

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

MODIFICACIÓN DE LA SECCIÓN DE DESPOJAMIENTO DE LA TORRE DE VACÍO T-100X DE LA PLANTA DE DESTILACIÓN DE VACÍO (PVAY-2), DEL CENTRO DE REFINACIÓN PARAGUANÁ – AMUAY

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Hinda Elman

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Hector Infante

Ing. Leonardo García

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de
Venezuela para optar al Título
de Ingeniero Químico.
Por la Br. Guevara U., Gabriela

Caracas, Abril 2002

Caracas, Abril de 2002

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Química, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la Bachiller Gabriela Guevara, titulado:

Modificación de la Sección de Despojamiento de la Torre de Vacío T-100X de la Planta de Destilación de Vacío (PVAY-2), del Centro de Refinación Paraguaná – Amuay.

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Químico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

Prof. Carlos Morales
Jurado

Prof. Mary Luz Alonso
Jurado

Prof. Hinda Elman
Tutor

DEDICATORIA

A mi maravillosa familia... y en especial a mis padres, mi mayor motivo de orgullo y superación.

AGRADECIMIENTOS

- *A mi tutora académica, Hinda Elman, por brindar de una manera tan profesional sus conocimientos y asesoría, su tiempo, esfuerzo y trabajo dedicados a ayudarme a alcanzar esta importante meta académica.*
- *A mi tutor industrial Héctor Infante, por brindarme el apoyo técnico necesario para la finalización de este proyecto.*
- *A los ingenieros de la Superintendencia de Destilación y Lubricantes de la Refinería de Amuay: Leonardo Moreno, José Chinca, Leonardo García y Héctor Plasencia, por hacerme sentir uno más en un equipo de trabajo y por convertir mi estadía en la Península de Paraguaná en una experiencia maravillosa. Al Ing. Carlos Trompiz por su valiosa asesoría en el área de destilación.*
- *Al personal de PDVSA, por brindarme todo lo necesario para el desarrollo de este trabajo especial de grado.*
- *A mi novio Alexis Oropeza, por ser uno de mis ideales profesionales, por impulsarme siempre a cumplir mis metas y por su cariño y amor presente en todo momento.*
- *A mis compañeras y amigas Elisabel Rodríguez, Carla Urdaneta y Natalia Quintero, por compartir conmigo la inolvidable experiencia de la convivencia, en la casa y en el trabajo y por ser un apoyo incondicional en todo momento.*
- *A mis amigos de siempre, Joice Gil, Raúl Lobo, Tahnee Gonzalez, Gerardo Salazar y Eimer Osorio, quienes a pesar de la distancia siempre estuvieron presentes.*
- *A todos los compañeros de las distintas universidades del país, USB, LUZ, UNEXPO, UNIMET, ULA, UNEFM y UC, por permitirme conocer la riqueza humana presente en cada uno de ellos y enseñarme muchas cosas que van más allá de los libros.*

Guevara U., Gabriela
**MODIFICACIÓN DE LA SECCIÓN DE DESPOJAMIENTO DE LA
TORRE DE VACÍO T-100X DE LA PLANTA DE DESTILACIÓN DE
VACÍO (PVAY-2), DEL CENTRO DE REFINACIÓN PARAGUANÁ –
AMUAY**

**Tutor Académico: Prof. Hinda Elman. Tutor Industrial: Ing. Héctor Infante, Ing.
Leonardo García. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de
Ingeniería Química. Año 2002, 238 p.**

Palabras Claves: Simulación, Despojamiento, Hidráulica, Platos, Etapas.

Resumen: Este trabajo se desarrolló en el Complejo de Refinación Paraguaná, Refinería de Amuay, específicamente en la Planta de Destilación de Vacío PVAY-2. La Superintendencia de Destilación y Lubricantes de la Refinería de Amuay está dividida en dos categorías: Especialidades o Lubricantes y Combustibles. Los internos de la zona de despojamiento de la torre T-100X están conformados por cuatro platos perforados de un solo paso.

En la Planta de Destilación de Vacío, PVAY-2, la torre T-100X fue diseñada para procesar el residuo largo del crudo Tía Juana Mediano 26 (TJM 26), ya que permite obtener cortes con propiedades adecuadas para ser base de lubricantes. Actualmente, debido al declive de los pozos de este crudo, a partir del año 1995, la unidad procesa una mezcla de varios crudos, con un 64% de TJM 26. De igual forma, en los últimos dos años aproximadamente, se procesa con cierta frecuencia el Crudo de Propósitos Generales (CPG) y el crudo La Rosa Mediano (LRM); sin embargo, cuando ocurre esto, los cortes laterales son enviados a los tanques de combustibles ya que sus propiedades no permiten que estos tengan buenas características lubricantes.

En la actualidad, el fraccionamiento entre el corte lateral N° 3 y el fondo de vacío es altamente deficiente, esto se evidencia por el gran solapamiento entre las curvas de destilación de ambos productos con un overlap aproximado de 130 °F, al procesar los diferentes crudos arriba mencionados, así como una disminución considerable en el rendimiento del corte lateral N° 3.

