiento son utilizadas mayormente para representar propiedades no aditivas, aunque pueden ser utilizadas cuando se trate de representar propiedades aditivas.

En el Anexo N°20-A se muestra el procedimiento de cálculo de viscosidad de una mezcla a partir de 2 aceites mediante la norma ASTM D-341. Esto será la base del cálculo de viscosidades acumuladas. En el Anexo N°20-B se lista el Programa en lenguaje BASIC del procedimiento descrito en el Anexo N°20-A.

Para hallar la curva de propiedades Rendimiento (acumuladas) de la viscosidad fue necesario realizar una iteración del procedimiento de cálculo expuesto. La viscosidad resultante de acumular cortes (mezclar cortes) no puede ser calculada por el promedio ponderado de los cortes (no aditividad), ya que la mezcla tiene una viscosidad inferior a la calculada por dicho ponderado<sup>4</sup>.

La adaptación del programa listado en el Anexo N°20-B, se lista en el Anexo N°20-C, a través de un algoritmo de iteración, para su aplicación en la determinación de viscosidades de cortes acumulados.

Para el caso del Pour Point, las curvas de Rendimiento se han determinado a través de una ecuación aprobada por el American Petroleum Institute

<sup>4</sup> Wuithier, (Ref.51-Pág.108)

(API). Los Tesistas han considerado mantener la forma de la ecuación mas no las constantes de la misma. La razón es que experimentalmente se posee los valores del Pour Point para los 14 cortes y se puede por lo tanto, realizar una regresión multilínea de la que se obtenga constantes representativas de la naturaleza de dichos cortes. Teniendo la ecuación nuevas constantes se procedió a calcular el Pour Point de los cortes acumulados y graficar la curva Rendimiento correspondiente.

En casos en que las propiedades representan Porcentajes en peso, las curvas de Rendimiento permiten la resta ponderada en dos puntos para determinar el porcentaje en un rango intermedio:

$$\%_x = (V_{FINAL} \cdot \%_{FINAL} - V_{INICIAL} \cdot \%_{INICIAL}) / (V_{FINAL} - V_{INICIAL})$$

A continuación se efectuaron los procedimientos o de medición cálculo para el trazado de las curvas de propiedades instantáneas y de Propiedades-Rendimiento cuyo trazado se encuentran en los Anexos N°20-I y N° 20-J.

## **2. CARACTERÍSTICAS DE LOS CORTES. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **2.1. Viscosidad e Índice de Viscosidad (IV)**

El análisis se inicia con la propiedad más importante de todo lubricante, la **viscosidad**, específicamente viscosidad cinemática, y que representa la resistencia al flujo de las moléculas

entre sí dentro del aceite<sup>5</sup>. El **Índice de viscosidad (IV)** es un indicador de la variación de la viscosidad con la temperatura<sup>6</sup> y se calcula según los métodos computarizados de la norma ASTM D-2270<sup>7</sup>. El procedimiento de cálculo resumido se muestra en el Anexo N°20-D.

**CUADRO A**  
**DATOS DE LABORATORIO - VISCOSIDADES**  
**Cortes de Vacío - ASTM D1160 / Datos Instantáneos**

<b>%Volumen Destilado</b>	<b>visc<sub>40°C</sub> cSt</b>	<b>visc<sub>100°C</sub> cSt</b>	<b>I.V</b>	<b>I.V ajustado</b>
2,5	8,1	2,1	39,3	38,3
7,5	11,8	2,7	43,5	43,5
12,5	13,3	2,9	46,1	46,5
17,5	16,6	3,3	48,4	48,7
22,5	20,6	3,8	50,7	50,7
27,5	26,6	4,4	54,1	53,8
32,5	34,8	5,1	59,2	59,5
37,5	47,6	6,3	72,1	72,1
42,5	65,3	7,7	75,1	75,1
47,5	87,4	9,2	73,7	73,7
52,5	124,1	11,2	66,7	66,7
57,5	170,5	13,4	63,3	62,8
62,5	251,3	16,9	60,9	59,9
68,75	331,2	19,4	54,9	56,6

En el Cuadro A se muestran las viscosidades a 40°C y a 100°C obtenidas en el laboratorio, además del IV calculado con el procedimiento de calculo del Anexo N°20-D. Las viscosidades presentadas son resultado de datos experimentales promedio de 2 o más mediciones para verificar su fiabilidad. La última columna del cuadro presenta los IV ajustados gráficamente.

<sup>5</sup> Wynne, (Ref.52-Pág.47)

<sup>6</sup> Wynne, (Ref.52.-Pág.49)

<sup>7</sup> ASTM, (Ref.6-Págs.750-751)



La Figura A presenta tres curvas que son las dos viscosidades medidas a diferente temperatura y el IV vs. el porcentaje de volumen destilado.

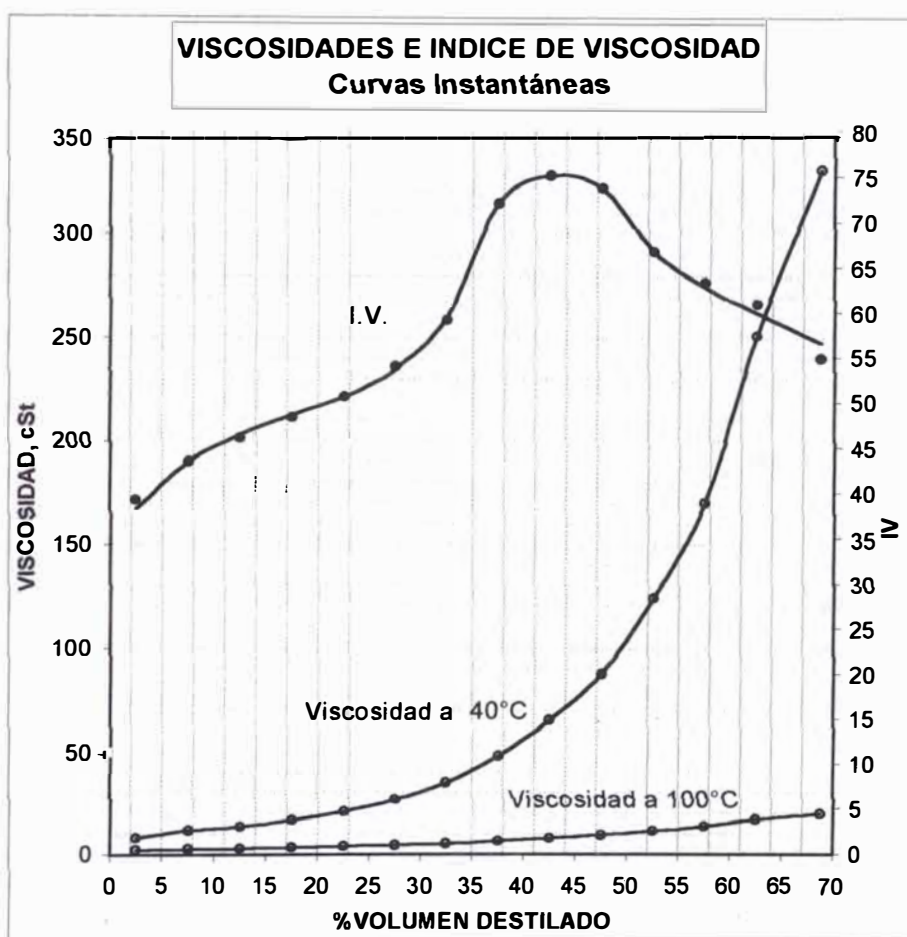


Figura A

Estas curvas provienen del Cuadro A. Las curvas de viscosidad, (junto con el %S) son las únicas que no presentan algún ajuste gráfico o numérico. Esto se debe a que la medición repetida (más de 2 veces) de la viscosidad en cada corte hace que gráficamente los puntos experimentales muestren una tendencia definida, fiables sin la necesidad de ajustes.

En todo el rango de análisis las dos curvas son crecientes. Esto obedece al hecho que conforme ocurre la destilación se va obteniendo componentes más

pesados (mayor PM y mayor gravedad específica), ver Figuras E y J. La curva de IV nos muestra una tendencia creciente hasta un punto (42.5% volumen destilado) con un valor máximo de 75.1, decreciendo luego sus valores.

Esta curva esta íntimamente ligada con la naturaleza química de los destilados. Se sabe que el carácter parafínico (%Carbonos parafínicos en la muestra) tiende a elevar el IV, en cambio el carácter aromático (%Carbonos aromáticos) tiende a disminuirlo, es por ello que esta curva debe ser analizada conjuntamente con la Figura M que expresa la distribución de carbonos en cada corte. En esta Figura se observa que la proporción de carbonos parafínicos va en aumento conforme avanza la destilación (%volumen destilado), lo que explica la forma creciente del IV hasta el 42.5%V (punto máximo) a partir del cual, como ya se mencionó, empieza a decrecer. La razón por la que se produce dicha disminución es principalmente el **Incremento de %Carbonos Aromáticos**. Los compuestos aromáticos poseen IV bajos. Si bien los componentes de carácter nafténico también posee IV bajos, su presencia en los cortes tiene una tendencia decreciente, mientras que la proporción aromática, (véase Figura M y Z), muestra una tendencia creciente sobretodo a partir del 42.5%V destilado, inclinando de esta forma el análisis del IV sólo hacia el efecto aromático.

Las altas viscosidades de los componentes de carácter aromático, en este caso, son debidas a compuestos resinosos y/o gomosos. Mikeska<sup>8</sup> realizó trabajos sobre el efecto del componente aromático en

---

<sup>8</sup> Mikeska, (Ref.31-Pág.972, 974, 983)

el IV (Figura B y C). Los resultados corroboran los datos obtenidos por los Tesistas. La adición de un anillo aromático provoca un incremento en la viscosidad y una disminución en el IV.

Se podría atribuir como otro factor de la disminución del IV, aunque no relevante, la **presencia de i-parafinas con muchas cadenas**<sup>9</sup>. Éstos son compuestos de muy alto peso molecular, alta viscosidad y de consistencia distinta al del seno del aceite. La presencia estas sustancias puede disminuir el IV promedio del corte puesto que poseen IV medianos.

En el Cuadro B se presentan viscosidades y el IV acumulado conforme avanza la destilación hasta un 72.5 % en volumen aproximadamente. El cálculo de viscosidad acumulada y de IV se realizó con el programa listado en el Anexo N°20-D. El valor de las viscosidades de todo el destilado acumulado es 42.4 cSt para 40°C y 5.9 cSt para 100°C. El máximo IV fue 70.6 y representó el valor del destilado acumulado total.

La Figura D muestra la tendencia de estas tres propiedades vs. Porcentaje de volumen acumulado. La curva de IV inicialmente tiene una pendiente de crecimiento moderada, pero a partir de un **32%** en volumen destilado acumulado la pendiente de crecimiento de la curva aumenta rápidamente hasta lograr un valor máximo aproximadamente en el 57% de volumen destilado. Puede decirse que en este rango mencionado de 25% (32-57%V) la naturaleza parafínica aún tiene un efecto positivo en el IV dentro del corte acumulado total.

<sup>9</sup> Véase Cuadro N°57 en el Capítulo IV.

**EFFECTO DEL INCREMENTO DEL CARÁCTER AROMÁTICO EN EL IV**





FÓRMULA ESTRUCTURAL	Fórmula Empírica	Viscosidad a 100°F, cSt	IV	PM
<b>Caso: Incremento aromático con cadenas parafinas lineales</b>				
1)  $C_{18}H_{37}$	$C_{24}H_{42}$	12,56	196	330
 $C_{18}H_{37}$	$C_{28}H_{44}$	24,57	140	380
<b>VARIACIONES (%)</b>		95,6	-28,6	15,2
2)  $C_{22}H_{45}$	$C_{28}H_{50}$	16,35	164	386
 $C_{22}H_{45}$	$C_{32}H_{52}$	36,37	144	436
<b>VARIACIONES (%)</b>		122,4	-12,2	13,0

Figura B



<b>Caso: Incremento aromático con cadenas parafinas ramificadas</b>				
3)  $CH - C_{21}H_{43}$ $C_4H_9$	$C_{32}H_{58}$	25,22	152	442
 $CH - C_{21}H_{43}$ $C_4H_9$	$C_{36}H_{60}$	41,78	131	492
<b>VARIACIONES (%)</b>		65,7	-13,8	11,3
Fuente: L.A. Mikeska, <i>Chemical Structure of Lubricating Oils</i> . <i>Ind.Eng.Chem.</i> Vol.28, No.8., Agosto 1936. Págs. 972, 974				

Figura C

**CUADRO B:**  
**DATOS DE LABORATORIO - VISCOSIDADES - IV**  
 Cortes de Vacío - ASTM D-1160 / Datos Acumulados

%Volumen Destilado	visc <sub>40°C</sub> cSt	visc <sub>100°C</sub> cSt	I.V	I.V ajustado
5	8,1	2,1	39,3	38,3
10	9,8	2,4	37,5	38,5
15	10,8	2,5	39,2	39,0
20	12,0	2,7	40,0	39,6
25	13,3	2,9	40,8	40,4
30	14,8	3,1	41,8	41,3
35	16,6	3,3	41,0	42,4
40	18,7	3,6	43,8	43,8
45	21,2	3,9	46,4	46,4
50	24,1	4,2	51,3	51,3
55	27,5	4,5	58,1	58,1
60	31,3	4,9	65,2	65,2
65	36,0	5,3	69,5	69,5
72,5	42,4	5,9	70,6	70,7

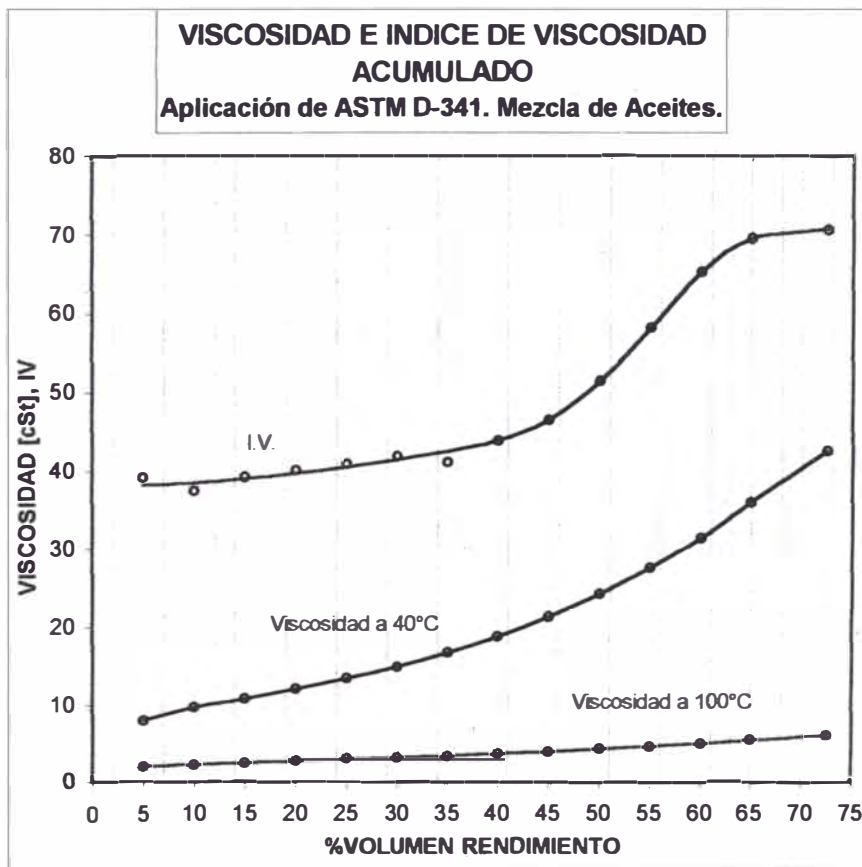


Figura D

Analizando conjuntamente la Figura D y la Figura Ñ se observa que inicialmente el volumen acumulado posee un porcentaje de carbonos de carácter aromático-nafténico mayor o cercano al 50% lo que explica los bajos IV iniciales. Luego, el porcentaje de carbonos parafínicos supera el 50% (a partir de 32% vol. acumulado) y el IV aumenta hasta el valor tope de ,70.7.

## 2.2. Propiedades importantes en la determinación de la naturaleza química de los Cortes de Vacío

Estas propiedades fueron medidas en el laboratorio o calculadas con el fin de conocer la naturaleza química de los cortes destilados o acumulados mediante el análisis n.d.M. El estudio de la tendencia de sus curvas ofrece conclusiones interesantes acerca de la constitución de los cortes lubricantes que se van ha producir.

### 2.2.1. Peso Molecular (PM)

El Peso Molecular fue calculado utilizando una ecuación<sup>10</sup> que involucra viscosidad cinemática a 100 y 210°F además de la gravedad específica a 60°F:

$$PM = 223.56 \frac{(1.1228 \cdot S - 1.2435) \cdot \mu_{100}}{\mu_{210}^{(3.4758 - 3.038 \cdot S)}} \cdot S^{-0.6665}$$

Donde:  $PM$  = Peso Molecular (g/mol). Viscosidad  
 $\mu_{100}$  = a 100°F(37.8°C) (cSt)  
 $\mu_{210}$  = viscosidad a 210°F(98.9°C) (cSt)  
 $S$  = Gravedad Específica a 60°F (15.6°C)

<sup>10</sup> Wauquier, (Ref.50-Pág.99)

El error de cálculo al aplicar esta relación es de alrededor de 10%.

**CUADRO C:**  
**DATOS CALCULADOS - PESO MOLECULAR**  
 Cortes de Vacío ASTM D1160 / Datos Instantáneos

% Volumen Destilado	visc <sub>40°C</sub> cSt	visc <sub>100°C</sub> cSt	Sp.Gr 60°/60°F	Peso Molecular	Peso Molecular Ajustado
2,5	8,6	2,1	0,8756	249	257
7,5	12,5	2,7	0,8811	274	267
12,5	14,1	2,9	0,8833	282	279
17,5	17,6	3,3	0,8869	297	294
22,5	21,8	3,8	0,8899	311	311
27,5	28,2	4,4	0,8933	327	330
32,5	36,8	5,1	0,8967	342	351
37,5	50,4	6,3	0,8990	371	373
42,5	69,2	7,7	0,9013	397	397
47,5	92,6	9,2	0,9065	419	422
52,5	131,5	11,2	0,9106	442	447
57,5	180,7	13,4	0,9123	468	473
62,5	266,3	16,9	0,9166	500	499
68,75	351,0	19,4	0,9212	514	533

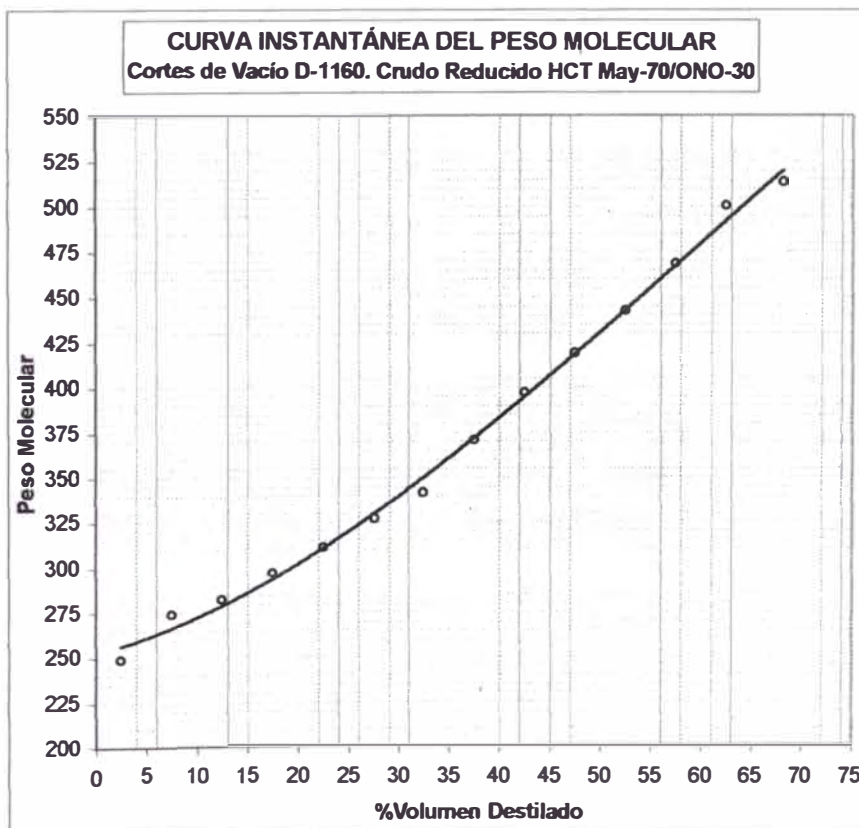


Figura E

El Cuadro C y la Figura E muestran los valores de Peso Molecular calculado y ajustado mediante una curva. Representan el incremento instantáneo del PM con el volumen destilado. El rango de variación es entre 249 y 514 g/mol.

Los datos de PM acumulado (Rendimiento) fueron calculados también para realizar el análisis de n.d.M., los resultados se encuentran en el Cuadro D y la Figura F.

**CUADRO D:  
DATOS CALCULADOS - PESO MOLECULAR  
Cortes de Vacio ASTM D1160 / Datos Acumulados**

<b>%Volumen Destilado</b>	<b>visc<sub>40°C</sub> cSt</b>	<b>visc<sub>100°C</sub> cSt</b>	<b>Sp.Gr 60°/60°F</b>	<b>Peso Molecular</b>	<b>Peso Molecular Ajustado</b>
5	8,6	2,1	0,8756	249	255
10	10,3	2,4	0,8811	260	262
15	11,4	2,5	0,8833	267	269
20	12,7	2,7	0,8869	273	277
25	14,1	2,9	0,8899	280	284
30	15,7	3,1	0,8933	287	291
35	17,5	3,3	0,8967	293	298
40	19,8	3,6	0,8990	301	305
45	22,5	3,9	0,9013	309	313
50	25,5	4,2	0,9065	317	321
55	29,1	4,5	0,9106	325	329
60	33,2	4,9	0,9123	334	337
65	38,1	5,3	0,9166	342	346
72,5	45,0	5,9	0,9212	351	361



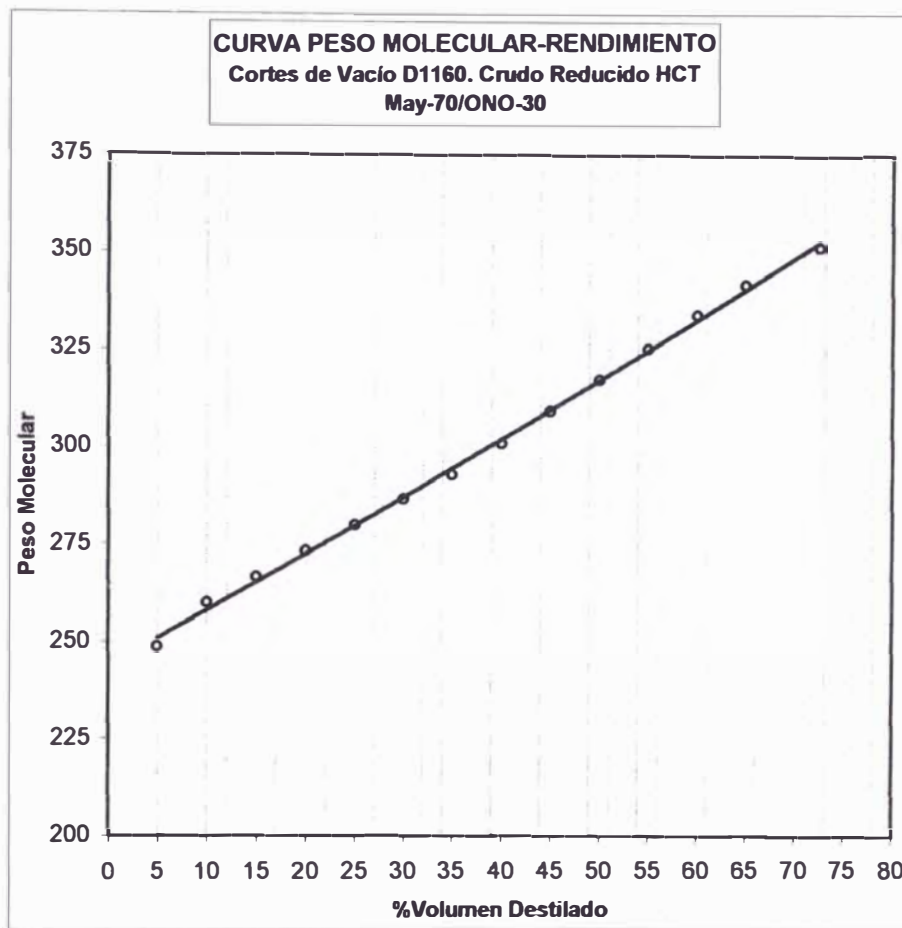


Figura F

### 2.2.2. Porcentaje en Peso de Azufre (%S)

En el Cuadro E se presenta los datos de laboratorio de los porcentajes en peso de azufre instantáneo en los cortes destilados. Se sabe que el azufre tiende a formar compuestos estables con cadenas de alto peso molecular<sup>11</sup> lo que explica la tendencia creciente con respecto al porcentaje en volumen destilado. En la Figura G se grafica la curva instantánea del porcentaje en peso de azufre. Los datos tienen una tendencia muy bien definida y no fue necesario realizar ajustes gráficos.