El objetivo de este trabajo fue simular la columna de vacío y optimizar el desempeño actual de la misma, incrementando el rendimiento del corte lateral N° 3 a expensas de fondo de vacío, manteniendo las especificaciones de calidad actuales, y sugiriendo las modificaciones que sean necesarias en su diseño. En la simulación de la operación de la torre T-100X se utilizó el programa de simulación de procesos PRO-II (PROVISION). Para desarrollar esta tarea, fue necesario validar el número de etapas teóricas de cada una de las secciones de fraccionamiento de la torre, tomando en cuenta las curvas de destilación de los productos y el rendimiento de cada uno de

ellos. Inicialmente, se realiza la evaluación hidráulica de la zona, encontrándose un alto porcentaje de arrastre en la zona de despojamiento (arrastre > 20%). Este problema hidráulico evidencia la necesidad de realizar un cambio en la zona de despojamiento, con la finalidad de incrementar la capacidad de los internos de dicha zona.

Una vez validada la simulación, se procedió a incrementar el número de etapas teóricas de la sección de despojamiento con el objetivo de incrementar la recuperación de Lube Pesado a expensas de Brea. El procedimiento de validación se realiza para la operación de la torre al procesarse los tres tipos de crudos mencionados con anterioridad y para una carga mínima y máxima de 38 KBD y 50 KBD, respectivamente.

Con el reporte dado por el programa PRO-II (PROVISIÓN), de los flujos de líquido y vapor por cada etapa, se procedió a utilizar programas de evaluación hidráulica, con la finalidad de conseguir una configuración adecuada para el procesamiento de los tres tipos de crudo.

A través de las simulaciones realizadas, se obtiene que la torre de destilación T-100X posee ocho (8) etapas teóricas. La operación de la zona de despojamiento está bien representada por una etapa teórica en la simulación. Adicionalmente se obtuvo que el rendimiento promedio de Lube Pesado es de 6,5%.

Mediante la simulación en PRO-II de PVAY-2, se verifica que incrementando el número de etapas teóricas de la sección de despojamiento, es posible mejorar el fraccionamiento entre corte lateral N° 3 / fondo de vacío. Del análisis hidráulico de esta sección, se determinó que el plato N° 4 (contado desde el fondo), presenta problemas de arrastre (entrainment > 20%), el cual no puede solventarse incrementando el área abierta de los mismos ni colocando platos de dos pasos con el diámetro actual (11'-0"). De acuerdo con el espacio disponible, se determinó que es posible instalar seis platos de válvula fija (SVG) en la sección de despojamiento, al disminuir el espaciamiento entre los platos de 33" a 20" y aumentar el diámetro de esta sección desde 11'-0" a 13'-2" para minimizar los problemas hidráulicos de la zona. Esta nueva configuración permitió obtener un porcentaje de recuperación mayor del corte lateral N° 3 (aproximadamente 9,5 %), al procesarse los tres tipos de crudo, manteniendo en especificación el 95 % de la destilación TBP en volumen para el mismo.

Con las modificaciones de la sección de despojamiento de la torre de vacío T-100X, se incrementa el número de etapas teóricas de 1 a 2, lo que permite recuperar aproximadamente 1000 BPD de Lube Pesado a expensas de Brea. El incentivo económico asociado es de 2,92 MMS\$/año, calculado en base a un diferencial de precio (corte lateral N° 3 - fondo de vacío) de 8,0 \$/Barril. Con esta nueva configuración se mejora el fraccionamiento entre el corte lateral N° 3 y el fondo de vacío, independientemente del tipo de crudo que se esté alimentando a la unidad.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. Lista de Símbolos y Abreviaturas.....	xii
II. Índice de Figuras.....	xv
III. Índice de Tablas.....	xviii
<i>Capítulo I. Introducción General.....</i>	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Objetivos.....	4
1.2.1 Objetivo general.....	4
1.2.2 Objetivos específicos.....	4
<i>Capítulo II. Fundamento teórico.....</i>	6
2.1. Generalidades del proceso de destilación.....	6
2.2. Descripción del proceso de destilación de crudos.....	7
2.2.1 Destilación atmosférica.....	7
2.2.2 Destilación al vacío.....	9
2.2.3 Productos de las unidades de destilación de crudos.....	10
2.3. Unidades de Destilación del Centro de Refinación Paraguaná - Amuay....	11
2.3.1 Descripción general de las unidades.....	12
2.3.2 Características de los principales crudos fraccionados en el CRP - Amuay.....	13
2.4. Descripción general de la Planta de Destilación de Vacío PVAY-2.....	16
2.4.1 Descripción del proceso.....	16
2.4.2 Variables de proceso mas importantes y control de las mismas.....	20
2.4.3 Especificaciones de los productos.....	22
2.4.4 Descripción de los internos de la torre T-100X de PVAY-2.....	24
2.4.5 Variaciones en el diseño de los internos de la torre T-100X de PVAY-2.....	29

	Página
2.5. Torres de platos.....	33
2.5.1 Características de los platos de columnas.....	33
2.5.2 Tipos de flujo en los platos.....	36
2.5.3 Descripción de los platos mas comunes.....	36
2.5.4 Platos de diseño actual.....	40
2.5.5 Comparación entre los tipos de platos más comunes.....	43
2.5.6 Platos perforados.....	46
2.5.6.1 Aplicaciones.....	46
2.5.6.2 Consideraciones básicas de diseño.....	46
2.5.7 Límites de operación en las columnas de platos.....	60
2.5.8 Evaluación Hidráulica.....	61
2.6. Simulación de procesos.....	63
2.6.1 Aspectos de la simulación de procesos.....	63
2.6.2 Simulador PRO II con PROVISION.....	63
2.6.2.1 Estructura del programa.....	64
2.6.2.2 Métodos Termodinámicos.....	66
2.6.3 Programa Lagoven Engineering Toolkit.....	70
2.6.4 Programa de Evaluación Hidráulica Sultray.....	70
2.7. Caracterización de crudos y fracciones de petróleo.....	73
2.7.1 Evaluación de crudos.....	73
2.7.2 Destilaciones de crudos y fracciones de petróleo.....	74
2.7.2.1 Destilaciones ASTM.....	74
2.7.3 Algunas propiedades importantes.....	77
 Capítulo III. Metodología.....	 80
3.1. Búsqueda y revisión de información.....	80
3.2. Recopilación de los datos operacionales y de diseño.....	80
3.3. Casos seleccionados para la evaluación.....	81