<sup>11</sup> Wauquier, (Ref.50-Pág.333)

**CUADRO E:**  
**DATOS DE LABORATORIO - % S**  
**Cortes de Vacío ASTM D1160 / Datos Instantáneos**

<b>%Volumen Destilado</b>	<b>%S</b>
2,5	0,228
7,5	0,233
12,5	0,238
17,5	0,244
22,5	0,250
27,5	0,256
32,5	0,262
37,5	0,271
42,5	0,277
47,5	0,289
52,5	0,305
57,5	0,326
62,5	0,357
68,75	0,399

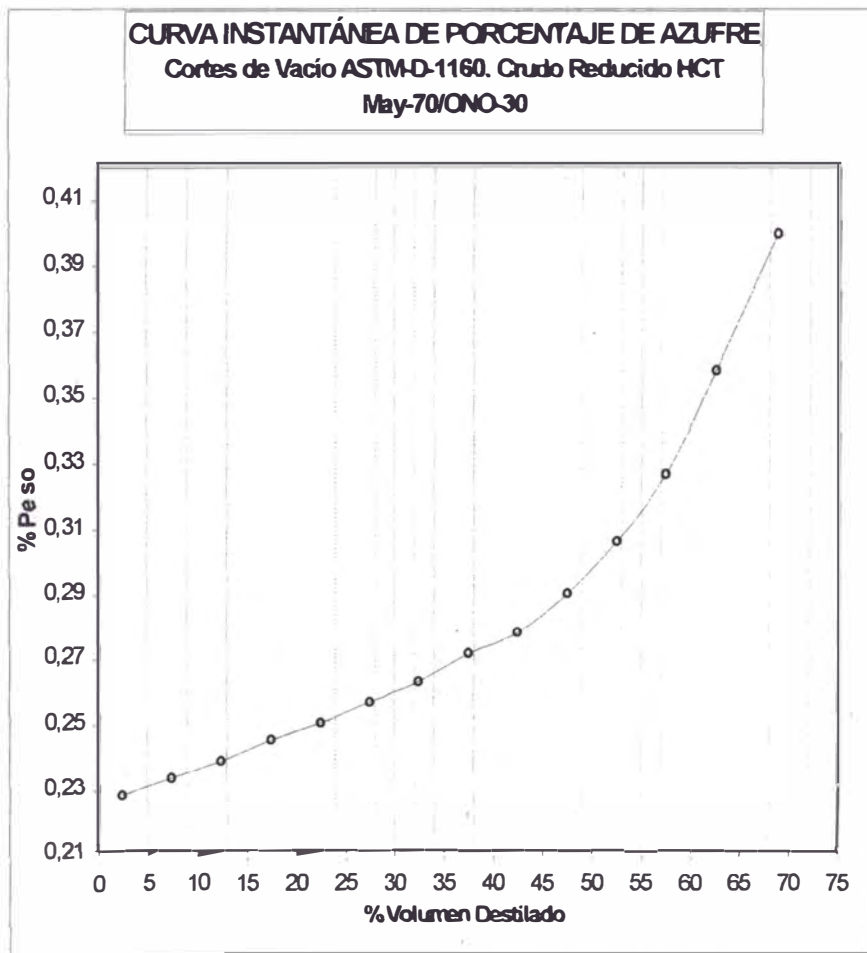


Figura G

Para calcular los porcentajes en peso de azufre acumulados se aprovechó la aditividad de la propiedad. Se hizo un promedio simple de los cortes para obtener el dato acumulado. Los resultados son utilizados en el cálculo de la naturaleza química de los cortes acumulados. El contenido de Azufre en todo el corte destilado es de 0.285%. Los datos se encuentran en el Anexo N°20-E.

### 2.2.3. Índice de Refracción (IR a 70°C)

El índice de refracción (a 70°C) de cada corte ha sido medido para determinar la naturaleza química de los mismos (ver Cuadro F y Figura H).

**CUADRO F:  
DATOS DE LABORATORIO - INDICE DE REFRACCIÓN  
Cortes de Vacío ASTM D1160 / Datos Instantáneos**

<b>%Volumen Destilado</b>	<b><math>\eta_D(70^\circ C)</math></b>	<b><math>\eta_D(70^\circ C)</math> ajustado</b>
2,5	1,4606	1,4612
7,5	1,4645	1,4638
12,5	1,4664	1,4661
17,5	1,4684	1,4684
22,5	1,4706	1,4706
27,5	1,4724	1,4727
32,5	1,4746	1,4749
37,5	1,4769	1,4770
42,5	1,4793	1,4793
47,5	1,4819	1,4817
52,5	1,4844	1,4843
57,5	1,4870	1,4871
62,5	1,4905	1,4901
68,75	1,4940	1,4943

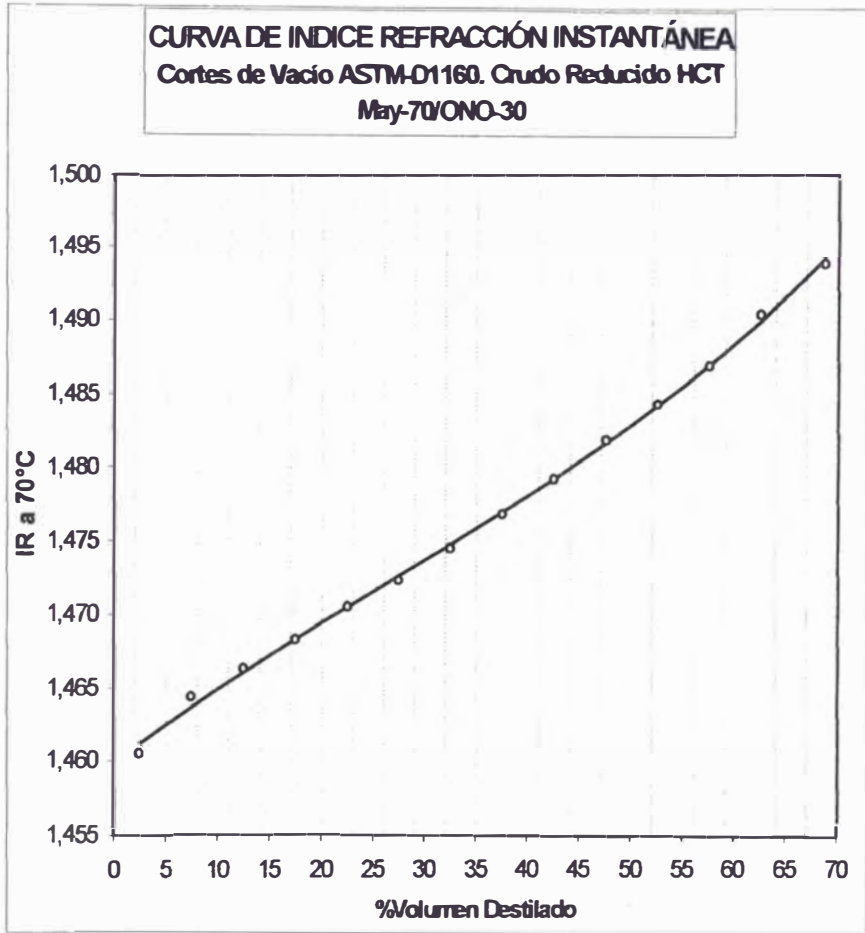


Figura H

Los datos para graficar la curva Índice de Refracción (a 70°C)-Rendimiento se muestran en el Cuadro G y la Figura I y fueron de utilidad para la determinación de la naturaleza química de los cortes acumulados. El índice de refracción IR (a 70°C) ajustado, en este caso, es el correspondiente a la columna '**Promedio Acumulado**' del Cuadro G, resultado de ponderar el IR ajustado que aparece en el Cuadro F. Como se puede observar en la Figura I se produce un buen ajuste, y por lo tanto, para el caso del rango de destilación en que se trabaja, se puede considerar al IR como una propiedad aditiva.

**CUADRO G:**  
**DATOS INDICE DE REFRACCIÓN RENDIMIENTO**  
**Cortes de Vacío ASTM D1160 / Datos Acumulados**

%Vol. Destilado	$\eta_D(70^\circ\text{C})$ exp.	$\eta_D(70^\circ\text{C})$ Promedio Acumulado
5	1,4606	1,4612
10	1,4629	1,4625
15	1,4637	1,4637
20	1,4651	1,4649
25	1,4661	1,4660
30	1,4672	1,4671
35	1,4684	1,4682
40	1,4712	1,4693
45	1,4701	1,4704
50	1,4713	1,4716
55	1,4730	1,4727
60	1,4742	1,4739
65	1,4747	1,4752
72,5	1,4762	1,4771

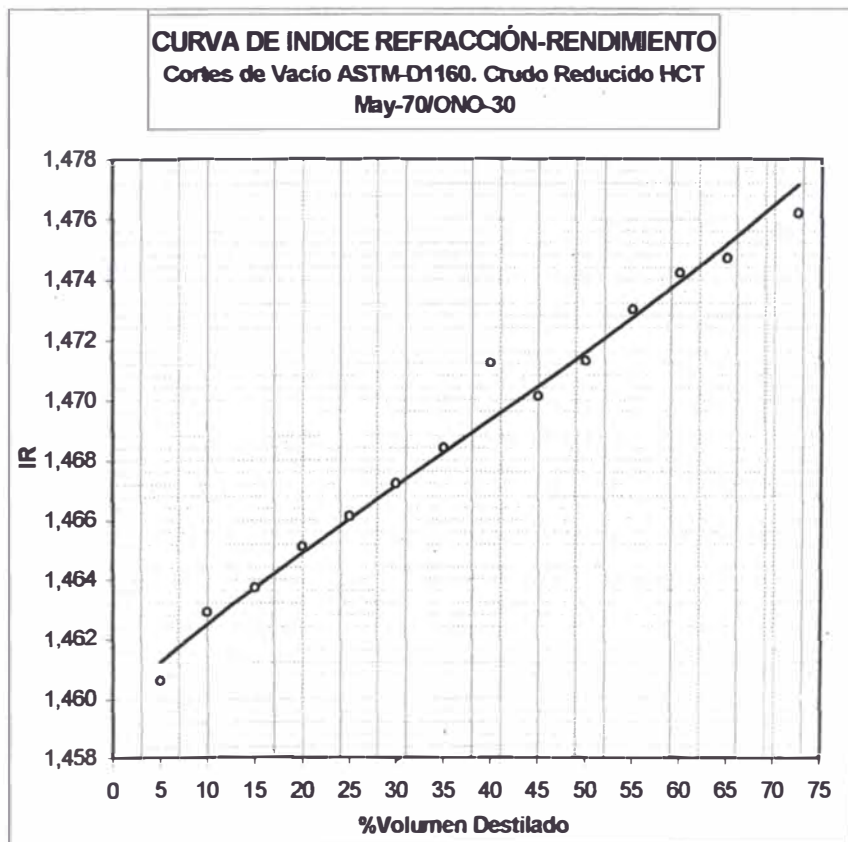


Figura I

**III.2.2.2.4. Gravedad Específica y API**

La gravedad específica y el API son propiedades importantes, tanto en la determinación de la naturaleza química de los cortes, como en el control de la operación en planta. Permiten realizar el balance de materia y el cálculo de rendimientos de la destilación.

**CUADRO H:  
DATOS DE LABORATORIO - GRAVEDAD ESPECÍFICA Y API  
Cortes de Vacío ASTM D1160**

<b>%Vol. Destilado</b>	<b>API<sub>60°/60°F</sub> Instantáneos</b>	<b>Sp.Gr<sub>60°/60°F</sub> Instantáneos</b>	<b>Sp.Gr<sub>60°/60°F</sub> ajustados</b>
2,5	30,1	0,8756	0,8768
7,5	29,1	0,8811	0,8800
12,5	28,7	0,8833	0,8832
17,5	28,1	0,8869	0,8864
22,5	27,5	0,8899	0,8897
27,5	26,9	0,8933	0,8929
32,5	26,3	0,8967	0,8962
37,5	25,9	0,8990	0,8995
42,5	25,5	0,9013	0,9029
47,5	24,6	0,9065	0,9062
52,5	23,9	0,9106	0,9096
57,5	23,6	0,9123	0,9130
62,5	22,9	0,9166	0,9165
68,75	22,1	0,9212	0,9208

<b>%Vol. Destilado Acumulado</b>	<b>Sp.Gr<sub>60°/60°F</sub> Acumulada</b>	<b>Sp.Gr<sub>60°/60°F</sub> Acumulada - Ajustada</b>
5	0,8756	0,8768
10	0,8783	0,8784
15	0,8800	0,8800
20	0,8817	0,8816
25	0,8834	0,8832
30	0,8850	0,8848
35	0,8867	0,8865
40	0,8882	0,8881
45	0,8897	0,8897
50	0,8914	0,8914
55	0,8931	0,8930
60	0,8947	0,8947
65	0,8964	0,8964
72,5	0,8982	0,8989

El Cuadro H muestra los datos de laboratorio de API y gravedad específica (15.6°C) para los cortes por separado y acumulados. Con los datos de dicho cuadro se grafica la curva de gravedad específica instantánea en la Figura J; y la curva de gravedad específica-Rendimiento en la Figura K.

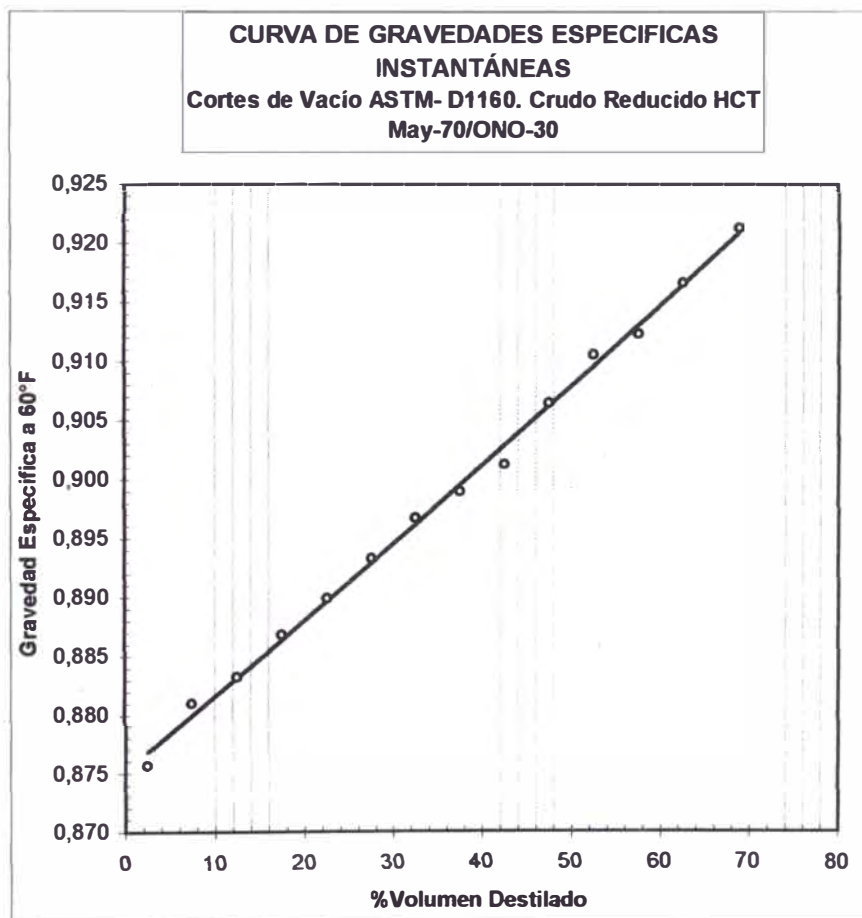


Figura J

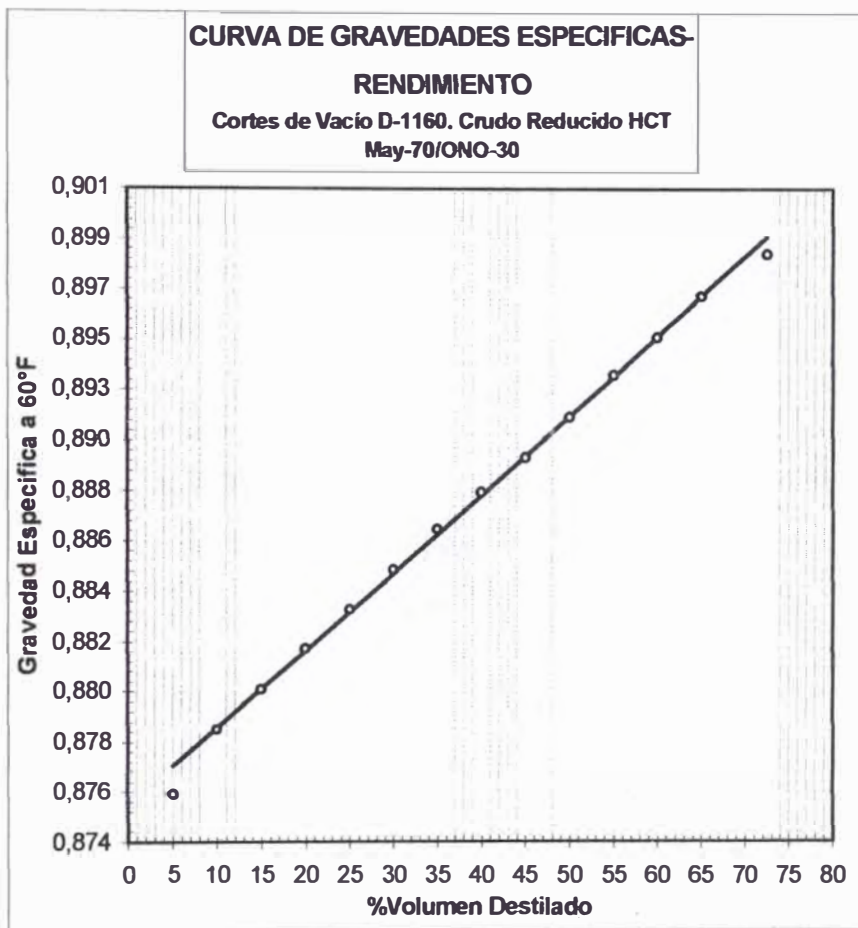


Figura K

### III.2.2.3. Análisis n.d.M

El procedimiento de cálculo sigue la misma secuencia descrita en la Sección II.1.3.3.2. Sin embargo, las variables de entrada: índice de refracción y densidad son medidas a 70°C y no a 20°C. Por tratarse de fracciones muy viscosas y pesadas la medición del índice de refracción a 20°C no es posible.



El cálculo de la densidad a 70°C se hizo a partir de la densidad a 15.6°C (Gravedad específica) mediante la ecuación siguiente<sup>12</sup>:

$$d_{T^{\circ}\text{C}} = d_{15.6^{\circ}\text{C}} - 0.00604416 - 0.00064 \cdot (T - 25)$$

donde:  $T = 70^{\circ}\text{C}$

Esta variación en el tipo de variables de entrada implica un cambio en las ecuaciones conocidas. A continuación la rutina utilizada para la determinación de la naturaleza química de los cortes:

1. Variables de entrada:

$n$  : índice de refracción, medido a 70°C

$d$  : densidad a 70°C

$M$  : Peso Molecular

2. Cálculo de factores V y W:

$$V = 2.42 \cdot (n - 1.4600) - (d - 0.8280)$$

$$W = (d - 0.8280) - 1.11 \cdot (n - 1.4600)$$

3. Cálculo del %C<sub>A</sub>:

$$\text{Si } V > 0: \quad \%C_A = 410 \cdot V + 3660/M$$

$$\text{Si } V < 0: \quad \%C_A = 720 \cdot V + 3660/M$$

<sup>12</sup> Glasstone, (Ref.23-Pág.520)

4. Cálculo del %C<sub>R</sub> (incluye el %C en total en los anillos tanto nafténicos como aromáticos):

$$\text{Si } W > 0: \quad \%C_R = 775 \cdot W - 3 \cdot S + 11500/M$$

$$\text{Si } W < 0: \quad \%C_R = 1440 \cdot W - 3 \cdot S + 12100/M$$

Donde: S = porcentaje en peso de Azufre

5. Cálculo de %C<sub>N</sub> y %C<sub>P</sub>:

$$\%C_N = \%C_R - \%C_A$$

$$\%C_P = 100 - \%C_N$$

6. Cálculo de R<sub>A</sub>:

$$\text{Si } V > 0: \quad R_A = 0.41 + 0.055 \cdot M \cdot V$$

$$\text{Si } V < 0: \quad R_A = 0.41 + 0.080 \cdot M \cdot V$$

7. Cálculo de R<sub>T</sub> (Número total de anillos por molécula):

$$\text{Si } W > 0: \quad R_T = 1.55 + 0.146 \cdot M \cdot (W - 0.005 \cdot S)$$

$$\text{Si } W < 0: \quad R_T = 1.55 + 0.180 \cdot M \cdot (W - 0.005 \cdot S)$$

8. Cálculo de R<sub>N</sub>:

$$R_N = R_T - R_A$$

El Cuadro I muestra los resultados de análisis n.d.M. o la naturaleza química instantánea del destilado. Las Figuras L y M muestran en forma esquematizada estos resultados.

La Figura L muestra la **tendencia** creciente de la naturaleza parafínica y decreciente en la naturaleza nafténica al avanzar la destilación. La Figura M muestra el **perfil de composición** de los cortes, instantáneamente en la destilación. Este tipo de representación permite realizar comparaciones entre proporciones de tipos de carbono existentes en los cortes y establecer relaciones con algunas propiedades, como la expuesta en el análisis del IV.

**CUADRO I**  
**RESULTADOS ANÁLISIS n.d.M – NATURALEZA QUÍMICA**  
**Cortes de Vacío – Datos Instantáneos**

<b>% Vol. Destilado</b>	<b>%C<sub>PARAF</sub></b>	<b>%C<sub>NAFT</sub></b>	<b>%C<sub>AROM</sub></b>
2.5	44.7	48.5	6.8
7.5	48.7	43.7	7.6
12.5	49.5	41.5	9.0
17.5	51.0	39.0	10.0
22.5	52.1	37.0	10.9
27.5	53.3	35.3	11.5
32.5	54.1	34.2	11.8
37.5	56.0	32.2	11.7
42.5	57.5	30.5	12.0
47.5	58.5	29.0	12.5
52.5	59.6	27.2	13.2
57.5	60.8	25.1	14.1
62.5	62.4	22.4	15.2
68.75	63.4	19.2	17.4

Nota: Los porcentajes son valores redondeados.

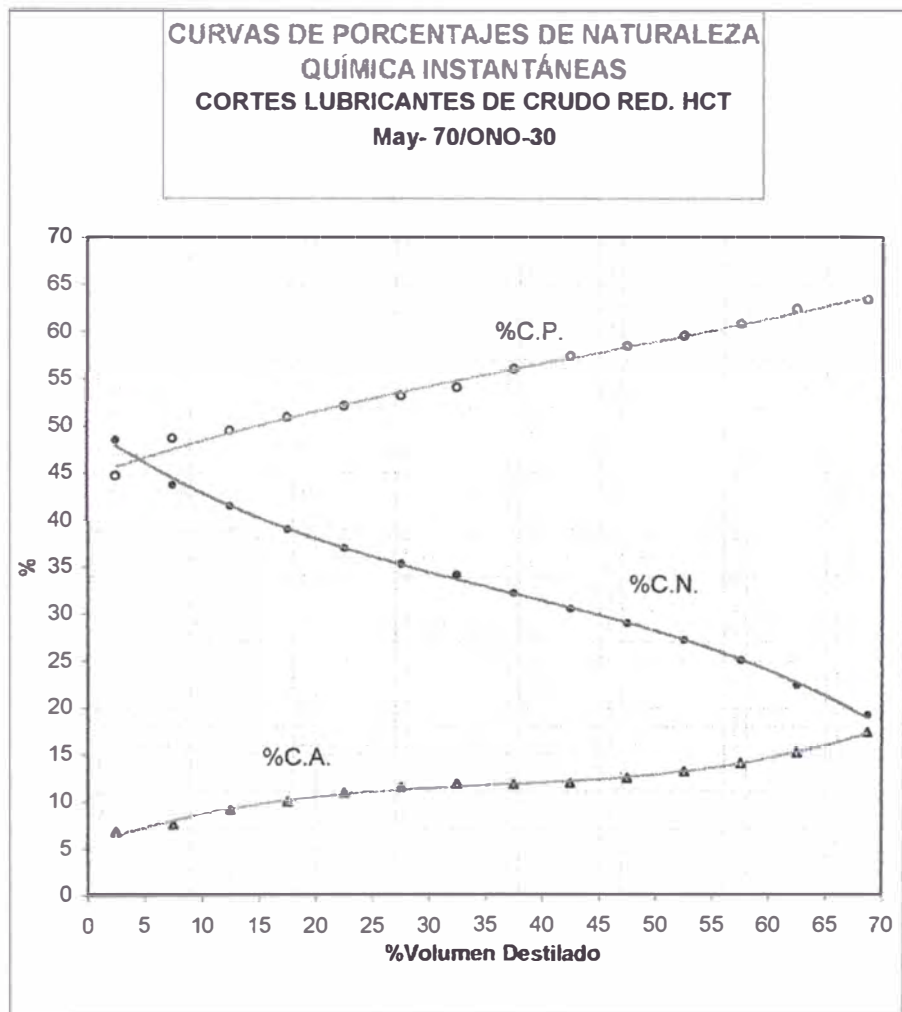


Figura L

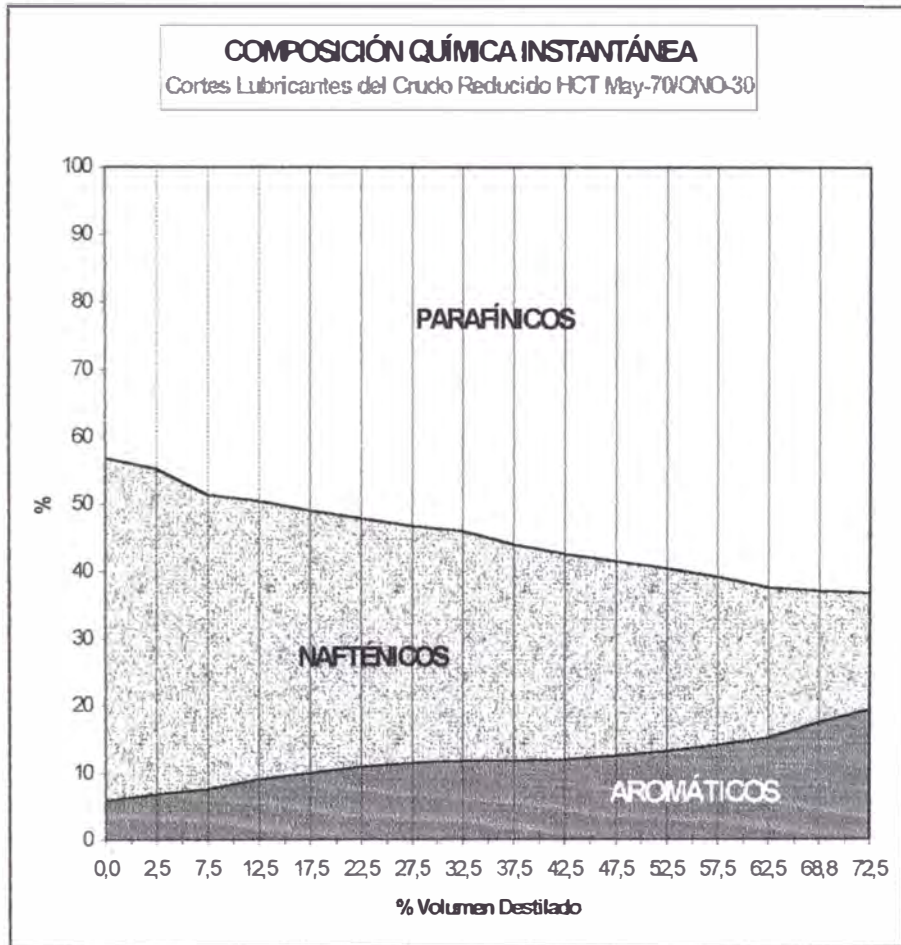


Figura M

El Cuadro J muestra la distribución del tipo de carbonos o naturaleza química de los cortes destilados acumulados. Se utilizaron los datos de propiedades acumuladas (propiedades-rendimiento) de los cortes para realizar los cálculos respectivos.

**CUADRO J:**  
**RESULTADOS ANÁLISIS n.d.M – NATURALEZA QUÍMICA**  
**Cortes de Vacío – Datos Acumulados**

<b>% Vol. Destilado</b>	<b>%C<sub>PARAF</sub></b>	<b>%C<sub>NAFT</sub></b>	<b>%C<sub>AROM</sub></b>
5	44.7	48.5	6.8
10	46.6	46.2	7.2
15	47.5	44.7	7.8
20	48.3	43.3	8.4
25	49.1	42.1	8.9
30	49.7	40.9	9.4
35	50.3	39.9	9.8
40	51.0	38.7	10.2
45	51.7	37.6	10.7
50	52.4	36.5	11.2
55	53.0	35.5	11.5
60	53.7	34.6	11.7
65	54.2	33.8	12.0
72.5	55.5	31.6	12.9

Nota: Los porcentajes son valores redondeados

La tendencia de la curva rendimiento de la **Figura N** es la misma que la correspondiente curva instantánea de la Figura L. La **Figura Ñ** tiene la misma finalidad que la Figura M, con la diferencia que presenta el perfil de composición del destilado conforme se produce la acumulación. Al final de la misma el destilado completo tiene la siguiente distribución de carbonos: **%CP=55.5; %CN=31.6; %CA=12.9**, resultados que confirman el carácter parafínico de nuestra materia prima.

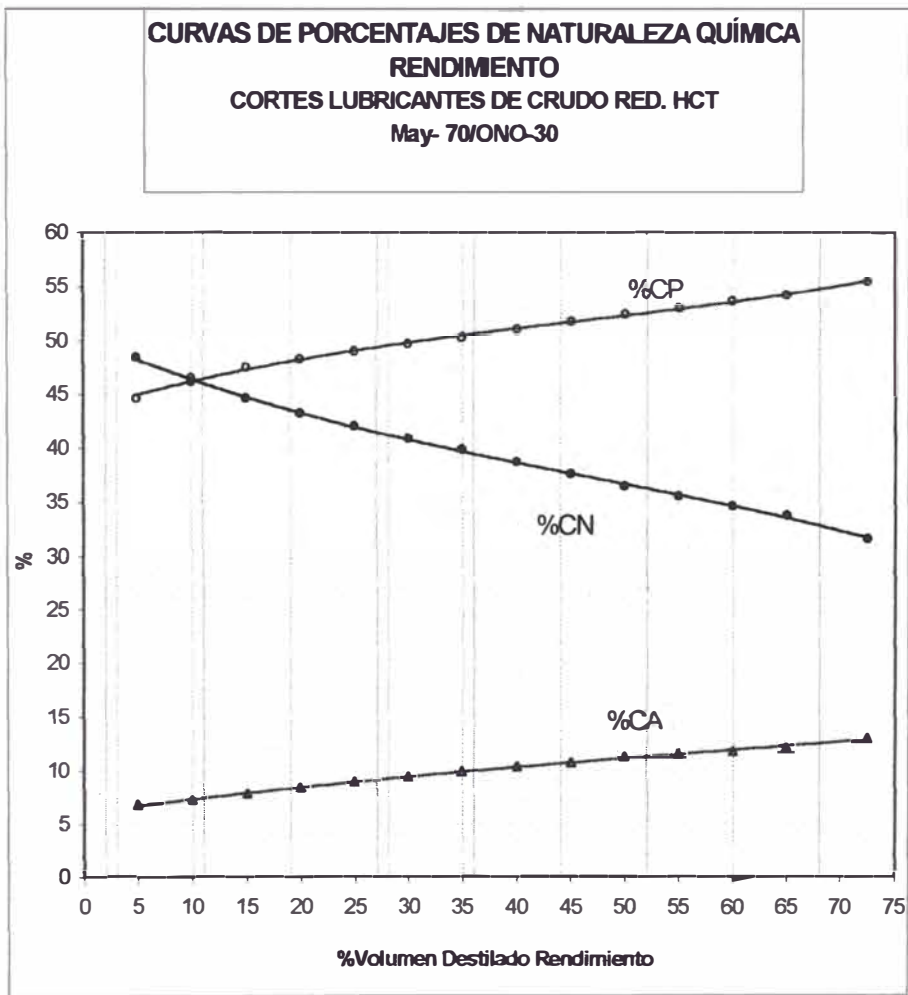


Figura N

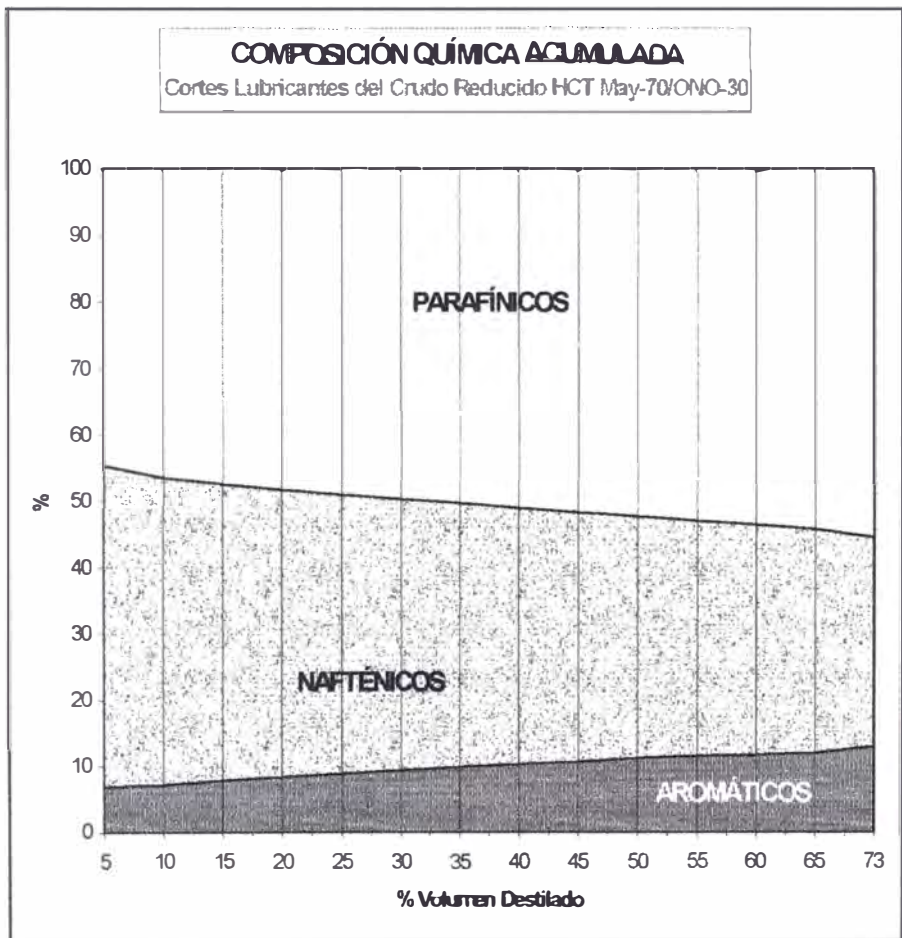


Figura N°



En el Anexo 20-F se muestran los resultados en detalle del análisis n.d.M. que se utilizaron para graficar las curvas instantáneas y de Rendimiento.

Finalmente, de estos gráficos se concluye que existe un **incremento en la naturaleza parafínica y aromática a la vez que un decremento en la naturaleza nafténica** conforme los cortes se van haciendo más pesados. El dato inicial y final del Cuadro J adelanta el rango aproximado en el que estará el contenido aromático a eliminar (objetivo) en la etapa de tratamiento con solvente, aproximadamente entre 7 y 13%.

#### **2.2.4. Pour Point**

El Pour Point es una propiedad que indica a qué temperatura el aceite deja de fluir, y está íntimamente relacionada con el porcentaje de ceras ó parafinas. La cera forma una malla cristalina donde queda retenido el aceite de la misma forma en que el agua es retenida por una esponja<sup>13</sup>. En el Cuadro K y la Figura O se muestran los datos experimentales y ajustados del Pour Point de los cortes destilados (datos instantáneos). A partir del corte 7° (30-35% volumen destilado) en adelante, la temperatura ambiente es suficiente para que la presencia de ceras parafínicas sea evidente (consistencia de los cortes). La curva además muestra una tendencia creciente por el aumento de compuestos con alto punto de fusión como las ceras parafínicas u otros sólidos disueltos. La comprobación se muestra claramente en las curvas

<sup>13</sup> Dunstan, et.al. (ed.) (Ref.16-Pág.1759)

instantáneas de porcentajes de sólidos disueltos a 70°C (Cuadro L y Figura P) y de contenido de ceras parafínicas (Cuadro M y Figura Q) que presentan tendencias también crecientes.

**CUADRO K:**  
**DATOS DE LABORATORIO - POUR POINT**  
 Cortes de Vacío ASTM D1160 / Datos Instantáneos

%Volumen Destilado	POUR POINT, °C exper.	POUR POINT, °C ajustado
2,5	0,8	1,1
7,5	4,4	3,9
12,5	7,2	7,1
17,5	10,6	10,7
22,5	13,3	14,4
27,5	19,4	18,3
32,5	22,8	22,3
37,5	25,5	26,2
42,5	29,4	30,0
47,5	33,9	33,6
52,5	37,8	36,8
57,5	38,9	39,7
62,5	42,2	42,1
68,75	44,4	44,3

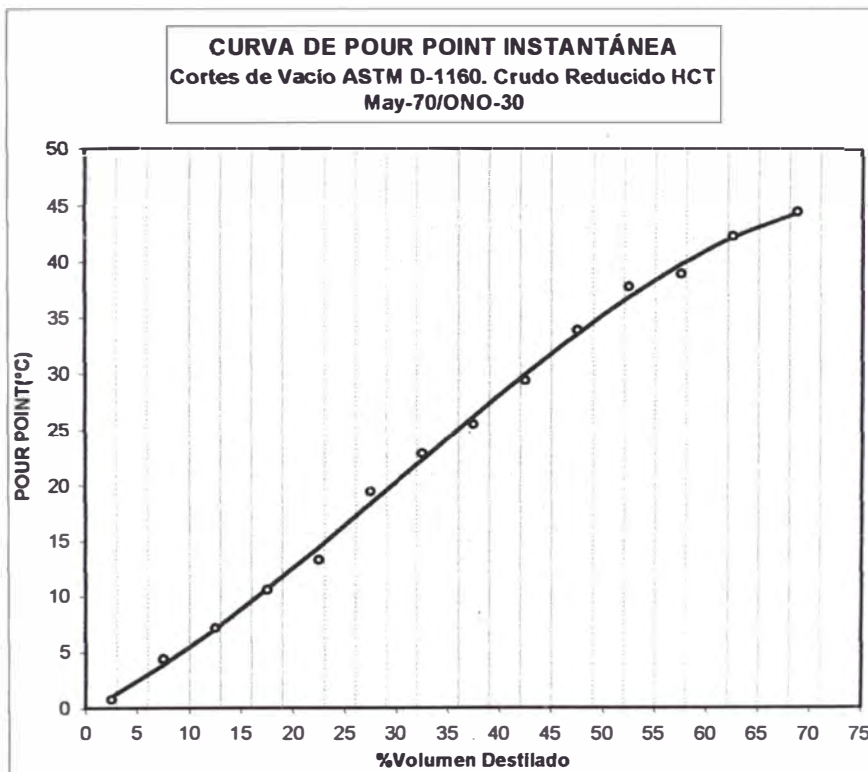


Figura O

Nota 1.- El Pour Point que se ha medido no es el establecido por la norma ASTM D97, en cuanto a la forma de reportarlo. La norma indica que el Pour Point debe reportarse como un múltiplo de 3. Esto hace que se pueda reportar Pour Point iguales para cortes diferentes a causa de su cercanía. Los datos presentados **no se han redondeado a su múltiplo de 3 inmediato inferior** para observar las diferencias entre cortes.

**CUADRO L:**  
**DATOS DE LABORATORIO - % SÓLIDOS DISUELTOS**  
**Cortes de Vacío ASTM D1160 / Datos Instantáneos**

<b>%Volumen Destilado</b>	<b>% Sólidos exp.</b>	<b>% Sólidos ajustados</b>
2,5	68,0	68,3
7,5	69,6	69,3
12,5	70,3	70,3
17,5	71,2	71,2
22,5	72,1	72,1
27,5	72,8	72,9
32,5	73,6	73,8
37,5	74,6	74,6
42,5	75,6	75,5
47,5	76,5	76,5
52,5	77,5	77,5
57,5	78,6	78,6
62,5	79,9	79,7
68,75	81,2	81,3

Nota 2.- El Porcentaje de sólidos disueltos fue medido con un Refractómetro ABBE y tiene una relación lineal con el índice de refracción medido también a 70°C. Es un parámetro referencial puesto que considera como sólidos disueltos a las moléculas de sacarosa. Para la presente Tesis, este porcentaje es de utilidad en cuanto ofrece solamente una tendencia del incremento de material de alto peso molecular como lo son las ceras, material asfáltico, resinas, gomas, etc. Luego, los porcentajes no son cuantitativamente representativos.

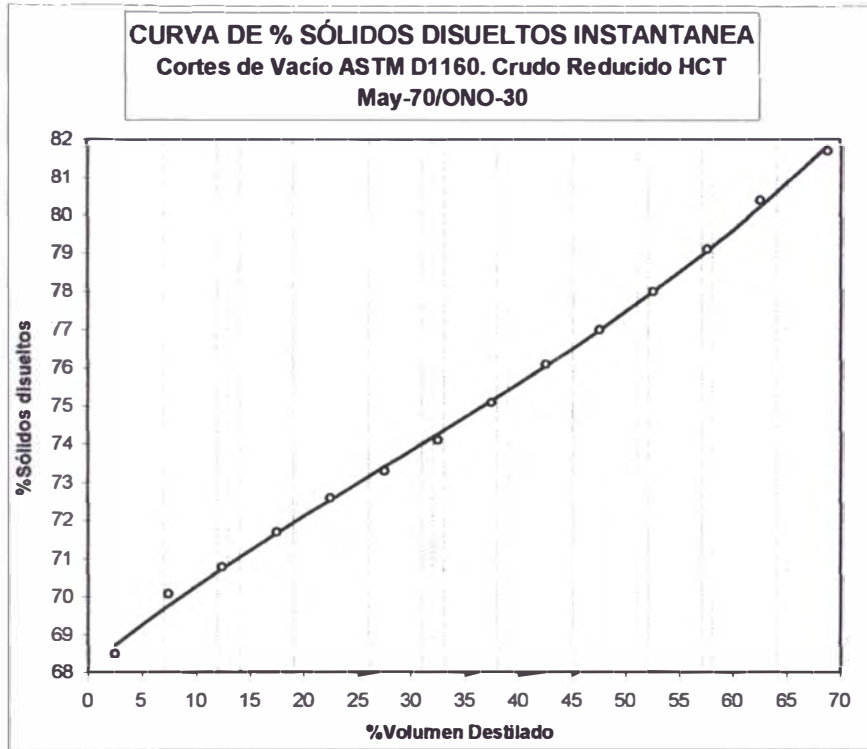


Figura P

**CUADRO M:**  
**CONTENIDO DE PARAFINAS**  
**Cortes de Vacío ASTM D1160 / Datos Instantáneos**

%Volumen Destilado	% Parafinas	% Parafinas ajustadas
2,5	0,25	0,22
7,5	0,51	0,50
12,5	0,98	0,95
17,5	1,35	1,57
22,5	2,36	2,34
27,5	3,24	3,24
32,5	4,55	4,26
37,5	5,35	5,39
42,5	6,56	6,60
47,5	7,86	7,90
52,5	9,03	9,25
57,5	10,72	10,65
62,5	12,25	12,08
68,75	13,83	13,90

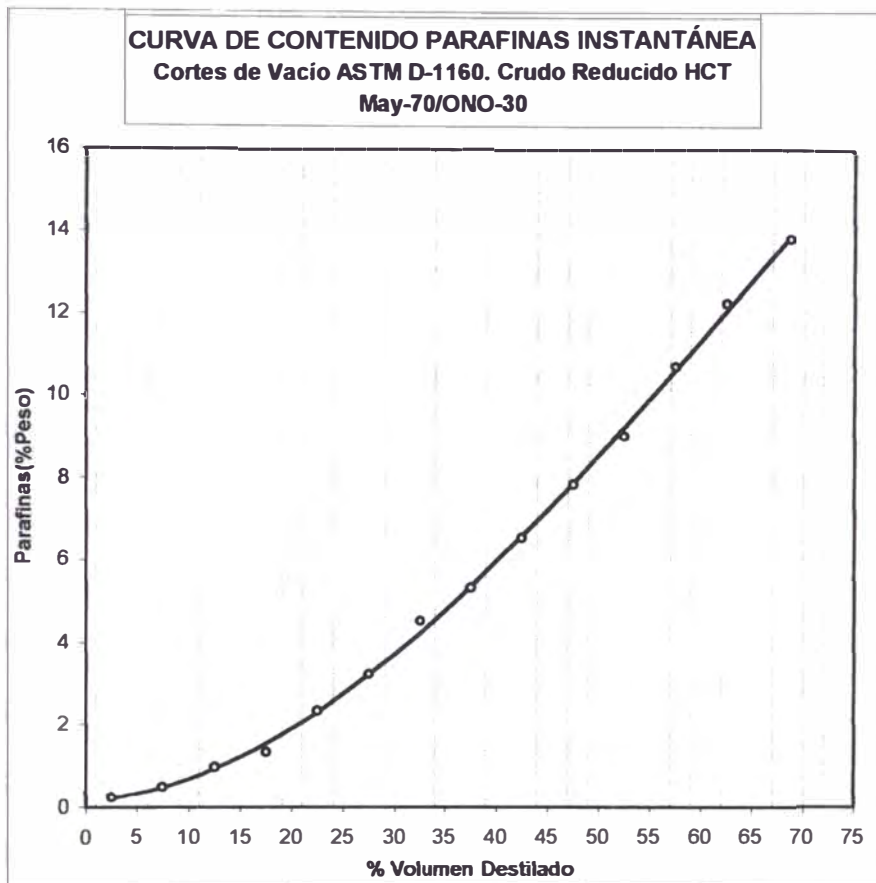


Figura Q

A título ilustrativo se han extraído algunos datos puntuales de las curvas anteriormente presentadas:

- El Pour Point de los cortes varía aproximadamente entre 0°C y 45°C.
- El índice de refracción de los cortes varía entre 1.46 y 1.495. Siendo el índice de refracción acumulado de 1.4765.
- La gravedad específica de los cortes varía entre 0.8708 y 0.9218 (22 y 31°API). El corte acumulado tiene una gravedad específica de 0.8981 o 26°API.
- El contenido de ceras parafínicas de los cortes varía aproximadamente entre 0.2% y 14%.

### 2.2.4.1. Cálculo del Pour Point Acumulado

Como se explicó en el acápite 1.2., para la obtención de la curva Pour Point-Rendimiento se ha graficado según la ecuación aprobada por el API y que fue publicada por M.R. Riazi y T.E. Daubert<sup>14</sup> en 1987. Esta ecuación tiene como **parámetros de entrada la gravedad específica, el Peso molecular y la viscosidad a 100°F**. Para obtener resultados representativos de la naturaleza de los cortes, se han calculado constantes propias para la ecuación en mención. Se utilizó los datos experimentales de Pour Point instantáneo (Cuadro K) así como los parámetros de entrada mencionados para los 14 cortes: Gravedad específica (Cuadro H); Peso Molecular (Cuadro C); Viscosidad a 40°C<sup>15</sup> (Cuadro A). El cálculo de regresión multilíneal se muestra en el Anexo N°20-G. La ecuación resultante fue:

$$T (^{\circ}\text{C}) = 2.457508422 \cdot (S^{-50.996358}) \cdot (PM^{-11.106119 + 12.204023 \cdot S}) \cdot (\mu_{100F}^{2.98777-3.275911 \cdot S}) - 273.15$$

Donde:

- $T$  Pour Point, [ $^{\circ}\text{C}$ ]
- $S$  Gravedad específica a 15.6°C
- $PM$  = Peso Molecular, [g/mol]
- $\mu_{100F}$  = Viscosidad a 100°F, [cSt]

La desviación absoluta promedio de la ecuación es de 0.4°C para un rango de Pour Point entre 0.8°C y 44.4°C, la cual se puede calificar de muy buena.

<sup>14</sup> Riazi, et.al. (Ref.44-Pág.82)

<sup>15</sup> La viscosidad a 100°F(37.8°C) puede ser calculada a partir de la correspondiente a 40°C:  $V_{100F} = V_{40C} \cdot 1.05977$

Esta ecuación fue utilizada para predecir los Pour Point de los cortes acumulados que se muestran en el Cuadro N y la curva Pour Point-Rendimiento de la Figura R.

**CUADRO N:**  
**DATOS POUR POINT**  
Cortes Vacío ASTM D1160 / Datos Acumulados

<b>%Volumen Destilado</b>	<b>POUR POINT, °C Ecuación Riazi-Daubert</b>
5	0,5
10	3,0
15	4,4
20	6,0
25	7,7
30	9,5
35	11,5
40	13,3
45	15,0
50	17,1
55	19,2
60	21,2
65	23,3
72,5	25,7

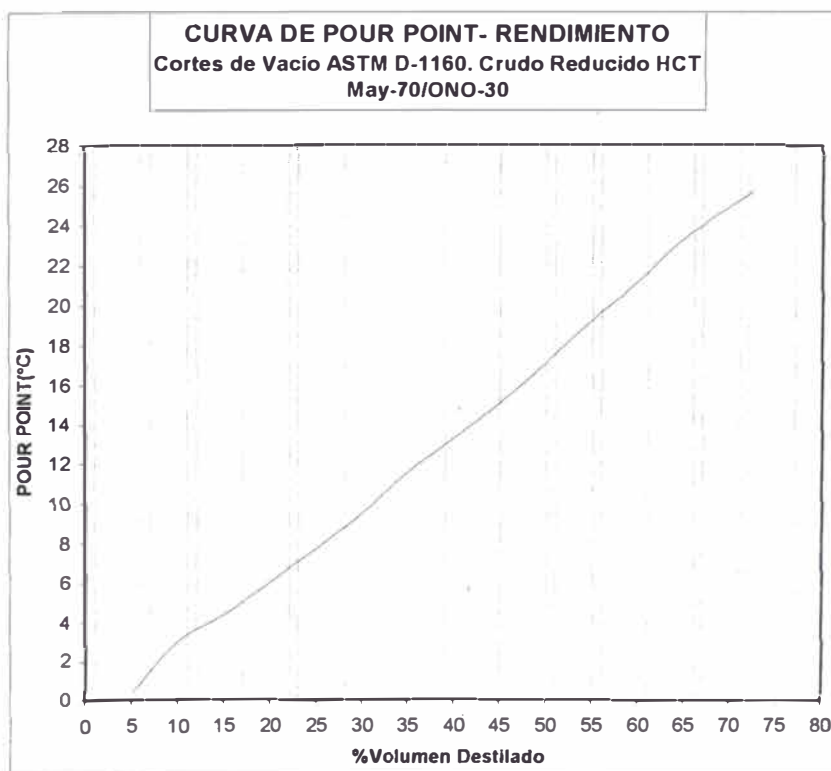


Figura R

Según se observa en la Figura R, aproximadamente por cada 5% en volumen destilado adicional se produce un incremento de 1.9°C en el Pour Point.

El contenido de parafinas causante del Pour Point de 25.7°C en todo el corte acumulado es **5.91%** como se muestra en el Cuadro Ñ.

**CUADRO Ñ:  
DATOS % PARAFINAS ACUMULADAS  
CORTES DE VACÍO D-1160**

<b>%Volumen Destilado</b>	<b>% Parafinas</b>
5	0,25
10	0,38
15	0,58
20	0,77
25	1,09
30	1,45
35	1,89
40	2,32
45	2,79
50	3,30
55	3,82
60	4,40
65	5,00
72,5	5,91

## **2.5. Relaciones entre Propiedades Importantes**

### **2.5.1. Porcentaje de Parafinas, Pour Point y PM**

Al inicio del acápite 2.4. se mencionó la influencia que tiene la cera parafínica en la fluidez del aceite. En la Figura S se presenta gráficamente dicha influencia en la acumulación de cortes. En la Figura T se relaciona el efecto del incremento del Peso Molecular sobre el porcentaje de parafinas. En ambas Figuras se aprecia que a partir de 50% en volumen destilado (Pour Point=17.1°C; PM=317 g/mol) existe un aumento proporcional (constante) del



contenido de parafinas con respecto al Pour Point y al Peso Molecular. Estas proporciones son:

1. Por cada °C de aumento en el Pour Point se produce un aumento de 0.3% en el contenido parafinas.
2. Por cada 10 gr/mol de aumento en el Peso Molecular hay un incremento de 0.7% en el contenido de parafinas.