	Página
3.4. CASO N°1. Evaluación de la operación actual de PVAY-2, al procesarse el crudo TJM 26.....	82
3.4.1 Simulación en PRO-II with PROVISION. Validación de la simulación.....	82
3.4.2 Determinación del overlap y del punto de corte.....	86
3.4.3 Evaluación hidráulica.....	86
3.5. Simulación en PRO-II con PROVISION. Evaluación de los casos N° 2, 3 y 4.....	87
3.5.1 Estudio de los CASOS N° 2 y 3.....	87
3.5.2 Estudio del CASO N° 4.....	88
<i>Capítulo IV. Resultados y Discusión.....</i>	89
4.1. CASO N° 1: Crudo Tía Juana Medio 26.....	89
4.1.1 Consideraciones importantes en la simulación.....	89
4.1.2 Simulación de la Torre de Vacío T-100X de PVAY-2.....	98
4.1.2.1 Carga Operacional.....	98
4.1.2.2 Carga Máxima y Carga Mínima.....	116
4.2 CASO N° 2: Crudo de Propósitos Generales.....	120
4.2.1 Consideraciones importantes en la simulación.....	120
4.2.2 Simulación de la Torre de Vacío T-100X de PVAY-2.....	121
4.3. CASO N° 3: Crudo La Rosa Mediano.....	126
4.3.1 Consideraciones importantes en la simulación.....	126
4.3.2 Simulación de la Torre de Vacío T-100X de PVAY-2.....	127
4.4. Evaluación Hidráulica.....	132
4.4.1 Zona de despojamiento.....	132
4.4.2 Zona de fraccionamiento Corte Lateral N° 3 - Corte Lateral N° 2.....	136
4.4.3 Zona de fraccionamiento Corte Lateral N° 2 - Corte Lateral N° 1.....	139
4.4.4 Zona de fraccionamiento Corte Lateral N° 1 - Cabecera.....	141
4.4.5 Zona de fraccionamiento Cabecera - Tope.....	143
4.4.6 Aspectos más importantes de la Evaluación Hidráulica.....	145

	Página
4.5. CASO N° 4. Evaluación de la Planta de Destilación de Vacío PVAY-2, luego de incrementar el número de etapas teóricas en la zona de despojamiento.....	151
4.5.1 Consideraciones importantes en la simulación.....	152
4.5.2 Simulación de la Torre de Vacío T-100X de PVAY-2.....	153
4.5.2.1 Crudo Tía Juana Medio 26.....	153
4.5.2.2 Crudo de Propósitos Generales.....	157
4.5.2.3 Crudo La Rosa Mediano.....	161
4.5.3 Evaluación Hidráulica.....	164
4.5.3.1 Configuraciones propuestas para la zona de despojamiento....	164
4.5.3.2 Platos perforados.....	166
4.5.3.3 Platos de válvula fija.....	170
 <i>Capítulo V. Conclusiones.....</i>	 175
 <i>Capítulo VI. Recomendaciones.....</i>	 178
 <i>Capítulo VII. Bibliografía.....</i>	 180
 <i>Capítulo VIII. Apéndices.....</i>	 184
Apéndice A. Esquemas de la distribución de las etapas teóricas de la torre de vacío T-100X, de la Planta de Destilación de Vacío PVAY-2.....	184
Apéndice B. Datos operacionales utilizados para la simulación de la torre T-100X, de la Planta de Destilación de Vacío PVAY-2.....	186
Apéndice C. Cálculos Tipo.....	198
Apéndice D. Curvas de destilación de los productos de la Planta de Destilación de Vacío PVAY-2, al procesarse el crudo TJM 26.....	200
Apéndice E. Resultados Intermedios.....	206

	Página
Capítulo IX. Anexos	230
Anexo A. Nombres de las corrientes y unidades en la simulación.....	230
Anexo B. Esquema de la simulación en PRO - II with PROVISION.....	233
Anexo C. Diagramas de la torre de destilación atmosférica T-1X.....	237

I. LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

Ab: Área de burbujeo, pulg²

Af: Área fraccional, pulg²

Ao: Área de orificio, pulg²

Arc: Bajante de tipo arco

A_T: Área transversal de la torre, pie²

BC: Bajante central

BE: Bajante externo

Cen: Central

Cor: Bajante de tipo cordal

D: Diámetro del plato, pie

Ent: Entrada

ER: Número real de platos de la torre, adimensional

ET: Número de etapas teóricas para la simulación de la torre, adimensional

Ext: Externo

F_A: Flujo de alimentación, BD

F_C: Flujo de craqueados, lb/h

F_P: Flujo de retiro de producto, BD

GE: Gravedad específica del líquido, adimensional

h_{ci}: Altura del líquido claro en la zona de calma de entrada, pulg

h_{cl}: Espacio libre del bajante, pulg

h_{co}: Altura de líquido claro en la zona de calma de salida, pulg

h_{ed}: Caída de presión en seco, pulg

h_f: Altura visual de la masa aereada, pulg

h_l: Cabezal hidrostático de la masa aereada, pulg

h_t: Caída de presión total a través del plato, pulg

h_w: Altura del vertedero, pulg

K_w: Factor de caracterización de Watson, adimensional

MARC: Bajante de tipo arco modificado

Max: Carga Máxima
Min: Carga Mínima
Op: Carga Operacional
Ov: Overlap, °F
Pc: Punto de corte, °F
Perf: Perforado
P_{ZVI}: Presión de la zona de vaporización instantánea, psi
P₉: Presión de la etapa nueve, psi
REN: Rendimiento
Sal: Salida
t: Espesor del plato, pulg
T_B: Punto de ebullición medio, °R
T_{ZVI}: Temperatura de la zona de vaporización instantánea, °F
T_{5%}: Temperatura correspondiente al 5 % de recuperación de la destilación, °F
T_{95%}: Temperatura correspondiente al 95 % de recuperación de la destilación, °F
TDR: Flexibilidad operacional de una columna, adimensional
TS: Espaciamiento entre platos, pulg
ΔP: Caída de presión a través de la sección de platos, psi

ABREVIATURAS:

BK10: Braun K - 10, Método Termodinámico
CIED: Centro Internacional de Educación y Desarrollo
CP: Curl - Pitzer, Método de cálculo de entropías
CPAA: Corte propósito asfaltos
CPG: Crudo de Propósitos Generales
DFP: Diagrama de flujo de proceso
GLP: Gas licuado de petróleo
GS: Grayson - Streed, Método Termodinámico
HDS: Unidad de hidrodesulfurización

HSR: Gasolina directa pesada

HVGO: Gasóleo pesado de vacío

JG: Johnson - Grayson, Método de cálculo de entalpías

LRM: Crudo La Rosa Mediano

LSR: Gasolina directa ligera

LVGO: Gasóleo ligero de vacío

PR: Peng - Robinsond, Método Termodinámico

PSAY-1/2/3/4/5: Planta de Destilación Atmosférica N° 1, 2, 3, 4 y 5 respectivamente

PVAY-1/2/3/4/5: Planta de Destilación de Vacío N° 1, 2, 3, 4 y 5 respectivamente

SRK: Soave - Redlich - Kwong, Método Termodinámico

TBP: True Boiling Point (Punto de Ebullición Verdadero)

TJM 26: Crudo Tía Juana Medio 26

VC: Valor calculado u obtenido por alguna simulación

VGO: Gasóleo de vacío

VR: Valor real u operacional

ZVI: Zona de Vaporización Instantánea

II. LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura N° 1: Diagrama de flujo de la Planta de Destilación de Vacío N° 2.....	19
Figura N° 2: Descripción de los internos de la torre T-100X de PVAY-2.....	26
Figura N° 3: Diagrama descriptivo de la zona de despojamiento de la torre de vacío T-100X de PVAY-2.....	27
Figura N° 4: Flujo de vapor a través de los platos a) Tipo casquete de burbujeo b) Perforado c) Tipo válvula.....	39
Figura N° 5: Esquema de platos tipo jet.....	40
Figura N° 6: Plato de Válvula Flotante.....	41
Figura N° 7: Plato de Válvula Fija SVG.....	42
Figura N° 8: Plato Mini V-Grids.....	43
Figura N° 9: Diagrama de flujo en platos perforados.....	48
Figura N° 10: Diagrama de comportamiento de platos perforados.....	50
Figura N° 11: Esquema de platos perforados de uno y dos pasos.....	57
Figura N° 12: Esquema de caída de presión en platos perforados.....	59
Figura N° 13: Overlap entre dos cortes consecutivos.....	106
Figura N° 14: Diagrama descriptivo de la zona de despojamiento de la torre de vacío T-100X de PVAY-2, al colocar seis platos tipo válvula fija.....	174
Figura N° 15: Distribución de las diez etapas teóricas para la simulación de la torre T-100X, en PRO-II with Provision.....	184
Figura N° 16: Distribución de las ocho etapas teóricas para la simulación de la torre T-100X, en PRO-II with Provision.....	185
Figura N° 17: Curva de destilación de la Cabecera. Simulación con diez etapas teóricas.....	200
Figura N° 18: Curva de destilación del Corte Lateral N° 1. Simulación con diez etapas teóricas.....	200
Figura N° 19: Curva de destilación del Corte Lateral N° 2. Simulación con diez etapas teóricas.....	201
Figura N° 20: Curva de destilación del Corte Lateral N° 3. Simulación con diez etapas teóricas.....	201
Figura N° 21: Curva de destilación del Fondo de Vacío. Simulación con diez etapas teóricas.....	202

	Página
Figura N° 22: Curva de destilación de la Cabecera. Simulación con ocho etapas teóricas.....	203
Figura N° 23: Curva de destilación del Corte Lateral N° 1. Simulación con ocho etapas teóricas.....	203
Figura N° 24: Curva de destilación del Corte Lateral N° 2. Simulación con ocho etapas teóricas.....	204
Figura N° 25: Curva de destilación del Corte Lateral N° 3. Simulación con ocho etapas teóricas.....	204
Figura N° 26: Curva de destilación del Fondo de Vacío. Simulación con ocho etapas teóricas.....	205
Figura N° 27: Diagrama de la simulación para la evaluación de PVAY-2, al procesarse el crudo Tía Juana Medio 26.....	233
Figura N° 28: Diagrama de la simulación para la evaluación de PVAY-2, al procesarse el Crudo de Propósitos Generales.....	234
Figura N° 29: Diagrama de la simulación para la evaluación de PVAY-2, al procesarse el crudo La Rosa Mediano. Torre atmosférica.....	235
Figura N° 30: Diagrama de la simulación para la evaluación de PVAY-2, al procesarse el crudo La Rosa Mediano. Torre de vacío.....	236
Figura N° 31: Diagrama de la torre de destilación atmosférica T-1X.....	237
Figura N° 32: Distribución de las etapas teóricas para la simulación de la torre T-1X en PRO-II with PROVISION.....	238

III. LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla N° 1: Plantas de Destilación Atmosférica y al Vacío de la Refinería de Amuay.....	13
Tabla N° 2: Características de los crudos procesados con mayor frecuencia en las Plantas de Destilación de la Refinería de Amuay.....	15
Tabla N° 3: Flujos típicos de operación de la torre T-100X.....	21
Tabla N° 4: Presiones típicas de operación de la torre T-100X.....	22
Tabla N° 5: Temperaturas típicas de operación de la torre T-100X.....	22
Tabla N° 6: Especificaciones de los productos de la Planta de Destilación N° 2, PVAY-2 de la Refinería de Amuay.....	23
Tabla N° 7: Descripción de los internos de la torre T-100X de PVAY-2.....	28
Tabla N° 8: Comparación entre los tipos de plato más comunes.....	45
Tabla N° 9: Resumen de variables de diseño de platos perforados.....	50
Tabla N° 10: Parámetros Hidráulicos reportados por el programa Sultray.....	72
Tabla N° 11: Distribución de pseudo-componentes.....	92
Tabla N° 12: Resultados de la simulación con diez etapas teóricas. Crudo TJM 26.....	97
Tabla N° 13: Distribución de las diez etapas teóricas de la torre.....	99
Tabla N° 14: Resultados de la simulación para el crudo TJM 26. (Carga Operacional: 44 KBD. Diez etapas teóricas).....	100
Tabla N° 15: Curvas de destilación para el corte de Cabecera. Simulación con diez etapas teóricas.....	101
Tabla N° 16: Curvas de destilación para el Corte Lateral N° 1. Simulación con diez etapas teóricas.....	101
Tabla N° 17: Curvas de destilación para el Corte Lateral N° 2. Simulación con diez etapas teóricas.....	102
Tabla N° 18: Curvas de destilación para el Corte Lateral N° 3. Simulación con diez etapas teóricas.	102
Tabla N° 19: Curvas de destilación para el Fondo de Vacío. Simulación con diez etapas teóricas.	103
Tabla N° 20: Overlap y Punto de Corte. Simulación con diez etapas teóricas.....	104
Tabla N° 21: Distribución de las ocho etapas teóricas de la torre.....	107
Tabla N° 22: Resultados de la simulación para el crudo TJM 26. (Carga Operacional: 44 KBD. Ocho etapas teóricas).....	109
Tabla N° 23: Curvas de destilación para el corte de Cabecera. Simulación con ocho etapas teóricas.....	111

	Página
Tabla N° 24: Curvas de destilación para el Corte Lateral N° 1. Simulación con ocho etapas teóricas.....	111
Tabla N° 25: Curvas de destilación para el Corte Lateral N° 2. Simulación con ocho etapas teóricas.	112
Tabla N° 26: Curvas de destilación para el Corte Lateral N° 3. Simulación con ocho etapas teóricas.	112
Tabla N° 27: Curvas de destilación para el Fondo de Vacío. Simulación con ocho etapas teóricas.	113
Tabla N° 28: Overlap y Punto de Corte. Simulación con ocho etapas teóricas.....	113
Tabla N° 29: Especificaciones de los productos obtenidos de la torre T-100X, al simularse con el crudo TJM 26. Carga Operacional.....	115
Tabla N° 30: Resultados de la simulación para el crudo TJM 26. (Carga Máxima: 50 KBD. Ocho etapas teóricas).....	117
Tabla N° 31: Resultados de la simulación para el crudo TJM 26. (Carga Mínima: 38 KBD. Ocho etapas teóricas).....	117
Tabla N° 32: Temperaturas correspondientes al 5 % y 95 % de recuperación. Crudo TJM 26. Simulación con ocho etapas teóricas.....	118
Tabla N° 33: Overlap y Punto de Corte para carga máxima y mínima. Crudo TJM 26. Simulación con ocho etapas teóricas.....	118
Tabla N° 34: Especificaciones de los productos obtenidos de la torre T-100X, al simularse con el crudo TJM 26. Carga Máxima y Mínima.....	119
Tabla N° 35: Resultados de la simulación para el crudo CPG. Carga Operacional: 46,3 KBD.....	122
Tabla N° 36: Resultados de la simulación para el crudo CPG. Carga Máxima: 50 KBD.....	122
Tabla N° 37: Resultados de la simulación para el crudo CPG. Carga Mínima: 38 KBD.....	123
Tabla N° 38: Temperaturas correspondientes al 5 % y 95 % de recuperación. Crudo CPG.....	124
Tabla N° 39: Overlap y Punto de Corte para carga máxima y mínima. Crudo CPG.....	125
Tabla N° 40: Especificaciones de los productos obtenidos de la torre T-100X, al simularse con el crudo CPG.....	125
Tabla N° 41: Resultados de la simulación para el crudo LRM. Carga Operacional: 70 KBD y 40,9 KBD.....	129
Tabla N° 42: Resultados de la simulación para el crudo LRM. Carga Máxima: 125 KBD y 50 KBD.....	129
Tabla N° 43: Resultados de la simulación para el crudo LRM. Carga Mínima: 65 KBD y 38 KBD.....	130
Tabla N° 44: Temperaturas correspondientes al 5 % y 95 % de recuperación. Crudo LRM.....	131