Antes del 50% en volumen destilado el incremento del porcentaje de parafinas es acelerado (observar la variación de la pendiente). Esto lleva a concluir que moléculas de naturaleza parafínica de peso molecular mayor a 317 gr/mol y con temperaturas de ebullición superiores a 855°F poseen estructuras semejantes.

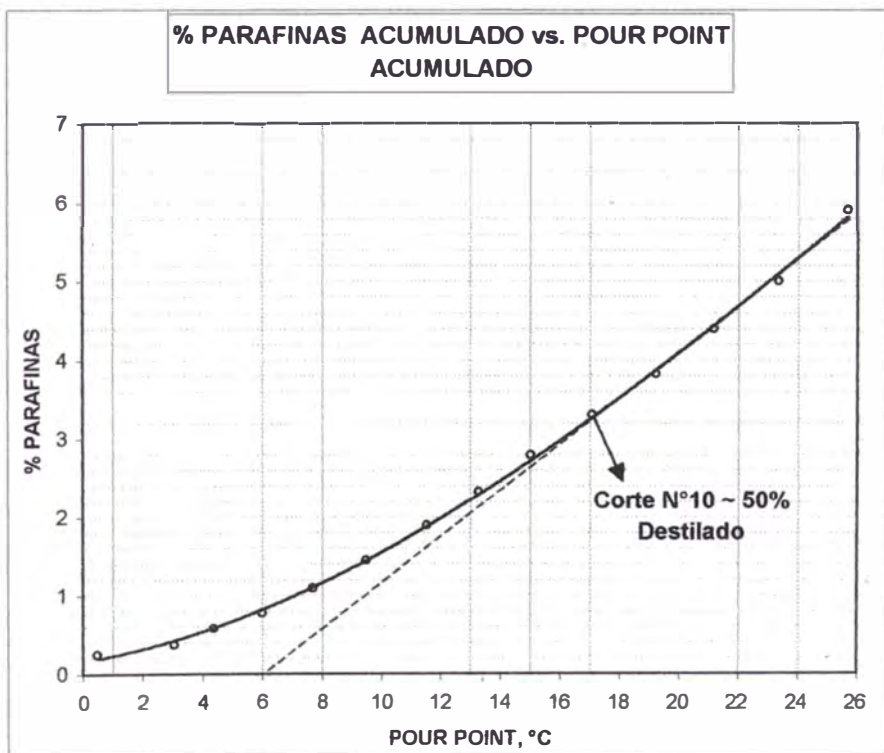


Figura S

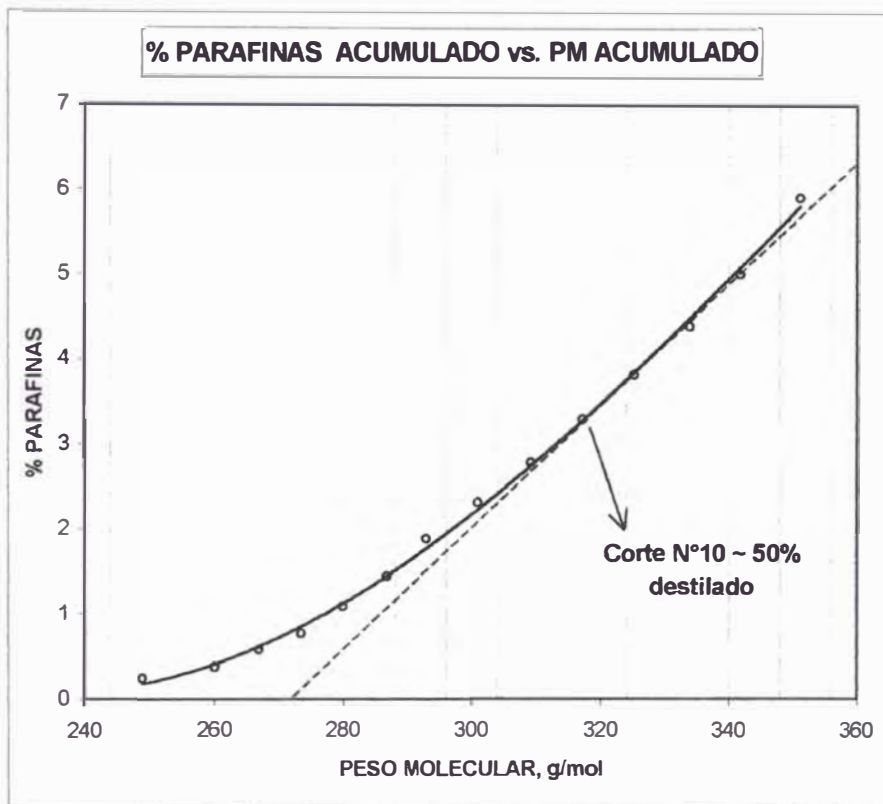


Figura T

### 2.5.2. Constante Viscosidad-Gravedad (VGC)

La constante de viscosidad-gravedad es una herramienta útil para la caracterización aproximada de fracciones de petróleo viscosas. Valores de VGC cercanos a 0.800 indican carácter parafínico, mientras valores cercanos a 1.000 indican preponderancia de componentes aromáticos<sup>16</sup>. Nelson indica además que valores cercanos a 0.900 indican presencia mayoritaria de carácter nafténico<sup>17</sup>.

<sup>16</sup> ASTM, (Ref.7-Pág.848)

<sup>17</sup> Nelson, (Ref.36-Pág.92)

Para el cálculo del VGC se ha utilizado la siguiente ecuación normada<sup>18</sup>:

$$VGC = \frac{G - 0.0664 - 0.1154 \cdot \log(\mu - 5.5)}{0.94 - 0.109 \cdot \log(\mu - 5.5)}$$

Donde:

G = densidad a 15°C (~15.6°C)

M = Viscosidad cinemática a 40°C, [cSt]

Los resultados se muestran en los Cuadros O y P junto con sus respectivas curvas, instantánea (Figura U) y de Rendimiento (Figura V).

**CUADRO O:  
CONSTANTE DE VISCOSIDAD-GRAVEDAD  
DATOS INSTANTÁNEOS**

<b>%Volumen Destilado</b>	<b>Sp.Gr.<sub>60°/60°F</sub></b>	<b>μ<sub>(40°C)</sub> cSt</b>	<b>V.G.C</b>	<b>V.G.C ajustado</b>
2,5	0,8756	8,1	0,8509	0,8509
7,5	0,8811	11,8	0,8471	0,8481
12,5	0,8833	13,3	0,8471	0,8473
17,5	0,8869	16,6	0,8472	0,8471
22,5	0,8899	20,6	0,8472	0,8471
27,5	0,8933	26,6	0,8472	0,8470
32,5	0,8967	34,8	0,8474	0,8470
37,5	0,8990	47,6	0,8456	0,8470
42,5	0,9013	65,3	0,8439	0,8470
47,5	0,9065	87,4	0,8466	0,8469
52,5	0,9106	124,1	0,8472	0,8469
57,5	0,9123	170,5	0,8449	0,8468
62,5	0,9166	251,3	0,8454	0,8468
68,75	0,9212	331,2	0,8480	0,8469

<sup>18</sup> ASTM, (Ref.7-Pág.848)

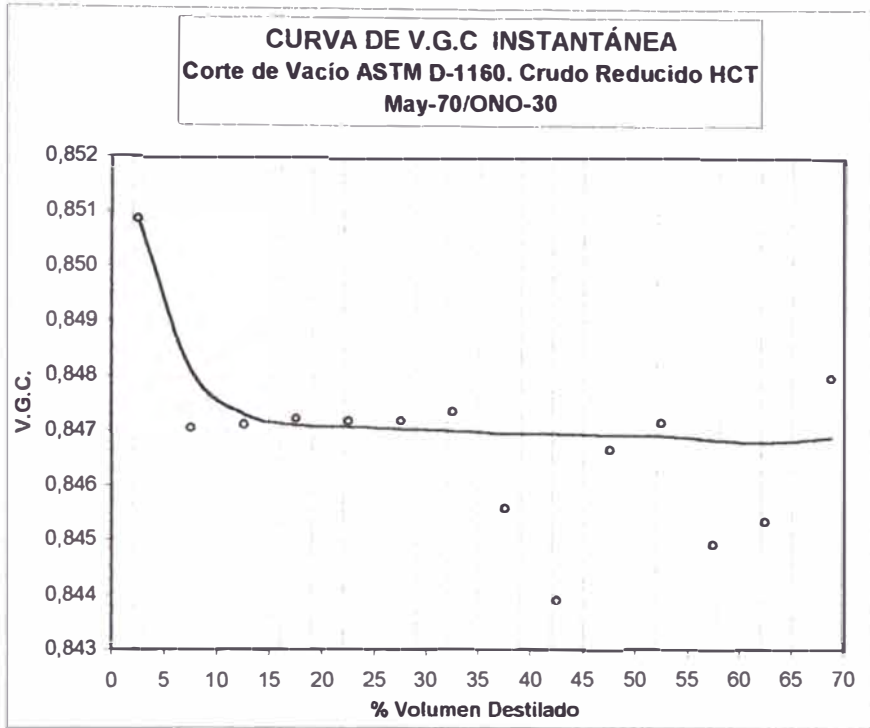


Figura U

**CUADRO P:**  
**CONSTANTE DE VISCOSIDAD-GRAVEDAD**  
**DATOS ACUMULADOS**

%Volumen Destilado	Sp.Gr. <sub>60°/60°F</sub>	$\mu_{(40°C)}$ cSt	V.G.C	V.G.C ajustado
5	0,8756	8,1	0,8509	0,8507
10	0,8783	9,8	0,8484	0,8484
15	0,8800	10,8	0,8478	0,8477
20	0,8817	12,0	0,8475	0,8474
25	0,8834	13,3	0,8473	0,8472
30	0,8850	14,8	0,8471	0,8470
35	0,8867	16,6	0,8470	0,8469
40	0,8882	18,7	0,8468	0,8467
45	0,8897	21,2	0,8464	0,8466
50	0,8914	24,1	0,8464	0,8465
55	0,8931	27,5	0,8464	0,8464
60	0,8947	31,3	0,8464	0,8464
65	0,8964	36,0	0,8464	0,8464
72,5	0,8982	42,4	0,8462	0,8463

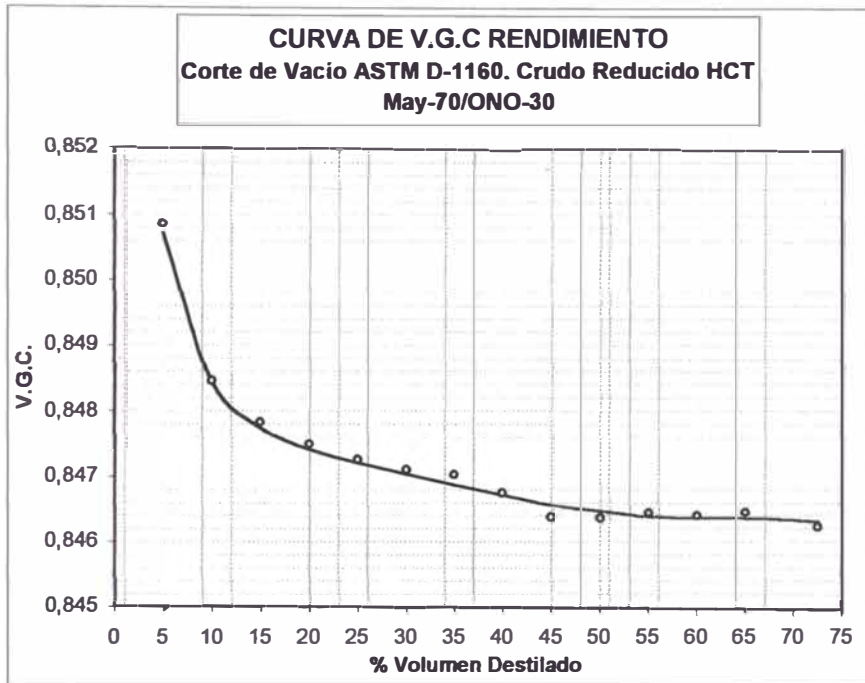


Figura V

La Figura U muestra una tendencia del VGC hacia el valor de 0.847. Esto es un indicativo del carácter parafínico de los cortes (cercano a 0.8). El VGC del corte al 5% (0.85) está relativamente alejado de la tendencia mencionada por lo que el carácter está entre parafínico y nafténico. Esto se comprueba comparando los resultados con la Figura M en donde el carácter nafténico tiene sus mayores niveles en los cortes comprendidos entre el 0 y el 7.5% en volumen destilado. A pesar de la dispersión de resultados que se observa a partir del 35% en volumen destilado la atribución del carácter parafínico es válida debido a que la zona en cuestión está **por debajo** del nivel establecido por la tendencia.

El corte total acumulado tiene un carácter parafínico (VGC=0.8462). Nuevamente, se confirma la semejanza estructural del contenido parafínico a partir del 45 o 50% en volumen destilado (observar

como la pendiente de la curva de la Figura V es casi nula).

### 2.5.3. Relación entre IV y Pour Point

Estas son las propiedades más importantes de una base lubricante. Los resultados se analizan a través de las curvas instantáneas relacionadas que se muestran en las Figura W y X.

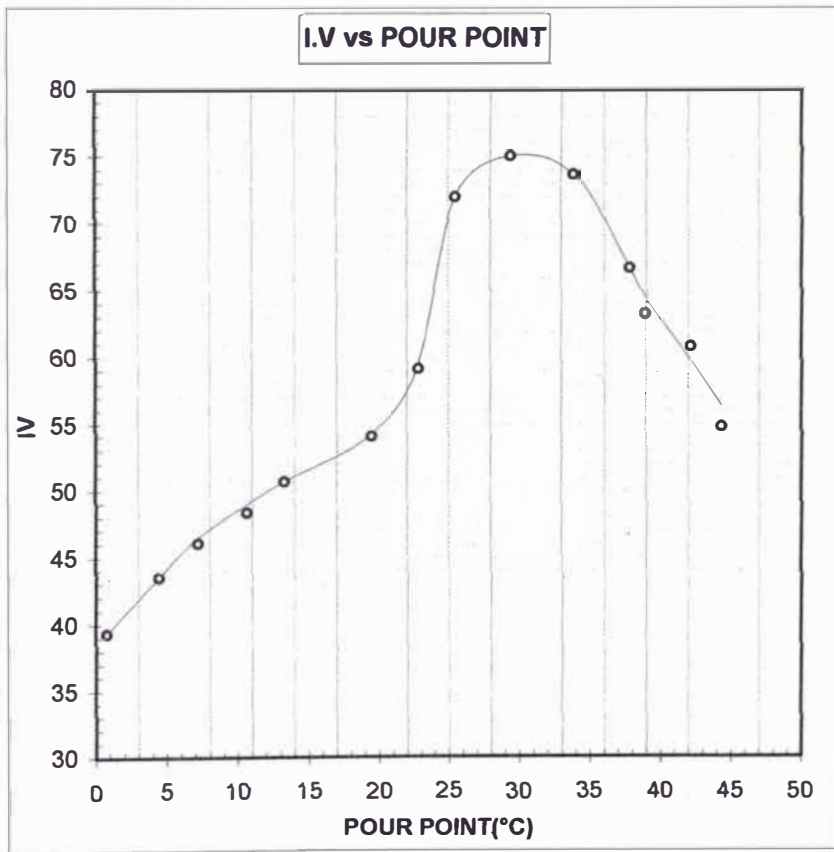


Figura W

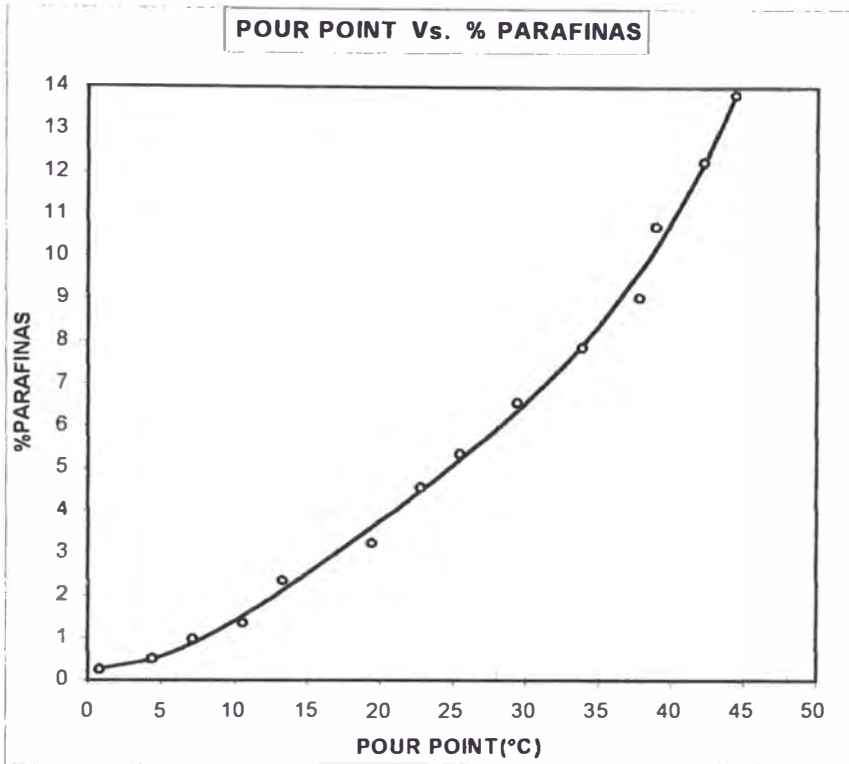


Figura X

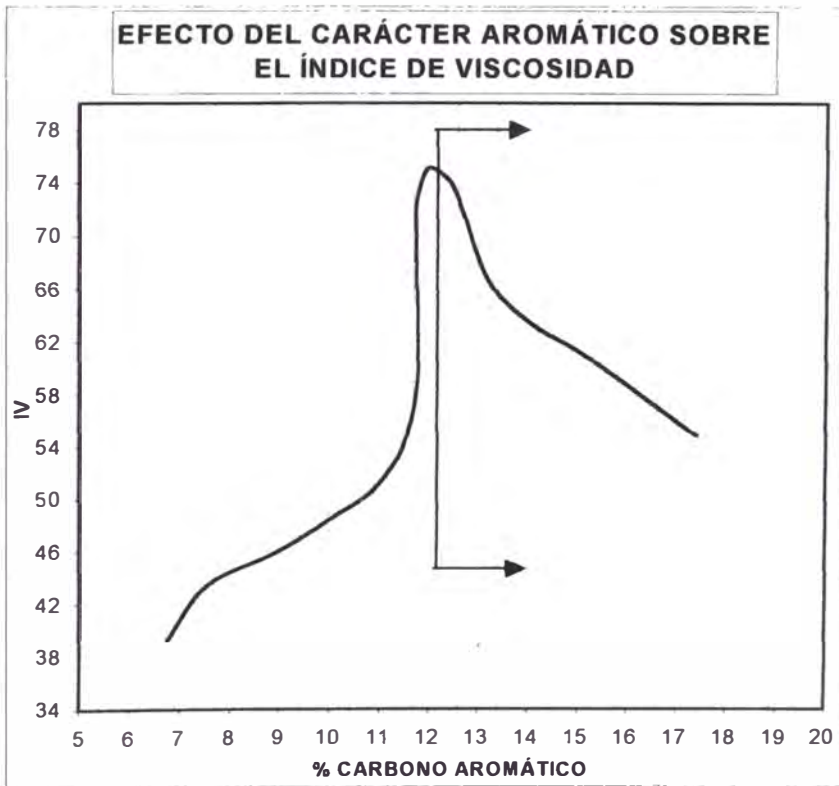


Figura Y

Un Pour Point entre 26 y 32°C permite obtener un IV por encima de 71. Además la tendencia del Pour Point es creciente con el IV hasta los 30°C (42.5% vol. Destilado), pero decreciente en adelante. La disminución del IV obedece al incremento de la presencia aromática a partir de un  $\%C_{\text{AROMÁTICO}} = 12.0$  correspondiente al **42.5% en vol. destilado** (Véase Cuadro I, Figura Y y Z), ésta favorece el carácter amorfo de la cera o parafina. Una cera amorfa retiene más fácilmente el aceite<sup>19</sup> en su red microcristalina favoreciendo un aumento en el Pour Point.

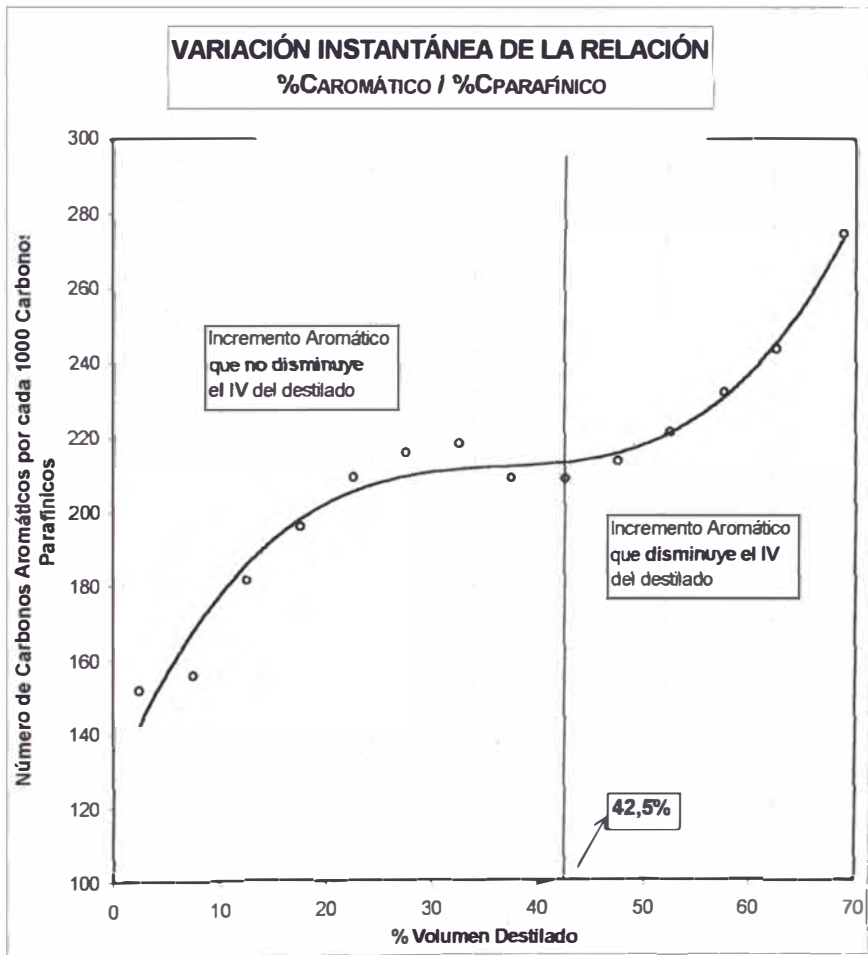


Figura Z

<sup>19</sup> Dunstan (ed.), et.al., (Ref.16, Pág.1944)



#### 2.2.6. Datos Complementarios (Anexos)

El Anexo N°20-H muestra el cuadro resumen de las propiedades físicas determinadas a los 14 cortes por separado (Propiedades Instantáneas) y a la acumulación de los mismos (Propiedades Rendimiento). Los valores que se presentan son los correspondientes a un ajuste gráfico sobre la base de datos experimentales que se presentan a lo largo del capítulo. Son útiles para interpolaciones.

En el Anexo N°20-I las propiedades físicas más importantes se comparan con la curva TBP del crudo reducido. Estas gráficas permiten determinar las propiedades instantáneas y acumuladas (Rendimiento) en función del rango de ebullición. La información más resaltante es que **las bases lubricantes que poseen mayor IV (> 70) se encuentran entre el 36.5% y 50.3% en volumen destilado de crudo reducido y entre los 785°F y 860°F.** Dichas bases lubricantes tienen un Pour Point entre 25.6°C y 35.5°C, un API entre 26.0 y 24.5° y una viscosidad a 100°C entre 6 y 10.4 cSt.

Por último, en el Anexo N°20-J se ha graficado curvas de API-Propiedades instantáneas. Por ser el API la propiedad más fácil de medir ayudará a la estimación de propiedades de los cortes de vacío (May-70/ONO-30) cuya medición sea difícil o demande mayor tiempo. Estas curvas pueden interrelacionarse entre sí para realizar estimaciones a partir una propiedad distinta al API.