	Página
Tabla N° 45: Overlap y Punto de Corte para carga máxima y mínima. Crudo LRM.....	131
Tabla N° 46: Resultados de la evaluación hidráulica realizada en la zona de despojamiento. Una etapa teórica.	135
Tabla N° 47: Resultados de la evaluación hidráulica realizada en la zona de fraccionamiento Corte Lateral N° 3 - Corte Lateral N° 2.....	138
Tabla N° 48: Resultados de la evaluación hidráulica realizada en la zona de fraccionamiento. Corte Lateral N° 2- Corte Lateral N° 1.....	140
Tabla N° 49: Resultados de la evaluación hidráulica realizada en la zona de fraccionamiento Cabecera - Corte lateral N° 1.....	142
Tabla N° 50: Resultados de la evaluación hidráulica realizada en la zona de fraccionamiento Cabecera -Tope.....	144
Tabla N° 51: Resumen de limitaciones hidráulicas de la torre T-100X, al procesarse el crudo TJM 26.....	145
Tabla N° 52: Resumen de limitaciones hidráulicas de la torre T-100X, al procesarse el crudo CPG.....	148
Tabla N° 53: Resumen de limitaciones hidráulicas de la torre T-100X, al procesarse el crudo LRM.....	149
Tabla N° 54: Resultados de la simulación para el crudo TJM 26. (Carga Máxima: 50 KBD. Nueve etapas teóricas).....	154
Tabla N° 55: Resultados de la simulación para el crudo TJM 26. (Carga Mínima: 38 KBD. Nueve etapas teóricas).....	154
Tabla N° 56: Temperaturas correspondientes al 5 % y 95 % de recuperación. Crudo TJM 26. Simulación con nueve etapas teóricas.....	155
Tabla N° 57: Resultados más importantes de la simulación con una y dos etapas teóricas de la zona de despojamiento. Crudo TJM 26.....	155
Tabla N° 58: Especificaciones de los productos obtenidos de la torre T-100X, al simularse con el crudo TJM 26. Simulación con nueve etapas teóricas.....	156
Tabla N° 59: Resultados de la simulación para el crudo CPG. (Carga Máxima: 50 KBD. Nueve etapas teóricas).....	157
Tabla N° 60: Resultados de la simulación para el crudo CPG. (Carga Mínima: 38 KBD. Nueve etapas teóricas).....	158
Tabla N° 61: Temperaturas correspondientes al 5 % y 95 % de recuperación. Crudo CPG. Simulación con nueve etapas teóricas.....	159
Tabla N° 62: Resultados más importantes de la simulación con una y dos etapas teóricas en la zona de despojamiento. Crudo CPG.....	159
Tabla N° 63: Especificaciones de los productos obtenidos de la torre T-100X, al simularse con el crudo CPG. Dos etapas teóricas en la zona de despojamiento.....	160
Tabla N° 64: Resultados de la simulación para el crudo LRM. (Carga Máxima 50 KBD. Nueve etapas teóricas).....	161

	Página
Tabla N° 65: Resultados de la simulación para el crudo LRM. (Carga Mínima: 38 KBD. Nueve etapas teóricas).....	162
Tabla N° 66: Temperaturas correspondientes al 5 % y 95 % de recuperación. Crudo LRM. Simulación con nueve etapas teóricas.....	163
Tabla N° 67: Resultados más importantes de la simulación con una y dos etapas teóricas en la zona de despojamiento. Crudo LRM.....	163
Tabla N° 68: Configuraciones planteadas en el diseño del plato N° 6 de la zona de despojamiento. Plato perforado.....	168
Tabla N° 69: Resultados de la evaluación hidráulica realizada en las distintas configuraciones del plato N° 6.....	168
Tabla N° 70: Configuración de la zona de despojamiento con platos de válvula fija SVG, de Sulzer Chemtech.....	170
Tabla N° 71: Resultados de los platos tipo válvula fija SVG, para el crudo TJM 26. Carga Máxima y Mínima.....	171
Tabla N° 72: Resultados de los platos tipo válvula fija SVG, para el crudo CPG. Carga Máxima y Mínima.....	171
Tabla N° 73: Resultados de los platos tipo válvula fija SVG, para el crudo LRM. Carga Máxima y Mínima.....	172
Tabla N° 74: Resultados de las destilaciones ASTM D-2887 realizadas a los distintos productos obtenidos de PVAY-2, al procesarse el crudo TJM 26.....	186
Tabla N° 75: Datos necesarios para la caracterización de la alimentación a PVAY-2. Crudo TJM 26.....	186
Tabla N° 76: Datos necesarios para la caracterización de la alimentación a la Unidad de Destilación de Vacío PVAY-2. Crudo CPG.....	187
Tabla N° 77: Datos necesarios para la caracterización de la alimentación a la unidad de Destilación de vacío PVAY-2. Crudo LRM.....	188
Tabla N° 78: Corriente de vapor alimentada a los pases del horno F-100 (en la simulación se alimenta al separador flash).....	188
Tabla N° 79: Corriente de los gases productos del craqueo en el horno F-100, alimentada al separador flash de la torre T-100X.....	189
Tabla N° 80: Corriente de vapor de despojamiento alimentado a la torre T-100X.....	189
Tabla N° 81: Corriente de vapor de despojamiento alimentado a los despojadores laterales T-101 y T-102.....	189
Tabla N° 82: Corriente de vapor de despojamiento alimentado a la torre atmosférica T-1X, al procesarse el crudo LRM.....	189
Tabla N° 83: Corriente de vapor de despojamiento alimentado a los despojadores laterales de la torre atmosférica T-1X, al procesarse el crudo LRM.....	189