## ANEXO N°20-A:

### CÁLCULO DE VISCOSIDADES ACUMULADAS

La viscosidad acumulada fue calculada en base a la norma ASTM D341 para mezcla de aceites. El procedimiento de cálculo<sup>1</sup> para la mezcla de dos aceites es el siguiente:

1. Sean los aceites: **L**, de baja viscosidad y **H**, de alta viscosidad,

sus viscosidades respectivas,

$VL40$  = Viscosidad del aceite L a 40°C, [cSt]

$VL100$  = Viscosidad del aceite L a 100°C, [cSt]

$VH40$  = Viscosidad del aceite H a 40°C, [cSt]

$VH100$  = Viscosidad del aceite H a 100°C, [cSt]

y sea,

$FM40$  = Fracc. Vol. del aceite H en la mezcla a 40°C,

$FM100$  = Fracc. Vol. del aceite H en la mezcla a 100°C

2. Se realiza el cálculo del parámetro  $Z$  y el  $M$ :

$$Z = (X + 0.7 + C - D + E - F + G - H)$$

$$M = \log(\log(Z))$$

Donde:

$$C = \exp(-1.14883 - 2.65868X)$$

---

<sup>1</sup> ASTM, (Ref.18-Págs.158-159)

$$D = \exp(-0.0038138 - 12.5645 \cdot X)$$

$$E = \exp(5.46491 - 37.6289 \cdot X)$$

$$F = \exp(13.0458 - 74.6851 \cdot X)$$

$$G = \exp(37.4619 - 192.643 \cdot X)$$

$$H = \exp(80.4945 - 400.468 \cdot X)$$

y además:

$$a) X = VL40 \rightarrow M = Cy$$

$$b) X = VL100 \rightarrow M = Dy$$

$$c) X = VH40 \rightarrow M = Ey$$

$$d) X = VH100 \rightarrow M = Fy$$

3. Se determina los parámetros  $A_y$  y  $B_y$ :

$$A_y = (-FM40 \cdot E_y \cdot D_y + FM40 \cdot F_y \cdot C_y + E_y \cdot C_y - F_y \cdot C_y) / (FM40 \cdot C_y - FM40 \cdot D_y - FM40 \cdot E_y + FM40 \cdot F_y + E_y - F_y)$$

$$B_y = (FM100 \cdot F_y \cdot C_y - FM100 \cdot E_y \cdot D_y + E_y \cdot D_y - F_y \cdot D_y) / (FM100 \cdot C_y - FM100 \cdot D_y - FM100 \cdot E_y + FM100 \cdot F_y + E_y - F_y)$$

4. Finalmente, los parámetros  $A_y$  y  $B_y$  se utilizan para determinar las viscosidades de la mezcla a 40°C y a 100°C expresadas en cSt:

$$V_{40C} = \text{antilog}(10^{A_y}) - 0.7$$

$$V_{100C} = \text{antilog}(10^{B_y}) - 0.7$$

**ANEXO N°20-B:**

**PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DE VISCOSIDADES DE UNA MEZCLA DE  
2 ACEITES**

**Basado en la Norma ATM D-341**

```
10 CLS: CLEAR
15 COLOR 12, 0
20 PRINT " ***** OIL BLENDING. BASADO EN NORMA ASTM D-341
***** ": PRINT: PRINT: PRINT
22 PRINT " *****"
30 PRINT " **** PROGRAMA REALIZADO POR ILICH LAMA PARA ITEBS CO.

35 COLOR 7, 0: PRINT: PRINT: PRINT
37 PRINT " INGRESE LOS VALORES DE AMBAS SUSTANCIAS:": PRINT
40 INPUT " LOW VIS,cS(40øC) =": VISL40
50 INPUT " LOW VIS,cS(100øC) =": VISL100
60 INPUT " HIGH VIS,cS(40øC) =": VISH40
70 INPUT " HIGH VIS,cS(100øC) =": VISH100: PRINT
75 INPUT " FRACCION VOL. DE HIGH VIS(0-1) a 40øC =": FB40
78 INPUT " FRACCION VOL. DE HIGH VIS(0-1) a 100øC =": FB100: PRINT
80 X = VISL40
90 GOSUB 2010
95 ZL40 = Z
97 CY = Log(Log(ZL40) / Log(10)) / Log(10)
100 REM PRINT "C=": CY
110 X = VISL100
120 GOSUB 2010
130 ZL100 = Z
135 DY = Log(Log(ZL100) / Log(10)) / Log(10)
140 REM PRINT "D=": DY
150 X = VISH40
160 GOSUB 2010
170 ZH40 = Z
175 EY = Log(Log(ZH40) / Log(10)) / Log(10)
180 REM PRINT "E=": EY
190 X = VISH100
200 GOSUB 2010
210 ZH100 = Z
215 FY = Log(Log(ZH100) / Log(10)) / Log(10)
220 REM PRINT "F=": FY
230 REM OBTENCION DE AY=LOG(LOGZB40)
240 AY = (-FB40 * EY * DY + FB40 * FY * CY + EY * CY - FY * CY) / (FB40 * CY - FB40 *
DY - FB40 * EY + FB40 * FY + EY - FY)
250 ZB40 = 10 ^ (10 ^ AY)
260 REM OBTENCION DE BY=LOG(LOGZB100)
270 By = (FB100 * FY * CY - FB100 * EY * DY + EY * DY - FY * DY) / (FB100 * CY -
FB100 * DY - FB100 * EY + FB100 * FY + EY - FY)
280 ZB100 = 10 ^ (10 ^ By)
290 VISB40 = ZB40 - 0.7
300 VISB100 = ZB100 - 0.7
305 COLOR 15, 0
310 PRINT " VISC.MEZCLA, cSt (40øC) =": COLOR 10, 0
315 PRINT VISB40: COLOR 15, 0
```

```
320 PRINT "          VIS.MEZCLA, cSt(100°C) =";: COLOR 10, 0
321 PRINT VISB100: PRINT
322 COLOR 3, 0
325 PRINT "          COPYRIGHT 1998. ITEBS CO."
327 PRINT "          PROHIBIDA SU REPRODUCCION"
328 PRINT "          SIN PERMISO DE ILICH LAMA"
329 COLOR 15, 0
333 END
```

```
2000 REM SUBPROGRAMA
2010 C = Exp(-1.14883 - 2.65868 * X)
2020 D = Exp(-0.0038138 - 12.5645 * X)
2030 E = Exp(5.46491 - 37.6289 * X)
2040 F = Exp(13.0458 - 74.6851 * X)
2050 G = Exp(37.4619 - 192.643 * X)
2060 H = Exp(80.4945 - 400.468 * X)
2070 Z = (X + 0.7 + C - D + E - F + G - H)
2080 RETURN
```

**ANEXO N°20-C:**

**PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DE VISCOSIDADES DE CORTES  
ACUMULADOS – OILMIX**

Basado en la norma ASTM D-341

```
10 CLS : CLEAR
15 COLOR 12, 0
20 PRINT " ***** ACUMULACIÓN DE CORTES. OILMIX. BASADO EN NORMA
ASTM D-341 *****": PRINT
22 PRINT " *****"
30 PRINT " PROGRAMA REALIZADO POR ILICH LAMA Y ERIK MENZALA"
31 COLOR 7, 0: PRINT : PRINT
40 PRINT " NUMERO DE CORTES =": : COLOR 14, 0
44 INPUT N
46 COLOR 7, 0
50 DIM V40(N), V100(N), VM40(N), VM100(N)
60 FOR I = 1 TO N
70 PRINT " VIS (40°C)("; I; ")="; : COLOR 14, 0: INPUT V40(I): COLOR 7, 0
80 PRINT " VIS(100°C)("; I; ")="; : COLOR 14, 0: INPUT V100(I): COLOR 7, 0
81 NEXT I
82 INPUT " CORTE INICIAL(N°)="; CI
83 INPUT " CORTE FINAL (N°)="; CF

88 VISL40 = V40(CI): VISL100 = V100(CI)
90 J = 1
91 FOR I = CI TO CF - 1

95 FB40 = 1 / (J + 1): FB100 = 1 / (J + 1)

98 VISH40 = V40(I + 1): VISH100 = V100(I + 1)
99 GOSUB 734
100 VM40(I) = VISB40: VM100(I) = VISB100
105 VISL40 = VM40(I): VISL100 = VM100(I)
107 J = J + 1
110 NEXT I
111 FOR I = CI TO CF - 1
115 COLOR 15, 0
120 PRINT " VISM(40°C)("; CI; " _"; I + 1; ")="; : COLOR 10, 0
125 PRINT VM40(I)
126 COLOR 15, 0
130 PRINT " VISM(100°C)("; CI; " _"; I + 1; ")="; : COLOR 10, 0
140 PRINT VM100(I)
141 NEXT I
142 COLOR 11, 0: PRINT : INPUT " DESEA ACUMULAR OTROS CORTES
SI(1)/NO(2)"; ELEX
143 IF ELEX = 1 GOTO 144 ELSE 150
144 CLS : COLOR 7, 0: GOTO 82
150 COLOR 3, 0
169 CLS : PRINT : PRINT : PRINT " COPYRIGHT 1998. ITEBS CO."
170 PRINT " PROHIBIDA SU REPRODUCCION"
180 PRINT " SIN PERMISO DE ILICH LAMA Y ERIK MENZALA"
185 PRINT " PETROPERU-UNI"
190 COLOR 15, 0
200 END
```

```
734 REM SUBPROGRAMA D-341
735 COLOR 7, 0
780 X = VISL40
790 GOSUB 2010
795 ZL40 = Z
797 CY = LOG(LOG(ZL40) / LOG(10)) / LOG(10)
800 REM PRINT "C="; CY
810 X = VISL100
820 GOSUB 2010
830 ZL100 = Z
840 DY = LOG(LOG(ZL100) / LOG(10)) / LOG(10)
850 REM PRINT "D="; DY
860 X = VISH40
870 GOSUB 2010
880 ZH40 = Z
890 EY = LOG(LOG(ZH40) / LOG(10)) / LOG(10)
900 REM PRINT "E="; EY
910 X = VISH100
920 GOSUB 2010
930 ZH100 = Z
940 FY = LOG(LOG(ZH100) / LOG(10)) / LOG(10)
950 REM PRINT "F="; FY
960 REM OBTENCION DE AY=LOG(LOGZB40)
970 AY = (-FB40 * EY * DY + FB40 * FY * CY + EY * CY - FY * CY) / (FB40 * CY - FB40 *
DY - FB40 * EY + FB40 * FY + EY - FY)
980 ZB40 = 10 ^ (10 ^ AY)
990 REM OBTENCION DE BY=LOG(LOGZB100)
1000 BY = (FB100 * FY * CY - FB100 * EY * DY + EY * DY - FY * DY) / (FB100 * CY -
FB100 * DY - FB100 * EY + FB100 * FY + EY - FY)
1010 ZB100 = 10 ^ (10 ^ BY)
1020 VISB40 = ZB40 - .7
1030 VISB100 = ZB100 - .7

2000 REM SUBPROGRAMA
2010 C = EXP(-1.14883 - 2.65868 * X)
2020 D = EXP(-.0038138 - 12.5645 * X)
2030 E = EXP(5.46491 - 37.6289 * X)
2040 F = EXP(13.0458 - 74.6851 * X)
2050 G = EXP(37.4619 - 192.643 * X)
2060 H = EXP(80.4945 - 400.468 * X)
2070 Z = (X + .7 + C - D + E - F + G - H)
2080 RETURN

3000 RETURN
```

**ANEXO N°20-D:**

**CÁLCULO DEL ÍNDICE DE VISCOSIDAD A PARTIR DE VISCOSIDADES A 40°C Y 100°C – MÉTODO NUMÉRICO**

**Basado en la norma ASTM D2270**

1. Datos de entrada:

$V_{40C}$  = Viscosidad Cinemática a 40°C, [cSt]

$V_{100C}$  = Viscosidad Cinemática a 100°C, [cSt]

2. Cálculo de los parámetros  $L$  y  $H$ :

$$L = a \cdot V_{100C}^2 + b \cdot V_{100C} + c \quad \dots(1)$$

$$H = d \cdot V_{100C}^2 + e \cdot V_{100C} + d \quad \dots(2)$$

$L$  = Viscosidad cinemática a 40°C de un aceite de IV=0 que tiene la misma viscosidad cinemática a 100°C que el aceite al que se le calculará el IV, [cSt]

$H$  = Viscosidad cinemática a 40°C de un aceite de IV=100 que tiene la misma viscosidad cinemática a 100°C que el aceite al que se le calculará el IV, [cSt]

$a, b, c, d, e, f$  = constantes que dependen del rango en que se encuentre  $V_{100C}$ . La norma establece un juego de 16 rangos en su Tabla X2.2, que se transcribe en este Anexo. Los errores de los valores así calculados no exceden el 0.1%.

Para un valor de  $V_{100C}$  se selecciona las constantes que se utilizarán en las ecuaciones (1) y (2).



Tabla X2.2.

V <sub>100C</sub> mín	V <sub>100C</sub> máx	a	b	c	d	e	f
2,0	3,8	1,14673	1,7576	-0,109	0,84155	1,5521	-0,077
3,8	4,4	3,38095	-15,4952	33,196	0,78571	1,7929	-0,183
4,4	5,0	2,50000	-7,2143	13,812	0,82143	1,5679	0,119
5,0	6,4	0,10100	16,6350	-45,469	0,04985	9,1613	-18,557
6,4	7,0	3,35714	-23,5643	78,466	0,22619	7,7369	-16,656
7,0	7,7	0,01191	21,4750	-72,870	0,79762	-0,7321	14,610
7,7	9,0	0,41858	16,1558	-56,040	0,05794	10,5156	-28,240
9,0	12	0,88779	7,5527	-16,600	0,26665	6,7015	-10,810
12	15	0,76720	10,7972	-38,180	0,20073	8,4658	-22,490
15	18	0,97305	5,3135	-2,200	0,28889	5,9741	-4,930
18	22	0,97256	5,2500	-0,980	0,24504	7,4160	-16,730
22	28	0,91413	7,4759	-21,820	0,20323	9,1267	-34,230
28	40	0,87031	9,7157	-50,770	0,18411	10,1015	-46,750
40	55	0,84703	12,6752	-133,310	0,17029	11,4866	-80,620
55	70	0,85921	11,1009	-83,190	0,17130	11,3680	-76,940
70	Arriba	0,83531	14,6731	-216,246	0,16841	11,8493	-96,947

3. Finalmente, el Índice de Viscosidad (IV) se calcula así:

$$IV = \frac{(L - V_{40C}) \cdot 100}{(L - H)}$$

**ANEXO N°20-E:  
DATOS PARA GRAFICAR CURVA RENDIMIENTO - % AZUFRE  
14 CORTES DE VACÍO D-1160**

<b>%V.Dest.</b>	<b>% S</b>
5	0,228
10	0,231
15	0,233
20	0,236
25	0,239
30	0,241
35	0,244
40	0,248
45	0,251
50	0,255
55	0,259
60	0,265
65	0,272
72,5	0,285

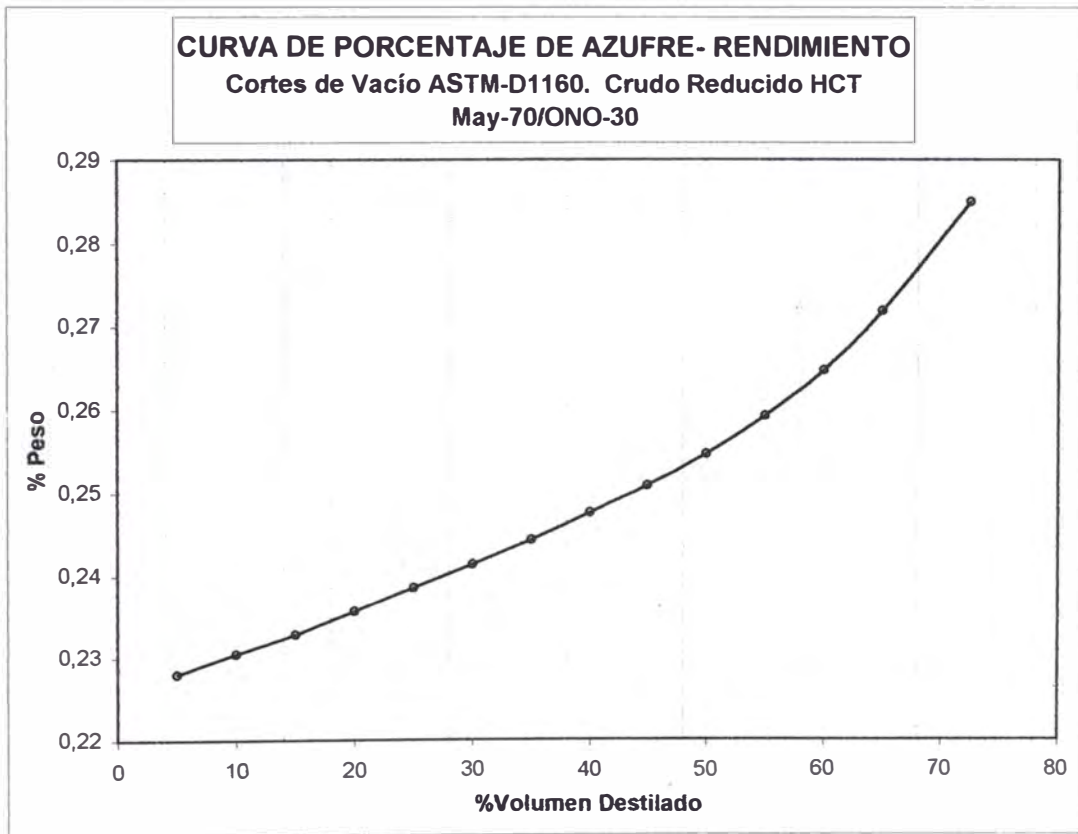


Figura A

ANEXO N°20-F:

RESULTADOS EN DETALLE DEL ANÁLISIS n.d.M REALIZADO A LOS 14 CORTES DE VACÍO

ANÁLISIS n.d.M DE LOS CORTES DE DESTILACIÓN AL VACÍO D-1160

Naturaleza Química de los cortes por separado

%Volumen Destilado	Sp.Gr. 70°C	IR <sub>D,70°C</sub>	% Azufre	PM	V	W	%C <sub>A</sub>	R <sub>A</sub>	%C <sub>R</sub>	R <sub>T</sub>	%C <sub>N</sub>	%C <sub>P</sub>	R <sub>N</sub>
2,5	0,8420	1,4612	0,228	249	-0,0110	0,0126	6,77	0,2	55,3	2,0	48,52	44,71	1,8
7,5	0,8452	1,4638	0,233	274	-0,0080	0,0130	7,56	0,2	51,3	2,0	43,76	48,68	1,8
12,5	0,8483	1,4661	0,238	282	-0,0055	0,0135	9,01	0,3	50,5	2,1	41,49	49,50	1,8
17,5	0,8516	1,4684	0,244	297	-0,0032	0,0142	9,98	0,3	49,0	2,1	39,05	50,97	1,8
22,5	0,8548	1,4706	0,250	311	-0,0012	0,0151	10,88	0,4	47,9	2,2	36,99	52,13	1,8
27,5	0,8581	1,4727	0,256	327	0,0007	0,0160	11,48	0,4	46,8	2,3	35,29	53,23	1,8
32,5	0,8614	1,4749	0,262	342	0,0026	0,0169	11,78	0,5	46,0	2,3	34,17	54,05	1,9
37,5	0,8647	1,4770	0,271	371	0,0046	0,0178	11,75	0,5	44,0	2,4	32,22	56,04	1,9
42,5	0,8680	1,4793	0,277	397	0,0067	0,0186	11,98	0,6	42,5	2,5	30,54	57,48	2,0
47,5	0,8714	1,4817	0,289	419	0,0092	0,0193	12,50	0,6	41,5	2,6	29,02	58,48	2,0
52,5	0,8748	1,4843	0,305	442	0,0120	0,0198	13,20	0,7	40,4	2,7	27,24	59,56	2,0
57,5	0,8782	1,4871	0,326	468	0,0153	0,0201	14,09	0,8	39,2	2,8	25,10	60,81	2,0
62,5	0,8816	1,4901	0,357	500	0,0192	0,0202	15,18	0,9	37,6	2,9	22,41	62,42	2,0
68,75	0,8860	1,4943	0,399	514	0,0250	0,0199	17,40	1,1	36,6	2,9	19,23	63,38	1,8

ANÁLISIS n.d.M DE LOS CORTES DE DESTILACIÓN AL VACÍO D-1160

Naturaleza Química de los cortes acumulados

%Volumen Destilado	Sp.Gr. 70°C	IR <sub>D,70°C</sub>	% Azufre	PM	V	W	%C <sub>A</sub>	R <sub>A</sub>	%C <sub>R</sub>	R <sub>T</sub>	%C <sub>N</sub>	%C <sub>P</sub>	R <sub>N</sub>
5	0,8420	1,4612	0,228	249	-0,0110	0,0126	6,77	0,2	55,3	2,0	48,52	44,71	1,8
10	0,8436	1,4625	0,230	260	-0,0095	0,0128	7,21	0,2	53,4	2,0	46,23	46,56	1,8
15	0,8452	1,4637	0,233	267	-0,0082	0,0130	7,82	0,2	52,5	2,0	44,68	47,50	1,8
20	0,8468	1,4649	0,236	273	-0,0070	0,0133	8,38	0,3	51,7	2,0	43,31	48,31	1,8
25	0,8484	1,4660	0,238	280	-0,0058	0,0137	8,89	0,3	51,0	2,1	42,08	49,03	1,8
30	0,8500	1,4671	0,241	287	-0,0047	0,0141	9,37	0,3	50,3	2,1	40,92	49,71	1,8
35	0,8516	1,4682	0,244	293	-0,0037	0,0145	9,85	0,3	49,7	2,1	39,89	50,27	1,8
40	0,8532	1,4693	0,248	301	-0,0026	0,0149	10,25	0,3	49,0	2,1	38,74	51,01	1,8
45	0,8549	1,4704	0,251	309	-0,0016	0,0153	10,68	0,4	48,3	2,2	37,60	51,72	1,8
50	0,8565	1,4716	0,255	317	-0,0005	0,0157	11,16	0,4	47,6	2,2	36,49	52,36	1,8
55	0,8582	1,4727	0,259	325	0,0006	0,0161	11,50	0,4	47,0	2,3	35,52	52,97	1,8
60	0,8599	1,4739	0,265	334	0,0018	0,0164	11,71	0,4	46,4	2,3	34,64	53,65	1,8
65	0,8615	1,4752	0,272	342	0,0032	0,0167	12,01	0,5	45,8	2,3	33,76	54,23	1,8
72,5	0,8633	1,4771	0,285	351	0,0061	0,0163	12,92	0,5	44,5	2,3	31,60	55,47	1,8

**ANEXO N°20-G:**  
**CÁLCULO DE CONSTANTES PROPIAS PARA LA ECUACIÓN RIAZI-DAUBERT**  
 Pour Point. 14 Cortes de Vacío del Crudo Reducido HCT Mayna-70/ONO-30

1. Sea la ecuación base:

$$T = A(S^B)^C(PM^{C+D^*S})^E(\mu^{E+F^*S}) \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

- T = Pour Point, [°K]
- S = Gravedad específica a 15,6°C
- PM = Peso molecular, [g/mol]
- μ = Viscosidad a 100°F (37,8°C), [cSt]
- A,B,C,D,E y F = Constantes a determinar



2. Se linealiza la ecuación (1) para realizar la regresión:

$$\ln(T) = \ln(A) + B*\ln(S) + C*\ln(PM) + D*S*\ln(PM) + E*\ln(\mu) + F*S*\ln(\mu) \dots\dots\dots(2)$$

3. El cálculo de regresión se hizo con ayuda de una computadora personal, utilizando el software Statgraphics 4.0. Las constantes resultantes son:

- A = 2,457508422
- B = -50,996358
- C = -11,106119
- D = 12,204023
- E = 2,98777
- F = 3,275911

4. El coeficiente de regresión es 0,9989

5. Para obtener el Pour Point en [°C] se debe restar 273,15 a los valores calculados por la ecuación.

A continuación se muestra la tabla comparativa entre los datos experimentales y de predicción:

POUR POINT, °C Exper.	POUR POINT, °C ecuación Riazi-Daubert	Desv. Abs. (°C)
0,8	0,5	0,3
4,4	5,0	0,6
7,2	6,9	0,3
10,6	10,6	0,0
13,3	14,2	0,9
19,4	18,5	0,9
22,8	23,1	0,3
25,5	25,6	0,1
29,4	28,6	0,8
33,9	33,8	0,1
37,8	37,9	0,1
38,9	39,6	0,7
42,2	42,5	0,3
44,4	44,0	0,4
<b>Desv.Prom.</b>		<b>0,4</b>

**ANEXO N°20-H:**  
**RESULTADOS AJUSTADOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS 14 CORTES DE VACÍO**  
**Crudo Reducido HCT Mayna-70/ONO-30**

**CARACTERIZACIÓN DE LOS CORTES DESTILACIÓN AL VACÍO AL 5 % - PROPIEDADES INSTANTÁNEAS**

Propiedades de los Cortes por separado - Valores Ajustados

Rango en %Vol	Pto.Medio Rango %V	API <sub>60°/60°F</sub>	Sp.Gr. <sub>60°/60°F</sub>	Pour Point °C	Pour Point °F	μ <sub>(40°C)</sub> cSt	μ <sub>(100°C)</sub> cSt	I.V.	Indice Refracción 70°C	Parafinas % Peso	Azufre %Peso	PM
0 - 5	2,5	29,9	0,8768	1,1	33,9	8,10	2,13	38,3	1,4612	0,22	0,228	257
5 - 10	7,5	29,3	0,8800	3,9	39,0	11,80	2,70	43,5	1,4638	0,50	0,233	267
10 - 15	12,5	28,7	0,8832	7,1	44,8	13,30	2,92	46,5	1,4661	0,95	0,238	279
15 - 20	17,5	28,1	0,8864	10,7	51,2	16,59	3,34	48,7	1,4684	1,57	0,244	294
20 - 25	22,5	27,6	0,8897	14,4	58,0	20,61	3,81	50,7	1,4706	2,33	0,250	311
25 - 30	27,5	27,0	0,8929	18,3	65,0	26,62	4,42	53,8	1,4727	3,24	0,256	330
30 - 35	32,5	26,4	0,8962	22,3	72,1	34,75	5,11	59,5	1,4749	4,26	0,262	351
35 - 40	37,5	25,8	0,8995	26,2	79,2	47,58	6,32	72,1	1,4770	5,39	0,271	373
40 - 45	42,5	25,2	0,9029	30,0	86,0	65,31	7,69	75,1	1,4793	6,61	0,277	397
45 - 50	47,5	24,6	0,9062	33,6	92,4	87,35	9,17	73,7	1,4817	7,90	0,289	422
50 - 55	52,5	24,1	0,9096	36,8	98,3	124,05	11,15	66,7	1,4843	9,25	0,305	447
55 - 60	57,5	23,5	0,9130	39,7	103,5	170,50	13,42	62,8	1,4871	10,65	0,326	473
60 - 65	62,5	22,9	0,9165	42,1	107,8	251,25	16,88	59,9	1,4901	12,08	0,357	499
65 - 72,5	68,8	22,2	0,9208	44,4	111,8	331,20	19,41	56,6	1,4943	13,90	0,399	533

**CARACTERIZACIÓN DE LOS CORTES DESTILACIÓN AL VACÍO AL 5 % - PROPIEDADES ACUMULADAS**

Propiedades de los Cortes Acumulados - Valores Ajustados

%Volumen acumulado	API <sub>60°/60°F</sub>	Sp.Gr. <sub>60°/60°F</sub>	Pour Point °C	Pour Point °F	μ <sub>(40°C)</sub> cSt	μ <sub>(100°C)</sub> cSt	I.V.	Indice Refracción 70°C	Parafinas % Peso	Azufre %Peso	PM
0 - 5	29,9	0,8768	0,8	33,4	8,10	2,13	38,3	1,4612	0,25	0,228	255
0 - 10	29,6	0,8784	1,7	35,1	9,75	2,38	38,5	1,4625	0,38	0,231	262
0 - 15	29,3	0,8800	3,5	38,3	10,79	2,54	39,0	1,4637	0,58	0,233	269
0 - 20	29,0	0,8816	5,3	41,6	11,97	2,71	39,6	1,4649	0,77	0,236	277
0 - 25	28,7	0,8832	7,3	45,1	13,28	2,89	40,4	1,4660	1,09	0,239	284
0 - 30	28,4	0,8848	9,2	48,6	14,80	3,09	41,3	1,4671	1,45	0,241	291
0 - 35	28,1	0,8865	11,2	52,2	16,55	3,30	42,4	1,4682	1,89	0,244	298
0 - 40	27,8	0,8881	13,3	55,9	18,68	3,56	43,8	1,4693	2,32	0,248	305
0 - 45	27,5	0,8897	15,3	59,5	21,20	3,85	46,4	1,4704	2,79	0,251	313
0 - 50	27,2	0,8914	17,3	63,1	24,08	4,17	51,3	1,4716	3,30	0,255	321
0 - 55	26,9	0,8930	19,2	66,6	27,46	4,52	58,1	1,4727	3,82	0,259	329
0 - 60	26,7	0,8947	21,1	70,0	31,34	4,90	65,2	1,4739	4,40	0,265	337
0 - 65	26,4	0,8964	23,0	73,3	35,95	5,32	69,5	1,4752	5,00	0,272	346
0 - 72,5	26,1	0,8981	25,7	78,3	42,44	5,87	70,7	1,4771	5,91	0,285	361

**ANEXO N°20-I:**  
**CURVAS INSTANTÁNEAS Y DE RENDIMIENTO DE PROPIEDADES IMPORTANTES**  
**14 Cortes de Vacío HCT Mayna-70/ONO-30**

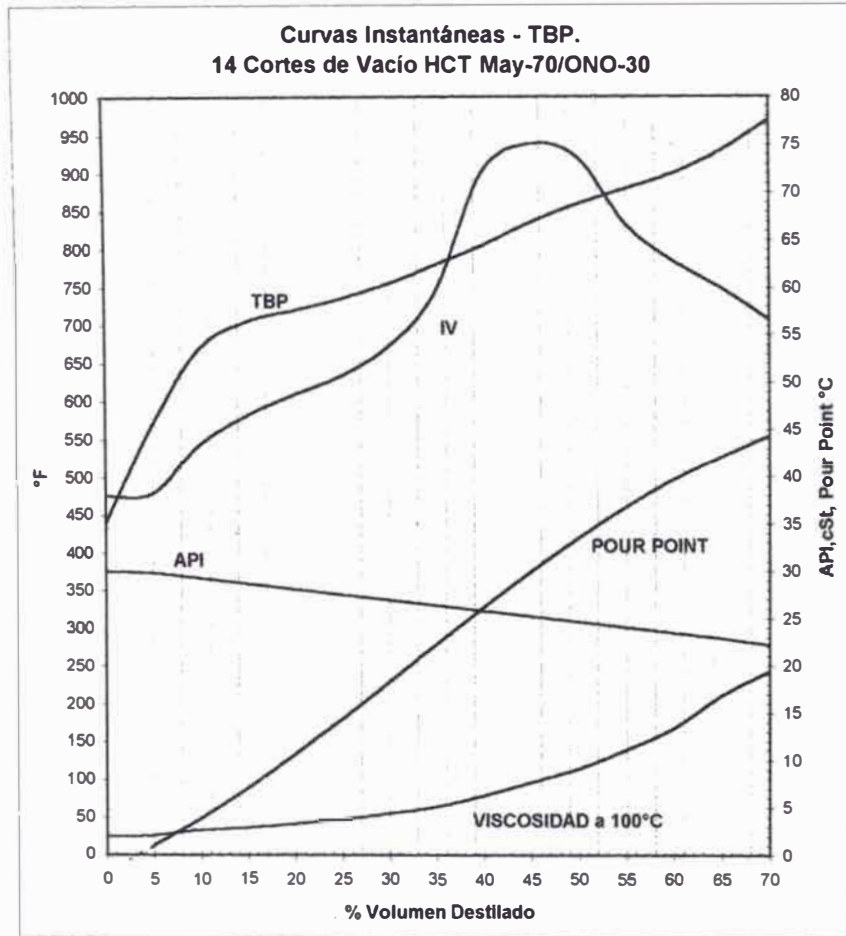


Figura A

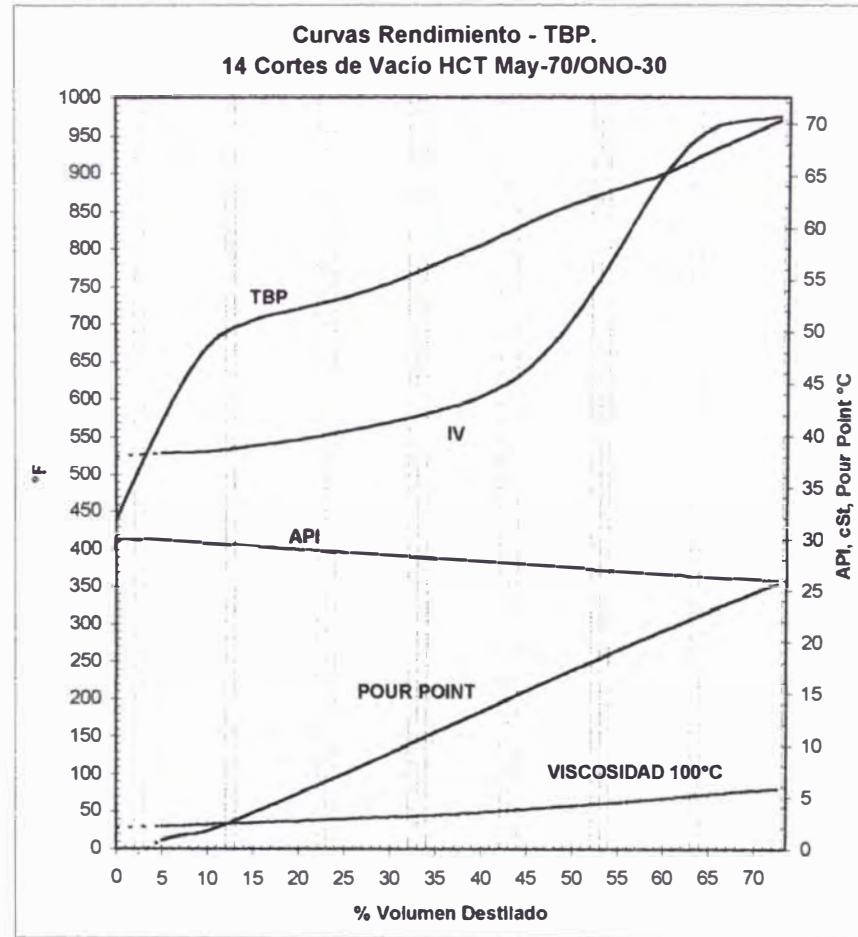


Figura B

ANEXO N°20-J:  
**RELACIÓN ENTRE LA GRAVEDAD API Y ALGUNAS PROPIEDADES INSTANTÁNEAS**  
 Cortes de Vacío HCT Mayna-70/ONO-30

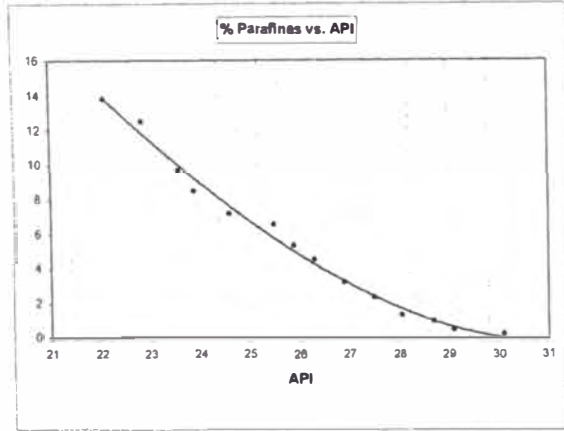


Figura A

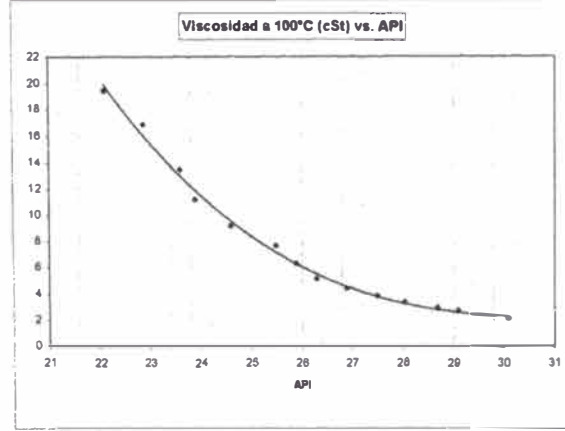


Figura B

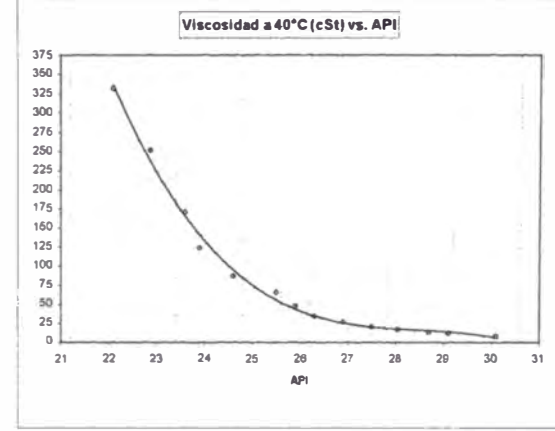


Figura C

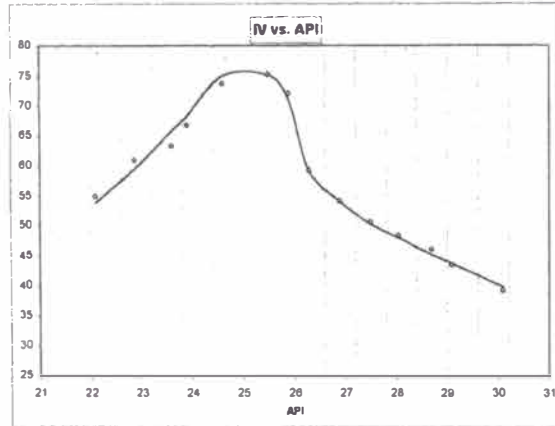


Figura D

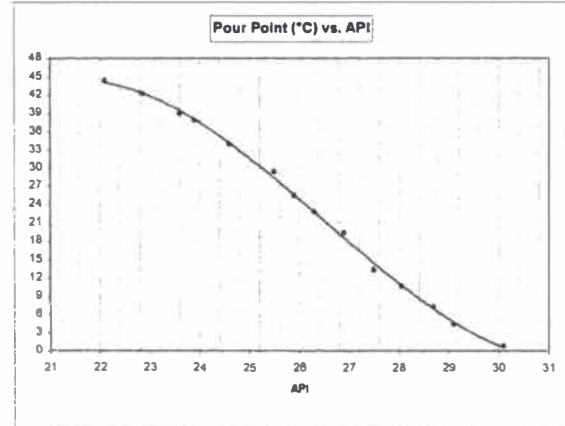


Figura E

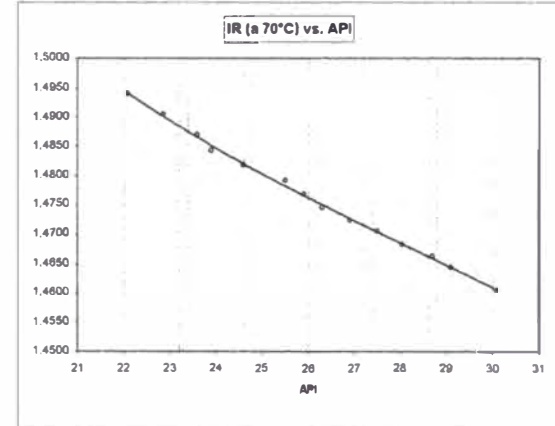


Figura F

**ANEXO N°21:  
PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO PARA LA PREDICCIÓN DE VISCOSIDADES  
DE DESTILADOS A PARTIR DE DATOS DE ESPECIFICACIÓN DE BASES  
LUBRICANTES**

Twu y Bulls han evaluado el modelo para destilados provenientes de cuatro crudos distintos. Para ello se han asimilado las constantes de las correlaciones correspondientes al crudo Arabian Light puesto que las viscosidades (a 100°F y 210°F) de los destilados HCT Mayna-70/ONO-30 están en los rangos establecidos para dicho crudo, que además son los rangos más amplios y que previenen el incremento de la viscosidad debido al desparafinado.

El procedimiento sólo tienen por objetivo cuantificar en forma grosera, las variaciones en la viscosidad descritas. A continuación se muestra los pasos seguidos para el **cálculo de las viscosidades** que debieran tener los destilados antes de ser refinados:

1. **Datos de entrada**, Refinado Desparafinado (Base Lubricante):

$V_{100F}$  = Viscosidad a 100°F, [cSt]

$V_{210F}$  = Viscosidad a 210°F, [cSt]

$T_D$  = Pour Point, [°F]

Nota: Se considera  $V_{100F} = V_{40C} \cdot 1.05977$

$$V_{210F} \cong V_{100C}$$



2. Cálculo de la constante característica del Refinado Desparafinado, nD:

$$nD = \frac{\ln ( V_{100F} / 2.00988 )}{\ln ( V_{210F} + 7.55405 \cdot V_{210F}^{-8.66202} )} - 1$$

3. Cálculo de la constante característica del Aceite Parafinoso, nW:

$$nW = 0.721856 - 0.266689 \cdot ( 1 - ( nD - 0.772323 \cdot (1 - 0.000167272 \cdot T_D) + 0.354032 ) / 0.354032 )$$

4. Cálculo de la pendiente que relaciona las constantes características de los aceites parafinosos y desparafinados, m:

$$m = 0.852338 + 23.2555 \cdot ( \ln ( 1 + nD ) - \ln ( 1 + nW ) )$$

5. Cálculo de las viscosidades del REFINADO PARAFINOSO.

Por el método de Newton se encuentra la viscosidad a 210°F ( $V_2 = V_{WR210F}$ ) de la ecuación siguiente:

$$m - \{ \ln ( \ln [ 2.00988 \cdot ( V_{210F} + 7.55405 \cdot V_{210F}^{-8.66202} )^{1+nW} ] - \ln(2.00988) ) - \ln(\ln(V_{100F}) - \ln(2.19724)) \} / \{ \ln(\ln(V_2 + 7.55405 \cdot V_2^{-8.66202})) - \ln(\ln(V_{210F} + 7.55405 \cdot V_{210F}^{-8.66202})) \} = 0$$

con el resultado de  $V_{WR210F}$  se calcula la viscosidad a 100°F ( $V_1 = V_{WR100F}$ ):

$$V_1 = 2.00988 \cdot ( V_2 + 7.55405 \cdot V_2^{-8.66202} )^{1+nW}$$

6. Para el caso del cálculo de las viscosidades del DESTILADO PARAFINOSO se realizan los pasos del (1) al (4), pero con:  $nW = 0.721856$ .

La viscosidad a 210°F, ( $V_2 = V_{Wd210F}$ ), y la viscosidad a 100°F, ( $V_1 = V_{Wd100F}$ ), se calcula de la misma manera que en el paso (5).

*Nota.- La Metodología de los Tesistas para el Tratamiento con Solventes establece primero la desaromatización y luego el desparafinado, por esa razón el procedimiento de cálculo recién mostrado considera parafinosos tanto al destilado como al refinado desaromatizado.*

En el Cuadro A se muestran tres bases lubricantes parafínicas que se desean obtener<sup>1</sup> y los parámetros de entrada<sup>2</sup> del procedimiento de cálculo descrito:

**Cuadro A:  
PARÁMETROS DE ENTRADA DEL PROCEDIMIENTO DE  
CÁLCULO**

Propiedad	Base Lube 1 / HVI 55	Base Lube 2 / HVI 95	Base Lube 3 / HVI 160S
IV	95	95	95
$\mu_{100C}$ , cSt	3.9	7.05	11.25
Pour P., °C	-9	-9	-9

<sup>1</sup> La 4ª base lubricante es la base DAO. La severidad en la extracción del aceite desasfaltado determinará la viscosidad del mismo.

<sup>2</sup> Shell, (Ref.46); Mobil, (Ref.34)

ANEXO N°22:

**ACUMULACIÓN CRUDO REDUCIDO MAYNA-70/ONO-30. DATOS COMPLETOS DESTILACIÓN HEMPEL  
ATAPU: OBTENCIÓN DE DESTILADOS LUBRICANTES Y ACEITE DESASFALTADO**

API: ONO 35.7 MAYNA 26.5 API ONO 32.5 MAYNA 28.2

FECHA	PRUEBA	Crudo				Volumen de Destilado, ml								% Destilado en Vol.	Crudo Reducido				
		Peso gr.	API	Sp.Gr.	PFE (°F)	Hasta 300°F	De 300 a 350°F	De 350 a 400°F	De 400 a 450°F	De 450 a 500°F	De 500 a 550°F	De 550 a PFE	API		Sp.Gr.	Peso gr.	% C.Reduc. en Vol.	% Perdida en Vol.	% Rendimiento C.Reducido en masa
20-Jul-98	10	351,3	29,8	0,8783	562	48	60	72	86	111	136	164	41,0	20,0	0,9340	216,6	58,0	1,0	61,7%
21-Jul-98	15	351,8	29,4	0,8794	588	50	58	73	85	110	129	158	39,5	20,2	0,9328	222,6	59,7	0,8	63,3%
23-Jul-98	20	351,6	29,5	0,8789	567	46	59	72	86	109	138	164	41,0	19,9	0,9346	216,0	57,8	1,2	61,4%
23-Jul-98	21	351,3	29,6	0,8783	565	51	62	78	92	116	143	166	41,5	20,0	0,9340	215,8	57,8	0,7	61,5%
23-Jul-98	22	351,8	29,4	0,8794	561	47	59	74	88	111	138	164	41,0	20,0	0,9340	218,0	58,4	0,6	62,0%
24-Jul-98	23	351,6	29,5	0,8789	596	44	56	68	83	103	128	164	41,0	20,1	0,9334	217,6	58,3	0,7	61,8%
24-Jul-98	24	352,6	29,0	0,8816	577	43	54	70	82	105	132	166	41,5	19,9	0,9346	214,9	57,5	1,0	60,8%
31-Jul-98	25	353,5	28,6	0,8838	590	40	47	87	77	97	124	165	41,3	19,8	0,9352	218,0	58,3	0,5	61,7%
04-Ago-98	30	352,9	28,9	0,8822	582	44	56	87	82	105	129	164	41,0	20,4	0,9315	217,6	58,4	0,6	61,7%
11-Ago-98	35	354,2	28,3	0,8855	532	38	50	64	83	108	147	148	36,8	20,4	0,9315	231,7	62,2	1,1	65,4%
12-Ago-98	36	354,2	28,3	0,8855	523	38	50	67	84	119	148	148	37,0	20,3	0,9321	231,4	62,1	0,9	65,3%
12-Ago-98	37	354,2	28,3	0,8855	541	43	50	64	84	111	149	149	37,3	20,2	0,9331	230,3	61,7	1,0	65,0%
12-Ago-98	38	354,4	28,2	0,8860	516	44	53	68	88	114	149	148	37,3	20,3	0,9321	229,8	61,6	1,1	64,8%
13-Ago-98	39	354,0	28,4	0,8849	506	44	57	75	98	126	148	148	37,0	20,3	0,9325	231,2	62,0	1,0	65,3%
13-Ago-98	40	353,8	28,5	0,8844	520	54	72	94	121	150	150	150	37,5	20,1	0,9334	228,6	61,2	1,3	64,6%
13-Ago-98	41	354,8	26,0	0,8871	528	40	50	66	83	102	148	148	37,0	20,0	0,9340	232,1	62,1	0,9	65,4%
28-Ago-98	42	354,4	28,2	0,8860	497	45	58	72	94	145	145	145	36,3	20,2	0,9328	232,4	62,3	1,5	65,6%
28-Ago-98	43	354,0	28,4	0,8849	490	47	62	78	102	148,5	148,5	148,5	37,1	20,3	0,9321	230,9	61,9	0,9	65,2%
28-Ago-98	44	353,8	28,5	0,8844	476	51	63	80	107	147	147	147	38,8	20,3	0,9321	230,9	61,9	0,9	65,2%
28-Ago-98	45	354,6	28,1	0,8866	477	47	60	72	102	125	148	148	37,0	20,1	0,9334	234,5	62,8	0,9	65,3%
28-Ago-98	46	354,4	28,2	0,8860	497	47	72	99	104	148,5	148,5	148,5	37,1	19,9	0,9346	231,6	62,0	0,9	65,3%
28-Ago-98	47	355,1	27,9	0,8877	483	47	62	79	104	149	149	149	37,3	19,8	0,9352	230,7	61,7	0,8	64,9%
28-Ago-98	48	354,4	28,2	0,8860	498	45	56	71	94	146	146	146	36,5	20,2	0,9328	231,5	62,0	0,5	65,5%
28-Ago-98	49	354,3	28,3	0,8858	510	50	66	80	105	143	151	151	37,8	20,1	0,9334	228,9	61,3	1,2	64,6%
28-Ago-98	50	354,2	28,3	0,8855	510	46	62	74	98	132	150	150	37,5	20,1	0,9334	230,3	61,8	0,6	65,1%
28-Ago-98	51	354,0	28,4	0,8849	504	54	78	84	108	142	149	149	37,3	20,5	0,9309	231,0	61,9	0,8	65,3%
28-Ago-98	52	354,9	28,0	0,8871	532	46	60	69	91	118	153	153	38,3	19,5	0,9371	230,5	61,7	0,6	65,1%
28-Ago-98	53	354,0	28,4	0,8849	531	47	71	93	122	151	151	151	37,8	20,0	0,9340	230,5	61,7	0,6	65,1%
03-Sep-98	54	354,0	28,4	0,8849	505	52	62	78	108	140	150	150	37,5	20,1	0,9334	229,3	61,3	1,2	64,8%
03-Sep-98	55	354,0	28,4	0,8849	521	50	64	80	104	134	148	148	37,0	20,1	0,9334	229,1	61,4	0,8	64,7%
03-Sep-98	56	354,0	28,4	0,8849	540	56	64	94	108	150	151	151	37,5	19,9	0,9346	229,3	61,3	1,2	64,8%
03-Sep-98	57	354,2	28,3	0,8855	567	36	52	60	78	104	134	134	38,0	20,1	0,9334	229,1	61,4	0,8	64,7%
03-Sep-98	58	355,3	27,8	0,8883	570	34	47	59	74	98	127	150	37,5	19,8	0,9352	230,7	61,7	0,8	64,9%
03-Sep-98	59	354,4	28,2	0,8860	564	38	48	64	80	104	134	148	37,0	20,1	0,9334	233,3	62,5	0,5	65,8%
04-Sep-98	60	352,4	28,1	0,8866	576	37	49	64	79	105	130	150	37,5	19,9	0,9346	230,4	61,6	0,9	65,4%
04-Sep-98	61	354,0	28,4	0,8849	566	40	50	88	82	106	130	149	37,3	20,3	0,9321	231,3	62,0	0,7	65,3%
04-Sep-98	62	353,5	28,6	0,8838	570	40	54	87	80	107	131	150	37,5	20,2	0,9328	231,5	62,0	0,5	65,5%
04-Sep-98	63	355,3	27,7	0,8888	570	36	48	60	76	100	130	151	37,8	19,7	0,9358	229,4	61,3	1,0	64,6%
04-Sep-98	64	354,2	28,3	0,8855	588	38	52	68	79	103	134	151	37,8	20,1	0,9334	229,7	61,5	0,7	64,9%
04-Sep-98	65	354,2	28,3	0,8855	570	36	51	80	105	133	151	151	37,8	19,9	0,9346	229,7	61,4	0,8	64,9%
05-Sep-98	66	354,4	29,3	0,8800	568	37	51	84	81	108	140	150	37,5	20,1	0,9334	233,8	62,6	0,2	66,0%
05-Sep-98	67	354,2	28,3	0,8855	572	37	51	85	78	104	131	149	37,3	20,0	0,9340	231,6	61,9	0,3	65,6%
05-Sep-98	68	353,3	27,8	0,8883	586	37	52	62	64	107	136	151	37,8	19,8	0,9352	231,6	61,9	0,3	65,6%
05-Sep-98	69	354,6	28,1	0,8866	568	38	52	64	81	104	131	150	37,5	20,2	0,9328	229,4	61,5	1,0	64,7%
05-Sep-98	70	354,0	28,4	0,8849	572	39	53	87	79	102	131	152	38,0	20,2	0,9331	228,7	61,3	0,7	64,6%
05-Sep-98	71	354,4	28,2	0,8860	584	37	52	63	82	107	137	151	37,8	20,0	0,9340	230,5	61,7	0,6	65,0%
05-Sep-98	72	354,2	28,3	0,8855	589	34	49	62	79	102	130	150	37,5	20,2	0,9328	231,5	62,0	0,5	65,4%