	Página
Tabla N° 84: Datos del separador flash de la torre de vacío T-100X.....	190
Tabla N° 85: Datos generales para la simulación de la torre de vacío T-100X.....	190
Tabla N° 86: Perfil de presión en la torre T-100X.....	190
Tabla N° 87: Etapas de alimentación en la simulación de la torre T-100X.....	190
Tabla N° 88: Alimentaciones y productos de la torre T-100X.....	191
Tabla N° 89: Estimados iniciales para la simulación de la torre T-100X.....	191
Tabla N° 90: Pumparounds de la torre T-100X.....	191
Tabla N° 91: Especificaciones y variables en la simulación de la torre T-100X. Carga operacional. Crudo TJM 26.....	192
Tabla N° 92: Especificaciones y variables en la simulación de la torre T-100X. Carga Operacional. Crudo CPG.....	191
Tabla N° 93: Especificaciones y variables en la simulación de la torre T-100X. Crudo LRM.....	193
Tabla N° 94: Número de etapas de los despojadores laterales T-101 y T-102.....	193
Tabla N° 95: Perfil de presiones de los despojadores laterales T-101 y T-102.....	193
Tabla N° 96: Etapas de alimentación en los despojadores laterales T-101 y T-102.....	193
Tabla N° 97: Flujos de los productos de los despojadores laterales T-101 y T-102.....	194
Tabla N° 98: Datos del separador flash de la torre atmosférica T-1X.....	194
Tabla N° 99: Datos de la torre de destilación atmosférica T-1X.....	194
Tabla N° 100: Perfil de presión en la torre T-1X.....	195
Tabla N° 101: Etapas de alimentación en la simulación de la torre T-1X.....	195
Tabla N° 102: Alimentaciones y productos de la torre T-1X.....	195
Tabla N° 103: Datos del condensador de tope de la torre atmosférica T-1X.....	195
Tabla N° 104: Estimados iniciales para la simulación de la torre T-1X.....	196
Tabla N° 105: Pumparounds de la torre T-1X.....	196
Tabla N° 106: Especificaciones y variables en la simulación de la torre T-1X.....	196
Tabla N° 107: Número de etapas de los despojadores laterales T-101 y T-102.....	196
Tabla N° 108: Perfil de presiones de los despojadores laterales T-101 y T-102.....	197
Tabla N° 109: Etapas de alimentación en los despojadores T-2X, T-3X y T-4X.....	197
Tabla N° 110: Etapas de alimentación en los despojadores laterales T-2X, T-3X y T-4X.....	197
Tabla N° 111: Flujos de líquido y vapor correspondientes a los platos de la torre T-100X, al procesarse el crudo TJM 26. Carga Operacional.....	206

	Página
Tabla N° 112: Flujos de líquido y vapor correspondientes a los platos de la torre T-100X, al procesarse el crudo TJM 26. Carga Máxima.....	208
Tabla N° 113: Flujos de líquido y vapor correspondientes a los platos de la torre T-100X, al procesarse el crudo TJM 26. Carga Mínima.....	210
Tabla N° 114: Flujos de líquido y vapor correspondientes a los platos de la torre T-100X, al procesarse el crudo CPG. Carga Operacional.....	212
Tabla N° 115: Flujos de líquido y vapor correspondientes a los platos de la torre T-100X, al procesarse el crudo CPG. Carga Máxima.....	214
Tabla N° 116: Flujos de líquido y vapor correspondientes a los platos de la torre T-100X, al procesarse el crudo CPG. Carga Mínima.....	216
Tabla N° 117: Flujos de líquido y vapor correspondientes a los platos de la torre T-100X, al procesarse el crudo LRM. Carga Operacional.....	218
Tabla N° 118: Flujos de líquido y vapor correspondientes a los platos de la torre T-100X, al procesarse el crudo LRM. Carga Máxima.....	220
Tabla N° 119: Flujos de líquido y vapor correspondientes a los platos de la torre T-100X, al procesarse el crudo LRM. Carga Mínima.....	222
Tabla N° 120: Flujos de líquido y vapor correspondientes a los platos de la torre T-100X, al procesarse el crudo TJM 26, con dos etapas en la zona de despojamiento. Carga Máxima.....	224
Tabla N° 121: Flujos de líquido y vapor correspondientes a los platos de la torre T-100X, al procesarse el crudo TJM 26, con dos etapas en la zona de despojamiento. Carga Mínima.....	225
Tabla N° 122: Flujos de líquido y vapor correspondientes a los platos de la torre T-100X, al procesarse el crudo CPG, con dos etapas en la zona de despojamiento. Carga Máxima.....	226
Tabla N° 123: Flujos de líquido y vapor correspondientes a los platos de la torre T-100X, al procesarse el crudo CPG, con dos etapas en la zona de despojamiento. Carga Mínima.....	227
Tabla N° 124: Flujos de líquido y vapor correspondientes a los platos de la torre T-100X, al procesarse el crudo LRM, con dos etapas en la zona de despojamiento. Carga Máxima.....	228
Tabla N° 125: Flujos de líquido y vapor correspondientes a los platos de la torre T-100X, al procesarse el crudo LRM, con dos etapas en la zona de despojamiento. Carga Mínima.....	229
Tabla N° 126: Nombres de las corrientes utilizadas en el esquema de la simulación de PVAY-2 (ver figuras N° 27, 28 y 29 y 30).....	230