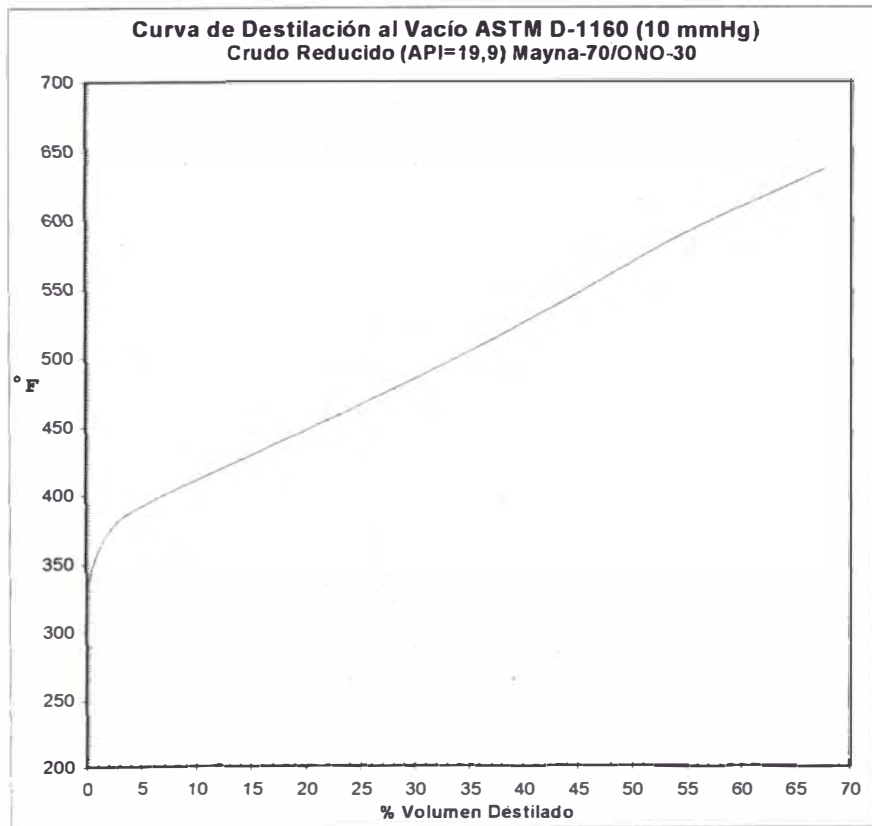
FECHA	PRUEBA	Crudo			Volumen de Destilado, ml									Crudo Reducido					
		Peso gr.	API	Sp.Gr.	PFE (°F)	Hasta 300°F	De 300 a 350°F	De 350 a 400°F	De 400 a 450°F	De 450 a 500°F	De 500 a 550°F	De 550 a PFE	% Destilado en Vol.	API	Sp.Gr.	Peso gr.	% C.Reduc. en Vol.	% Perdida en Vol.	% Rendimiento C.Reducido en masa
05-Sep-98	73	354,6	28,1	0,8866		35	50	63	79	102	150	37,5	19,8	0,9352	229,8	61,4	1,1	64,8%	
05-Sep-98	74	354,4	28,2	0,8860		41	51	74	88	109	149	37,3	20,1	0,9334	231,5	62,0	0,7	65,3%	
06-Sep-98	75	355,3	27,8	0,8883		32	43	60	74	94	148	37,0							
06-Sep-98	76	354,0	28,4	0,8849		37	52	72	88		151	37,8	20,3	0,9321	230,6	61,8	0,4	65,1%	
06-Sep-98	77	353,5	28,6	0,8838	536	38	51	64	91	111	150	37,5	20,2	0,9326	230,0	61,8	0,9	65,1%	
06-Sep-98	78	354,8	28,1	0,8868	548	38	49	63	82	107	150	37,5	20,2	0,9328	232,2	62,2	0,3	65,5%	
06-Sep-98	79	353,7	28,5	0,8844	567	34	48	62	78	104	132	38,0	20,2	0,9328	229,5	61,5	0,5	64,9%	
06-Sep-98	80	355,8	27,6	0,8894	546	34	49	61	79	104	152	38,0	19,8	0,9352	229,6	61,4	0,6	64,5%	
07-Sep-98	81	354,8	28,0	0,8871	567	34	48	63	78	104	144	38,0	20,2	0,9328					
07-Sep-98	82	354,2	28,3	0,8855	572	35	52	66	88	109	142	37,5	20,0	0,9340	228,9	61,3	1,2	64,6%	
07-Sep-98	83	353,3	28,7	0,8833	568	38	48	64	81	107	136	38,3	19,8	0,9352	225,1	60,2	1,8	63,7%	
07-Sep-98	84	353,7	28,5	0,8844	560	38	52	67	84	108	138	38,3	20,2	0,9328	228,0	61,1	0,8	64,5%	
07-Sep-98	85	354,4	28,2	0,8860	558	38	50	63	79	102	140	37,8	20,1	0,9334	230,2	61,7	0,8	65,0%	
07-Sep-98	86	355,3	27,8	0,8883	550	38	50	61	79	104	148	38,0	19,8	0,9352	229,0	61,2	0,8	64,5%	
08-Sep-98	87	354,8	28,1	0,8886	545	36	50	62	79	108	150	37,5	19,8	0,9352	233,2	62,3	0,2	65,8%	
08-Sep-98	88	354,2	28,3	0,8855	554	42	53	67	83	110	149	37,3	20,2	0,9328					
08-Sep-98	89	353,5	28,6	0,8838	550	36	52	65	86		150	37,5	20,0	0,9340	228,0	61,0	1,5	64,5%	
08-Sep-98	90	354,2	28,3	0,8855	560	36	51	65	82	105	135	37,5	20,0	0,9340	232,5	62,2	0,3	65,6%	
08-Sep-98	91	355,3	27,8	0,8883	560	37	49	63	80	102	132	37,8	19,8	0,9352	229,2	61,3	1,0	64,5%	
08-Sep-98	92	354,4	28,2	0,8860	565	38	49	63	79	103	132	37,8	19,8	0,9352	227,0	60,7	1,6	64,1%	
09-Sep-98	93	352,9	28,9	0,8822	567	32	51	62	80	103	133	37,8	19,9	0,9346	225,6	60,3	1,9	63,9%	
09-Sep-98	94	353,3	28,7	0,8833	577	36	52	67	81	102	130	37,8	20,2	0,9328	229,0	61,4	0,9	64,8%	
09-Sep-98	95	355,8	27,6	0,8894	582	33	43	57	73	94	123	38,3	19,6	0,9365	229,3	61,2	0,5	64,4%	
09-Sep-98	96	354,4	28,2	0,8860	580	33	46	63	75	97	125	37,5	20,0	0,9340	229,6	61,5	1,0	64,8%	
09-Sep-98	97	354,9	28,0	0,8871	590	33	46	60	86	124	106	41,5	19,4	0,9377	215,1	57,3	1,2	60,6%	
09-Sep-98	98	354,4	28,2	0,8860	572	34	48	61	78	99	128	37,8	20,0	0,9340	228,0	61,3	1,0	64,6%	
10-Sep-98	99	354,8	28,0	0,8871	572	35	50	60	78	99	129	37,5	20,0	0,9340	230,5	61,7	0,8	65,0%	
10-Sep-98	100	354,4	28,2	0,8860	562	36	53	67	83	108	140	37,5	20,0	0,9340	231,3	61,9	0,6	65,3%	
10-Sep-98	101	355,5	27,7	0,8888	586	34	46	64	78	98	128	38,8	19,8	0,9352	226,5	60,5	0,7	63,7%	
10-Sep-98	102	354,2	28,3	0,8855	578	38	49	64	82	101	128	37,8	20,1	0,9334	229,1	61,4	0,9	64,7%	
10-Sep-98	103	354,2	28,3	0,8855	578	36	49	63	81	102	129	37,8	20,1	0,9334	228,9	61,3	0,9	64,6%	
11-Sep-98	104	354,0	28,4	0,8849	570	35	50	64	86	108	133	37,5	20,1	0,9334	231,0	61,9	0,6	65,3%	
11-Sep-98	105	354,6	28,1	0,8866	576	34	48	60	78	99	128	37,8	20,0	0,9340	230,1	61,8	0,7	64,9%	
11-Sep-98	106	355,3	27,8	0,8883	583	32	44	57	72	93	121	37,5	19,9	0,9346	228,4	61,1	1,4	64,3%	
11-Sep-98	107	354,8	28,0	0,8871	584	34	44	55	75	95	123	38,3	19,8	0,9352	226,0	60,4	1,3	63,7%	
11-Sep-98	108	354,8	28,0	0,8871	572	32	45	58	75	98	125	37,5	20,2	0,9328	232,2	62,2	0,3	65,4%	
11-Sep-98	109	354,8	28,0	0,8871	576	36	48	64	82	101	130	38,0	20,0	0,9340	229,3	61,4	0,6	64,6%	
12-Sep-98	110	354,4	28,2	0,8860	576	35	48	62	80	102	128	38,0	20,0	0,9340	229,5	61,4	0,6	64,8%	
12-Sep-98	111	354,0	28,4	0,8849	568	36	48	62	80	103	132	37,8	20,2	0,9328	227,2	60,9	1,4	64,2%	
12-Sep-98	112	355,3	27,8	0,8883	580	34	48	58	76	98	124	37,5	19,6	0,9352	227,9	60,9	1,6	64,1%	
12-Sep-98	113	355,1	27,9	0,8877	576	33	45	60	77	103	126	38,0	19,9	0,9346	228,7	61,2	0,8	64,4%	
12-Sep-98	114	355,3	27,8	0,8883	569	32	46	60	77	98	126	37,5	20,1	0,9334	229,5	61,5	1,0	64,6%	
ESTADÍSTICAS																			
Nº Datos	89	89	89	82	85	82	85	85	86	79	77	67	88	88	88	79	79	78	78
Promedio	354,1	28,3	0,8854	556	39	52	66	84	84	107	136	38,0	20,0	0,9338	228,4	61,1	0,8	64,5%	
Desviación Estándar	0,9	0,4	0,0024	28	5,4	5,8	5,9	8,5	10,1	9,2	5,0	1,2	0,2	0,0012	4,7	1,3	0,4	1,2%	
Varianza	0,9	0,2	0,0000	764	29	34	35	72	102	85	25	1,4	0,0	0,0000	21,7	1,8	0,1	0,0%	
Intervalo de la media	Confianza 95%																		
MINIMO	353,9	28,2	0,8848	549	38	51	65	82	104	134	151	37,7	20,0	0,9335	227,2	60,8	0,8	64,2%	
MÁXIMO	354,4	28,4	0,8890	583	40	54	67	86	110	139	154	38,2	20,1	0,9341	229,6	61,5	0,9	64,6%	

**ANEXO N°23:  
DATOS COMPLEMENTARIOS DEL CRUDO REDUCIDO ACUMULADO PARA  
LA ETAPA DE OBTENCIÓN DE DESTILADOS LUBRICANTES Y ACEITE  
DESASFALTADO**

**1. DESTILACIÓN AL VACÍO ASTM D-1160**

**CUADRO A  
Temperaturas de Destilación ASTM D-1160 - TBP**

% Volumen	ASTM 10 mmHg °C	TBP 10 mmHg °C	TBP 760 mmHg °F
0	169	141	533,5
10	211	199	659,5
30	253	245	756,6
50	289	289	847,5
70	341	341	952,3



**Figura A**

2. CURVA TBP

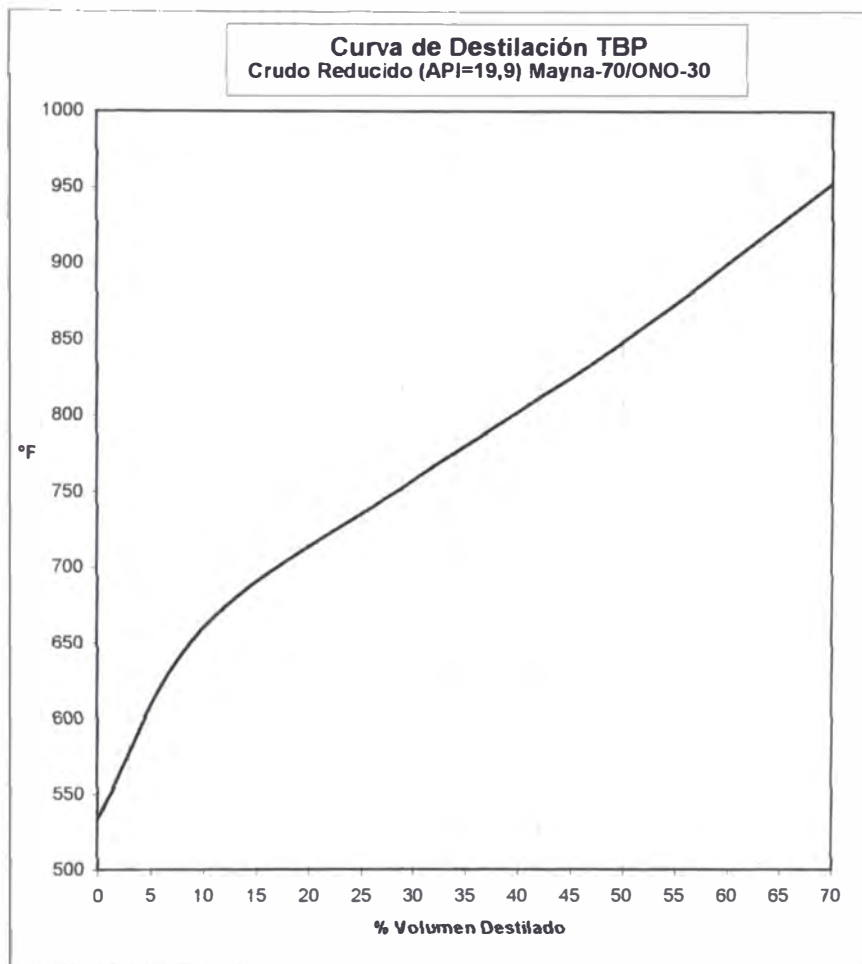


Figura B

3. COMPARACIÓN ENTRE CRUDOS REDUCIDOS MAYNA-70/ONO-30 DE DISTINTAS RESERVAS

**Cuadro B:**  
**VARIACIÓN DEL CRUDO REDUCIDO POR DISTINTAS ACUMULACIONES**  
 Etapas de Acumulación: 1. Determinación de Rangos y 2. Obtención de Destilados y DAO para Refinación

% Vol. Destilado (Con respecto al Crudo Reducido)	T(°F) Etapa: <b>Determinación de Rangos</b>	T(°F) Etapa: <b>Obtención de Destilados y DAO</b>	Desv. (%)
PIE	439	534	21.6
10	666	660	0.9
30	751	757	0.8
50	855	848	0.8
70	949	952	0.3
Promedio de la Desviación entre 10 y 70% Vol. Dest.			0.7

**ANEXO N°24:  
ESTADÍSTICA DE LAS DESTILACIONES ASTM D-1160 REALIZADAS AL  
CRUDO REDUCIDO ACUMULADO PARA LA ETAPA DE OBTENCIÓN DE  
DESTILADOS LUBRICANTES Y ACEITE DESASFALTADO**

**CUADRO A:  
DESTILACIONES AL VACÍO ASTM D-1160  
Etapa: Obtención de Destilados Lubricantes y DAO. Datos de Laboratorio  
Presión = 10 mmHg  
Temperatura en °F**

% Volumen	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
0,0							
2,5	380	350	370		376	380	376
7,5	404	377	398	418	403	406	400
17,5	453	426	435	457	443	440	438
24,5	484	454	460	483	458	470	462
31,5	518	481	488	501	498		489
39,5	554	512	518	544	529	523	520
47,5	594	548	555	580	564	563	552
55,0	624	583	588	610	598	596	584
67,5	638			630	604	610	630

% Volumen	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14
0,0			326	318		340	336
2,5	375	375	382	374	380	387	379
7,5	398	400	408	399	401	415	404
17,5	436	436	436	436	439	450	444
24,5	460	460		460		475	468
31,5	488	490		488	496	490	496
39,5	520	520	511	521	528	535	524
47,5	554	553	557	560	560	567	543
55,0	586	586	586	591	596	600	
67,5	626	630	636	640	636	635	

% Volumen	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21
0,0	301	334	311		333	339	339
2,5	376	374	379		378	389	380
7,5	401	400	405		404	410	404
17,5	439	436	439	439	439	446	440
24,5	460	462	466	465	466	472	466
31,5	486	490	492	488	492	497	494
39,5	520	524	524	520	524	530	526
47,5	552	555	557	554	558	561	560
55,0	584	587	586	587	591	596	596
67,5	624	642	596	648	638	635	644

% Volumen	T22	T23	T24	T25	T26	T27	T28	T29
0,0	343	350		333	334		340	340
2,5	392	390	390	374	382	372		378
7,5	414	414	414	397	400	394	399	404
17,5	452	449	456	437	438	430	433	435
24,5	474	474	484	464	464	454	459	465
31,5	496	501	504	495	493	483	485	493
39,5	541	535	551	531	527	515	517	523
47,5	574	572	590	568	563	548	550	559
55,0	598	612	606	604	601	581	582	592
67,5	633	636	644	650	630	635	633	

% Volumen	T30	T31	T32	T33	T34	T35	T36	T37
0,0	339	342		346	340	330	336	346
2,5	376	384	382	389	383	374	379	386
7,5	399	409	406	412	407	401	404	410
17,5	434	444	442	448	442	436	439	446
24,5		469	467	473	466	460	464	471
31,5	486	495	494	499	492	487	490	449
39,5	517	528	525	531	522	520	523	530
47,5	551	563	560	566	555	555	558	565
55,0	585	597	592	600	589	590	590	600
67,5	639	641	644	640	633	643	640	646

**CUADRO B:**

**DESTILACIÓN AL VACÍO**

Cuadro Resumen - ASTM D1160. P= 10 mmHg

Nivel de significancia = 0,05

% Volumen	n (Datos)	Promedio, °F	Desv.Est.	Varianza	Rango del Promedio, °F	
					Mínimo	Máximo
PIE	27	<b>335</b>	11,4	130,2	<b>329</b>	<b>340</b>
2,5	34	<b>379</b>	7,7	58,7	<b>376</b>	<b>382</b>
7,5	35	<b>404</b>	7,4	55,1	<b>401</b>	<b>407</b>
17,5	36	<b>441</b>	7,0	48,7	<b>438</b>	<b>443</b>
24,5	33	<b>466</b>	7,7	58,9	<b>463</b>	<b>470</b>
31,5	34	<b>492</b>	10,1	101,4	<b>487</b>	<b>496</b>
39,5	36	<b>526</b>	9,6	91,4	<b>522</b>	<b>530</b>
47,5	36	<b>561</b>	10,7	114,8	<b>556</b>	<b>565</b>
55,0	35	<b>594</b>	9,4	89,2	<b>590</b>	<b>597</b>
67,5	34	<b>634</b>	11,8	138,1	<b>629</b>	<b>639</b>

**CUADRO C:**

**Promedio Temperaturas Destilación al Vacío ASTM D-1160**

Presión = 10 mmHg

Promedios que incluyen eliminación de datos por prueba 't'

% Volumen	ESTADÍSTICAS		
	Promedio	Desv.Est.	Varianza
0,0	<b>335,93</b>	4,3	18,1
2,5	<b>377,57</b>	2,8	7,9
7,5	<b>401,71</b>	2,6	6,9
17,5	<b>438,10</b>	2,0	4,2
24,5	<b>463,42</b>	2,8	7,8
31,5	<b>489,75</b>	2,8	7,6
39,5	<b>522,29</b>	2,1	4,2
47,5	<b>557,38</b>	2,4	6,0
55,0	<b>590,28</b>	3,8	14,1
67,5	<b>635,69</b>	3,8	14,2



## ANEXO N°25:

## NATURALEZA QUÍMICA DE LOS DESTILADOS ACUMULADOS. CUADRO RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO n.d.M

Destilación al Vacío ASTM D-1160 - Crudo Reducido (API=19,9) Mayna-70/ONO-30

CORTES	Sp.Gr (70°C)	Ind. Refrac. (70°C)	% Azufre (En Peso)	Peso Molecular	V	W	%CA	RA	%CR	RT	%CN	%CP	RN
Gas Oil	0,8479	1,4640	0,21	274	-0,01020	0,01544	<b>6,0</b>	0,2	53,2	2,1	<b>47,2</b>	<b>46,8</b>	1,9
Destilado 1	0,8590	1,4713	0,28	327	-0,00368	0,01849	<b>8,5</b>	0,3	48,6	2,4	<b>40,1</b>	<b>51,4</b>	2,1
Destilado 2	0,8705	1,4788	0,30	376	0,00303	0,02160	<b>11,0</b>	0,5	46,4	2,7	<b>35,4</b>	<b>53,6</b>	2,2
Destilado 3	0,8763	1,4849	0,32	453	0,01196	0,02066	<b>13,0</b>	0,7	40,4	2,8	<b>27,5</b>	<b>59,6</b>	2,1
Destilado 4	0,8888	1,4907	0,43	490	0,01351	0,02671	<b>13,0</b>	0,8	42,9	3,3	<b>29,9</b>	<b>57,1</b>	2,5

ANEXO N°26:

EFFECTO DE LA TEMPERATURA Y LA RELACIÓN SOLVENTE/CARGA SOBRE LOS RENDIMIENTOS EN VOLUMEN

Pruebas de Tendencia para Destilado N°1 y Destilado N°2

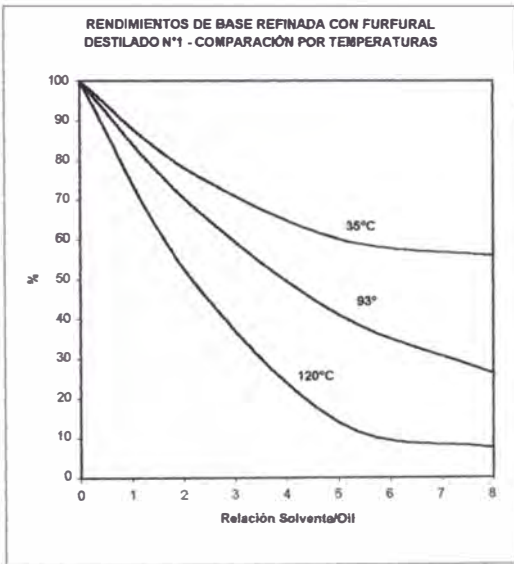


Figura A

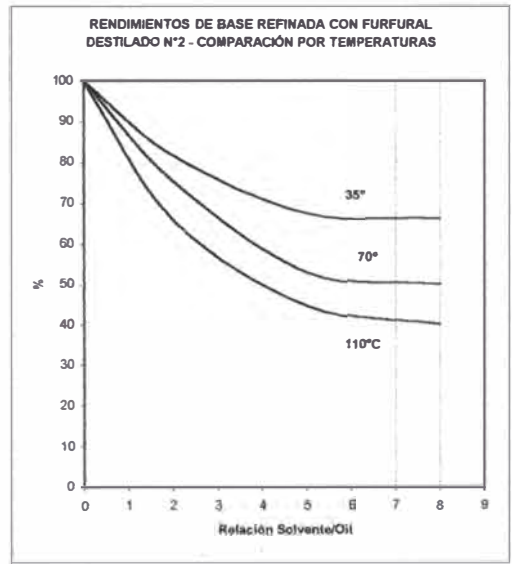


Figura C

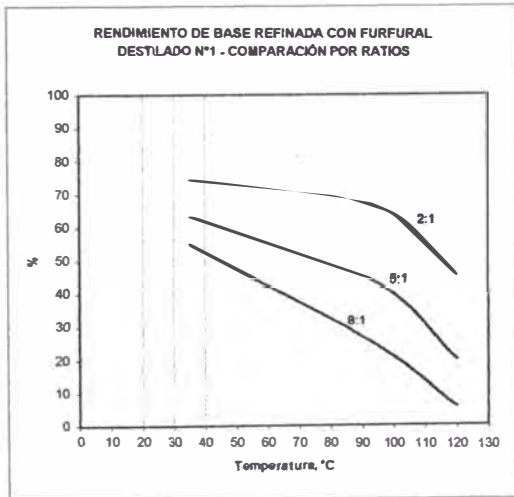


Figura B

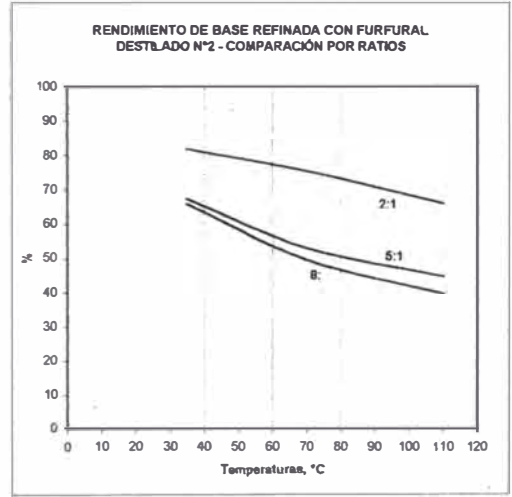


Figura D

**ANEXO N°27:  
INTERPOLACIÓN DE LAGRANGE<sup>‡</sup>**

Sean dados (n+1) puntos del plano a los cuales denominaremos  $(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$  el problema consiste en hallar un polinomio  $p(x)$  de grado  $n$ , el cual pase por todos los puntos dados.

Además, deseamos conocer en un punto  $x_a$  cualesquiera, distinto de los ya conocidos, el valor  $p(x_a)$  que admite el polinomio en dicho punto.

TEOREMA

Por (n+1) puntos del plano pasa un único polinomio  $p(x)$  de grado  $n$ , el cual se define como:

$$P(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n$$

Como dicho polinomio pasa por los puntos  $(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ , entonces debe cumplirse que:

$$P(x_0) = y_0$$

$$P(x_1) = y_1$$

$$\cdot \quad \cdot$$

$$\cdot \quad \cdot$$

$$\cdot \quad \cdot$$

$$p(x_n) = y_n$$

el polinomio interpolante estará determinado al determinar los coeficientes  $a_0, a_1, \dots, a_n$  de dicho polinomio. Para ello será suficiente resolver el sistema

---

<sup>‡</sup> Apaza, (Ref.8-Pag.51-56, Vol.2)

de (n+1) ecuaciones con (n+1) incognitas que se ha planteado.

POLINOMIO DE LAGRANGE

$$f(x) = \sum_{i=1}^n L_i(x)p(x_i)$$

Donde:

$L_i$  : polinomio de LAGRANGE

$Y_i$  : valores de la variable dependiente

$$L_i(x) = \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^n (x - x_j) / (x_i - x_j)$$

Esta interpolación esta incluida en un programa que ofrece la calculadora programable fx-880 de la marca CASIO.

ANEXO N°28:  
 RESULTADOS DEL CÁLCULO n.d.M POR CADA DESTILADO Y DAO SEGÚN ETAPA DE REFINACIÓN

NATURALEZA QUÍMICA DE LOS DESTILADOS ACUMULADOS DESAROMATIZADOS - n.d.M  
 Tratamiento con Furfural

CORTES	Sp.Gr (70°C)	Ind. Refrac. (70°C)	% Azufre (En Peso)	Peso Molecular	V	W	%CA	RA	%CR	RT	%CN	%CP	RN
Destilado 1	0,8354	1,4571	0,11	325,3	-0,01441	0,01061	<b>0,9</b>	0,0	43,3	2,0	<b>42,4</b>	<b>56,7</b>	2,0
Destilado 2	0,8473	1,4632	0,12	358,1	-0,01158	0,01577	<b>1,9</b>	0,1	44,0	2,3	<b>42,1</b>	<b>56,0</b>	2,3
Destilado 3	0,8585	1,4690	0,16	416,1	-0,00868	0,02047	<b>2,5</b>	0,1	43,0	2,7	<b>40,5</b>	<b>57,0</b>	2,6
DAO	0,8687	1,4801	0,19	656,5	0,00791	0,01842	<b>8,8</b>	0,7	31,2	3,2	<b>22,4</b>	<b>68,8</b>	2,5

NATURALEZA QUÍMICA DE LOS DESTILADOS ACUMULADOS DESPARAFINADOS - n.d.M  
 Tratamiento con MEK-TOL

CORTES	Sp.Gr (70°C)	Ind. Refrac. (70°C)	% Azufre (En Peso)	Peso Molecular	V	W	%CA	RA	%CR	RT	%CN	%CP	RN
Destilado 1	0,8375	1,4578	0,11	295,2	-0,01486	0,01198	<b>1,7</b>	0,1	47,9	2,0	<b>46,2</b>	<b>52,1</b>	2,0
Destilado 2	0,8479	1,4642	0,14	396,2	-0,00971	0,01521	<b>2,2</b>	0,1	40,4	2,4	<b>38,2</b>	<b>59,6</b>	2,3
Destilado 3	0,8619	1,4694	0,22	445,3	-0,01111	0,02343	<b>0,2</b>	0,0	43,3	3,0	<b>43,1</b>	<b>56,7</b>	3,0
DAO	0,8763	1,4839	0,35	721,9	0,00954	0,02177	<b>9,0</b>	0,8	31,7	3,7	<b>22,8</b>	<b>68,3</b>	2,9

NATURALEZA QUÍMICA DE LOS DESTILADOS ACUMULADOS DESPARAFINADOS y DECOLORADOS - n.d.M  
 Tratamiento con Tierra Fuller

CORTES	Sp.Gr (70°C)	Ind. Refrac. (70°C)	% Azufre (En Peso)	Peso Molecular	V	W	%CA	RA	%CR	RT	%CN	%CP	RN
Destilado 1	0,8333	1,4570	0,08	371	-0,01251	0,00858	<b>0,9</b>	0,0	37,4	2,0	<b>36,5</b>	<b>62,6</b>	2,0
Destilado 2	0,8473	1,4639	0,09	445	-0,00989	0,01500	<b>1,1</b>	0,1	37,2	2,5	<b>36,1</b>	<b>62,8</b>	2,4
Destilado 3	0,8579	1,4685	0,17	520	-0,00933	0,02047	<b>0,3</b>	0,0	37,5	3,0	<b>37,2</b>	<b>62,5</b>	3,0
DAO	0,8624	1,4785	0,32	820	0,01034	0,01389	<b>8,7</b>	0,9	23,8	3,0	<b>15,1</b>	<b>76,2</b>	2,1

## **ANEXO N°29:**

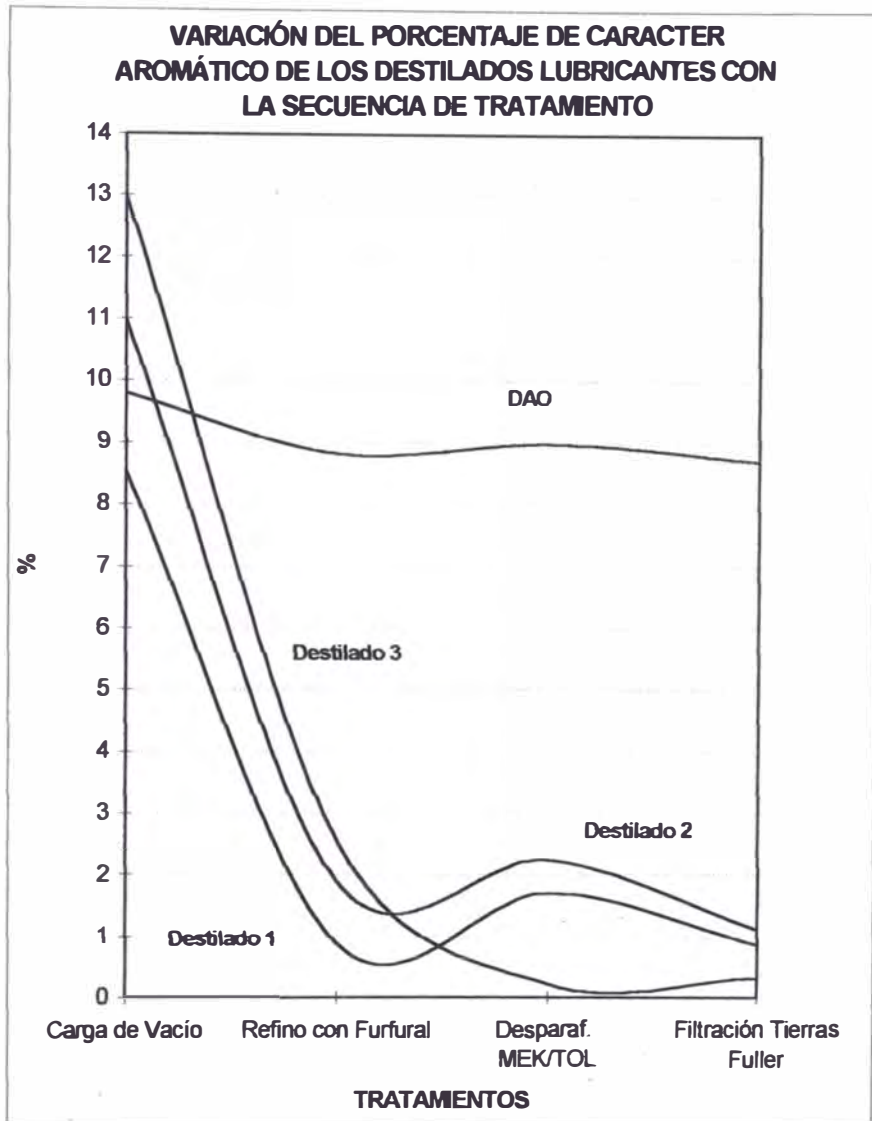
### **ANÁLISIS DE LA NATURALEZA QUÍMICA EN LA REFINACIÓN SELECTIVA**

Las Figuras N°A, N°B y N°C muestran, a través de curvas, la influencia de cada uno de los tratamientos sobre la composición química de las cuatro bases lubricantes. Es necesario remarcar que el análisis se sostiene en las tendencias que sigan dichas curvas, aún cuando exista un punto (destilado) que no la siga. Cabe recordar que la naturaleza química aquí mostrada se basa en un procedimiento de cálculo (n.d.M.) y como tal es susceptible de arrojar resultados de poca fiabilidad, por lo que es un cálculo referencial. Lo recomendable es disponer de equipos cromatográficos especializados que determinen con mucha mayor precisión la naturaleza química de una sustancia. Lamentablemente, el laboratorio de la Refinería carecía de una ventaja como esa.

#### **1. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Analizando simultáneamente las Figuras N°A, B y C se puede precisar que:

1. **Después del Desaromatizado.** Se observa un obvio descenso drástico del porcentaje aromático, un incremento relativo de la porción nafténica y una tendencia incierta en la variación de la proporción parafínica.



**Figura A**

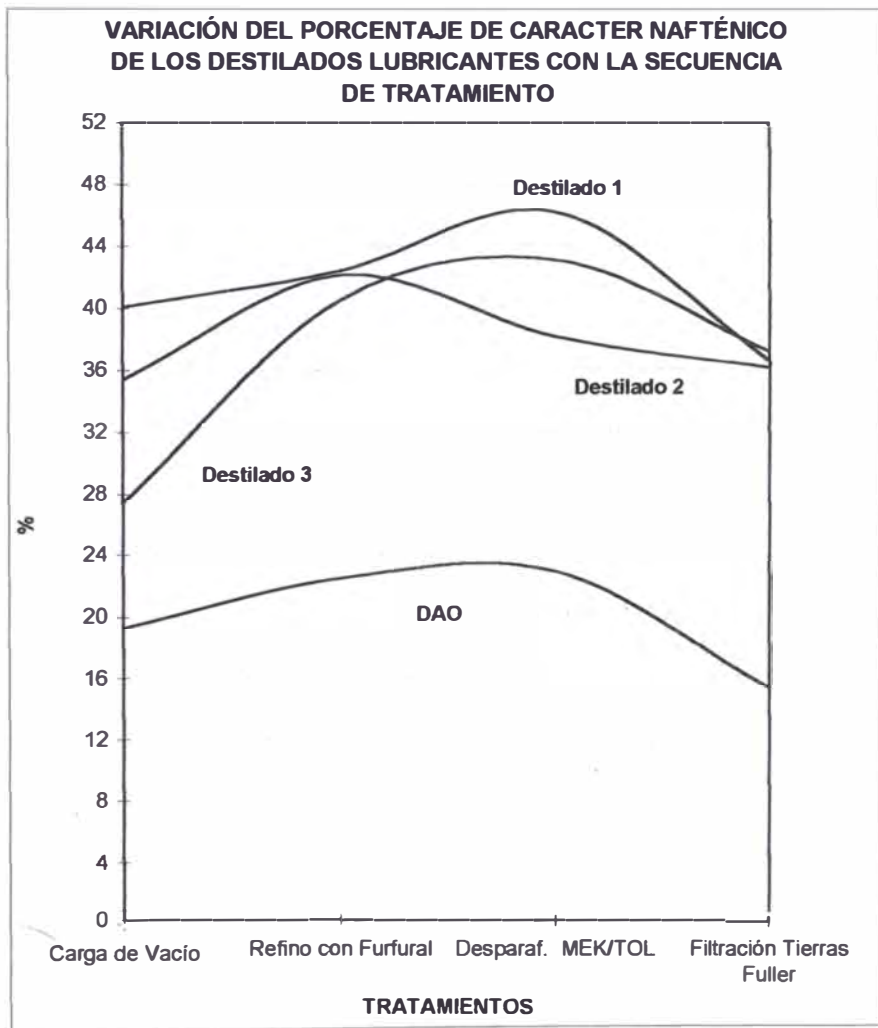
Esto puede tener la siguiente explicación: el extracto retirado en la refinación con Furfural estuvo asociado a componentes de naturaleza parafínica más que nafténica.

2. **Después del Desparafinado.** Se observa una tendencia general al incremento relativo de la naturaleza aromática y nafténica. Este incremento se debe a la presencia de sustancias indeseables, mayormente

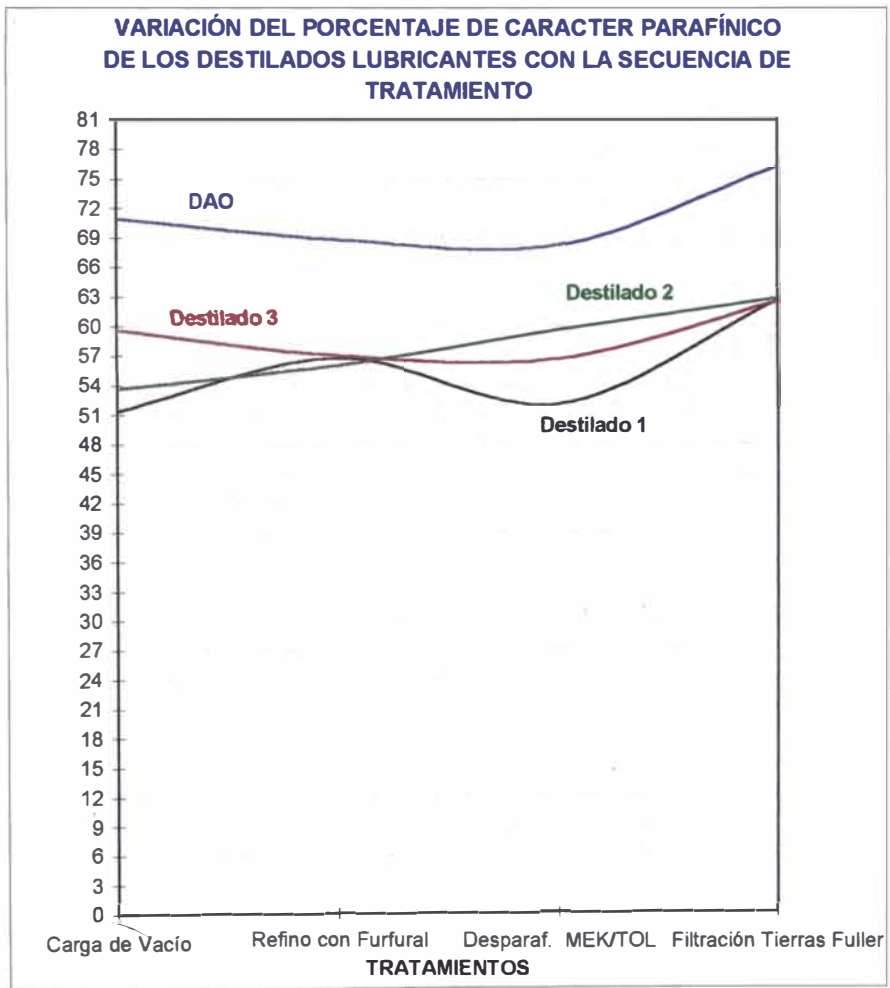
material oxidado y resinoso (extracto aromático y furfural remanente), y que originó el color oscuro en todos los destilados. También se aprecia una ligera tendencia general a la disminución del carácter parafínico, como consecuencia de la remoción de cera parafínica.

3. **Después del Decolorado.** Se aprecia una disminución notable en el carácter aromático y nafténico. Esto hace suponer que el material oxidado removido tiene dicha naturaleza química. Sin embargo, la porción aromática se reduce a valores porcentuales muy bajos, mientras que la nafténica lo hace manteniendo valores porcentuales medios e incluso semejantes a los que tenían antes de la refinación. La naturaleza parafínica se incrementa a consecuencia de la remoción del material indeseable.
  
4. Las bases N°1, N°2 y N°3 tienen muy similares los porcentajes correspondientes a su naturaleza nafténica, parafínica y aromática. La base DAO se distancia marcadamente, siendo la de mayor proporción parafínica y aromática entre todas.





**Figura B**



**Figura C**

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. American Petroleum Institute (ed.)  
**Technical Data Book**, New York, American Petroleum Institute, 1964. Vol.1, pp.s.d.
2. American Petroleum Institute (ed.)  
**Technical Data Book-Petroleum Refining**. New York. Refining Department, American Petroleum Institute, (4<sup>th</sup> Edition), 1983. Vol I. pp.s.d.
3. American Society for Testing Materials (ASTM), (ed.)  
**"Standard Test Method for calculation of carbon distribution and structural group analysis of Petroleum oils by the n-d-M Method"**, ASTM D3238 (95), Philadelphia, 1998 Annual book of ASTM standards, Vol.05.02. pp. 337-338.
4. American Society for Testing Materials (ASTM), (ed.)  
**"Standard Viscosity-Temperature Charts for Liquid Petroleum Products"**, ASTM D341(93), Philadelphia, 1998 Annual Book of ASTM Standards, Vol 05.02, pp. 156, 159.
5. American Society for Testing Materials (ASTM), (ed.)  
**"Standard Test Method for Distillation of Petroleum Products of Reduced Pressure"**, ASTM D1160 (95), Philadelphia 1998 Annual Book of ASTM Standards, Vol 05.02.pp. 401-418.
6. American Society for Testing Materials (ASTM), (ed.)  
**"Standard Practice for calculating Viscosity at 40**

- and 100°C",** ASTM D2270 (93), Philadelphia, 1998  
Annual Book of ASTM Standards, Vol 05.02, pp.746-751.
7. American Society for Testing Materials (ASTM), (ed.)  
**"Standard Test Method for calculation of viscosity-gravity constant (VGC) of Petroleum oils",** ASTM  
D2501 (91), Philadelphia, 1998 Annual Book of ASTM  
Standards, Vol 05.02, pp. 848-849.
8. Apaza, Pablo  
**Métodos Numéricos,** Lima, Ed. Gráfica Santa Ursula,  
(2da Ed.), 1989, pp. 140
9. Bertagnolio, M.  
**"Modernizing a lube plant",** Hydrocarbon Processing,  
Marzo, 1983. pp. 103-106.
10. Billon, Alain / Peries, Jean Pierre  
**"Ways for lube oil manufacturing",** France, Institute  
Francais du Pretole, Mayo, 1978. Pp. 41.
11. Bland, William F./ Davidson, Robert  
**Petroleum Processing Handbook,** New York, McGraw-Hill  
Book Company, 1967. pp.s.d.
12. Bloch, Heinz P. / Williams, John B.  
**"Synthetic lubricants measure up to claims",**  
Hydrocarbon Processing, Marzo, 1965. pp. 103-106.
13. Casio Computer Co., Ltd. (ed)  
**Manual del Propietario-Computadora Personal CASIO  
880P,** Japón, Casio Computer Co., Ltd. Pp 430.

14. Céspedes R., Luis  
**Reporte UDP de Ingeniería de Procesos**, Departamento Técnico, Refinería Talara, Junio, 1988. pp.s.d.
15. Day, David T.  
**A Handbook of Petroleum Industry**, Londres, Chapman & Hall Lmted., 1922. Vol I, pp.s.d.
16. Dunstan, A.E./ Nash, A.W./ Brooks, Benjamín T./ Tizard, Sir Henry (ed.)  
**The Science of Petroleum**, Londres, Oxford University Press, 1938. Tomo III, pp.s.d.
17. Ecopetrol  
**"Selección de Petróleos crudos para obtención de lubricantes y ceras"**, Boletín Técnico de Arpel, 6(1), Marzo, 1977. pp.14-19.
18. Fahim, M.A./ Shaban, H.I./Ijam, M.J.  
**"Best Mix for Lube Extraction"**, Hydrocarbon processing, Setiembre 1981. Pp. 155-157.
19. Fieser, Louis/ Fieser, Marie  
**Organic Chemistry**, USA D.C. Heath & Company, 1950 pp.s.d.
20. García, Gilberto.  
**Notas de clase. Curso: Lubricantes y Aceites Minerales**, Lima. 1997
21. Gary, James H. / Handwerk, Glenn E.  
**Refino de Petróleo, Tecnología y Economía**, Barcelona, Ed. Reverté S.A., 1980. pp 392.

22. Gil, Wilber  
**Programa de Evaluación de Cortes. Evaluación Equipo TBP**, Laboratorio Refinería Talara, PetroPerú S.A., Julio 1998.
23. Glasstone, Samuel (ed.)  
**Textbook of Physical Chemistry**, New York, Van Nostrand Company Inc, Tomo III, (Segunda Edición), 1946. pp.s.d.
24. Hanson, Carl  
**"Solvent Extraction. Theory, Equipment, Commercial Operations, and Economics"**, Chemical Engineering, Agosto, 1968. Pp. 76-98.
25. Hariu, Oscar H. / Sage, Russell C.  
**"Crude Split Figured by Computer"**, Hydrocarbón Processing, Abril, 1969. Pp. 143-148.
26. Jacob, Salomón M. / Quann, Richard J./ Sanchez, Eugene/ Wells, María E.  
**"Compositional modeling reduces crude-analysis time, predicts yields. LUBE OIL PROCESSING-1"**, Oil & Gas Journal, 96:27, Información ubicada en Internet. Dirección: <http://www.ogjonline.com>, 1998, pp.8.
27. León Ch., Victor  
**Notas de Clase. Curso: Tratamiento de Efluentes Industriales**, Lima. 1997.
28. Lubrizol  
**"Common Terms in Petroleum Industry"**, Información ubicada en Internet. Dirección:

<http://www.lubrizol.com/referencelibrary/readyreference/1-terms.htm>, 1998, pp. 10.

29. Lubrizol

**"Source of Lubricating Base Stocks"**, Información ubicada en Internet, Dirección:

<http://www.lubrizol.com/referencelibrary/lubtheory/base.htm>, 1998, pp.7.

30. Maxwell, J.B.

**Data Book on Hydrocarbons. Application to Process Engineering**, Princeton, New Jersey, D.Van Nostrand Company, Inc. (8<sup>th</sup>. Ed., 1965), 1950. Pp. 259.

31. Mikeska, L.A.

**"Chemical Structure of Lubricating Oils"**, Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 28, NRO 8, PP 970-984. Agosto, 1936.

32. Miquel, Jaume / Castells, Francese

**"Easy Characterization of petroleum Fractions. Part I."**, Hydrocarbon Processing, Diciembre, 1993. Pp. 101-105.

33. Miquel, Jaume/ Hernández, Jacobo/ Castells, Francese

**"A New method for Petroleum Fractions and crude Oil Characterizations"**, SPE Reservoir Engineering, Mayo, 1992. pp 265-270.

34. Mobil Oil del Perú S.A.

**Base Oil Specification**, HVI-55,HVI-95,HVI-160S,HVI 650. Año 1998. Pp.4.

35. Mundo Químico E.I.R.L.  
**Hoja Técnica del Tolueno, especificaciones.** Año 1998. Pp. 2.
36. Nelson, W.L.  
**Petroleum Refinery Engineering**, "Chemical Engineering series", New York, McGraw-Hill Book Company, Inc. (3th. Ed, 1949), 1936. Pp. 830.
37. Nelson, W.L.  
**"Which base of crude oil is best?. Part 1"**, The Oil and Gas Journal, Enero, 1979. pp. 112-113.
38. Palmistesta, Roberto  
**"Papel de la Base Mineral en el cumplimiento de especificaciones de Aceites Lubricantes"**, Boletín Técnico de Arpel, 10(4), Diciembre, 1981. pp.s.d.
39. Perry, Robert H/ Chilton, Cecil H  
**Biblioteca del Ingeniero Químico**, México, McGraw-Hill Inc, (5<sup>th</sup>. Ed, 2<sup>a</sup> ed. Español, 1986), 1973. 6 volúmenes.
40. PETROBRAS.  
**Entrenamiento en Cenpes-Petrobras. Evaluación de Materia prima para Bases Lubricantes**, Brasil, Petrobras, pp 3-11, s.d.
41. Petro-Canadá Lubricants  
**"Automotive and Industrial Lubricants. Base Oil"**, Información ubicada en Internet. Dirección:  
<http://www.escape.ca/dbrad/base-oil.htm>. 1998



42. Petróleos de Venezuela, S.A.  
**"Ceras Parafinas. Su producción y mercados en Venezuela"**, Boletín Técnico de Arpel, 6(1), Marzo 1977. Pp. s.d.
43. Petróleos de Venezuela, S.A.  
**"Caracterización y Selección de Crudos para la Elaboración de Bases Lubrificantes"**, Boletín Técnico de Arpel, 6(1), Marzo 1977. Pp. s.d.
44. Riazi, M.R./Daubert, T.E.  
**"Predicting Flash and Pour Points"**, Hydrocarbon Processing. Setiembre, 1987. pp.81-83.
45. Sequeira, A./ McClure, M.R. Jr. / Harrison, C.W./ Maxelon, R.  
**"Return to Basics: How to reduce Energy Requirements in Lubricant Oil Solvent Extraction and Dewaxing Processes"**.  
Proceedings Refining Department, 45th Midyear Meeting. Houston Texas, Vol 59. American Petroleum Institute. Mayo, 1980. Pp. 133-150.
46. Shell, Cia de Petróleos.  
**Base Oil Specifications**. HVI-55, HVI-95, HVI-160S, HVI 650. Año 1998. pp4.
47. Treybal, Robert E.  
**Operaciones de Transferencia de Masa**, México. McGraw-Hill Inc (2ª. Ed, 1988), 1980. pp 858.
48. Twu, Chong H./ Bulls, James W.  
**"Viscosity related to Dewaxing"**, Hydrocarbon Processing. Junio, 1981. Pp. 143-146.

49. Verli, Fernando José.  
**"Selecao de Solventes para o Processo de Desparaфинacao de Oleos Lubrificantes"**, Argentina, CENPES/PETROBRAS. Setiembre, 1985. Pp. 1509-1516.
50. Wauquier, Jean Pierre (ed.)  
**Le Raffinage du pétrol, Pétrole Brut/ Produits Pétroliers/ Schemas de Fabrications**, Paris, editios Technip. (Publications de l'Institute Francais du Pétrole), 1994. Vol 1, pp. 478.
51. Wuithier, Pierre (ed.)  
**El Petróleo. Refino y Tratamiento Químico**, Madrid, Ediciones CEPESA S.A., 1971. Tomo 1, pp. 904.
52. Wynne, Hugh de N.  
**Fundamentos de Refinación de Petróleo**, Venezuela, Creole Petroleum Corporation, 1957. Pp. 260.
53. 1993/15/1 Oil & Gas Journal  
**Refinery Operating Variables key to enhanced Lube Oil Quality**, Autor: Rhodes, Anne K, 91:1, 1993.  
Pp.6.
54. 1995 NPRA ANNUAL MEETING  
**Mobil Lube dewaxing Technologies**, San Francisco, California, Autores: Baker, Charles L. Y McGuinness, Mary P, AM-95-56, 1995. pp. 10.