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1. Introducción

La Unidad de Destilación al Vacío N° 2 (PVAY-2) forma parte del Complejo de Destilación del Centro Refinador Paraguaná - Amuay, conformado por cinco plantas de destilación atmosférica y cinco plantas de destilación al vacío. De las unidades de destilación al vacío, dos de ellas tienen propósitos lubricantes (Planta N° 1/2) y tres tienen propósitos combustibles (Planta N° 3/4/5). A la Planta de Destilación N° 2 se alimenta el crudo Tía Juana Medio 26 (TJM 26) y de ella se obtienen productos como diesel, gasóleo liviano de vacío (LVGO) o Lube Liviano (corte lateral N° 1), gasóleo pesado de vacío (HVGO) o Lube Pesado (corte lateral N° 3) y el Fondo de Vacío o Brea, siendo el Lube Pesado y el Lube Liviano los productos de mayor interés comercial.

El objetivo de este trabajo especial de grado, es maximizar la recuperación del corte lateral N° 3 a expensas del fondo de vacío, realizando cambios en la estructura de la sección de despojamiento de la planta PVAY-2. En ocasiones suelen realizarse modificaciones en los internos de la torre o en los equipos de la unidad, con la finalidad de incrementar el rendimiento de un producto en específico, ya que el incentivo económico de los mismos es diferente.

Con el pasar de los años, el fraccionamiento en la torre ha disminuido en las distintas secciones de la misma. En condiciones normales de operación, para una carga de 42 KBD, PVAY-2 ha llegado a producir aproximadamente 6000 BD del corte lateral N° 3 y 23000 BD de fondo de vacío. Actualmente la producción del corte lateral N° 3 ha disminuido sustancialmente hasta alcanzarse una producción 3500 BD, lo que significa que existen problemas en la operación de la zona de despojamiento. Igualmente, las curvas de destilación de los cortes laterales de la torre se encuentran muy solapadas y el overlap o solapamiento entre el corte lateral N° 3 y el fondo de

vacío se encuentra actualmente en valores mayores a los 150 °F, hecho que evidencia el deterioro del fraccionamiento en la zona, creándose la necesidad de estudiar alternativas que permitan lograr una mejor operación de la torre y maximizar la recuperación de productos de interés económico, en este caso, el corte lateral N° 3.

El crudo alimentado con mayor frecuencia a las plantas PSAY-1/2 es el Tía Juana Medio 26, ya que debido a sus características permite obtener en las plantas de vacío, cortes con propiedades adecuadas para ser base de lubricantes; sin embargo, ante escenarios de bajo inventario, se procesan los crudos LRM y CPG. El crudo CPG es la alimentación principal a las plantas PSAY 3/4/5, debido a que sus características lo hacen más apropiado para las plantas con propósitos combustibles. Actualmente, la segregación TJM 26 está agotándose, lo que provoca que las plantas 1 y 2 operen a su carga mínima; por tal motivo, se pretende adecuar la operación de alguna de ellas para procesar crudo CPG y producir cortes con propósitos combustibles, incrementándose la recuperación de lo que sería el corte lateral N° 3 o Lube Pesado. El procesamiento del crudo CPG en PVAY-2 implica adicionalmente un cambio en la metalurgia de la misma, ya que el crudo es altamente corrosivo.

Debido a esto, se requieren plantear distintas configuraciones de los internos de la zona de despojamiento, una vez evaluada y estudiada la configuración actual. Esta evaluación requiere recopilar la información necesaria del sistema, como los datos operacionales para los tres crudos y los de diseño, que son utilizados en la simulación de la unidad con el paquete comercial PRO-II con PROVISION; una vez que se valida la simulación, al comprobar que el modelo propuesto reproduce las condiciones reales de operación, se realiza la evaluación hidráulica de los platos de la sección de despojamiento, utilizando datos obtenidos de la misma.

Posteriormente, una vez realizada la simulación de la unidad y la evaluación de la configuración actual, se procede a realizar la evaluación hidráulica de las distintas configuraciones propuestas para determinar la operación del plato, en cuanto

a parámetros como inundación, arrastre, goteo, llenado del bajante, velocidad en los bajantes y sellado del bajante. Las modificaciones de la sección de despojamiento se refieren al incremento del número de etapas teóricas de fraccionamiento o a un cambio en el tipo de plato utilizado; sin embargo, el incremento del número de platos está limitado por la altura de la zona de despojamiento.

Al realizar cambios en la configuración de los platos de la sección de despojamiento de la torre T-100X, es posible aumentar la recuperación del corte lateral N° 3 del Fondo de Vacío y como consecuencia incrementar la ganancia económica, teniendo como referencia, que cada barril recuperado adicional de Lube Pesado tiene un incentivo económico asociado de 8\$.

1.2. Objetivos

Para dar respuesta al problema planteado, este trabajo especial de grado tiene propuestos los siguientes objetivos:

1.2.1 Objetivo General

Determinar la factibilidad técnica de incrementar la recuperación del corte lateral N° 3 a expensas del fondo de vacío, a partir de la modificación de la sección de despojamiento de la torre de vacío T-100X de la Planta de Destilación al Vacío N° 2 (PVAY-2) del Centro Refinador Paraguayaná - Amuay, bajo diferentes escenarios de operación, mediante el desarrollo y aplicación de un conjunto de herramientas de cálculo y de simulación.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Evaluar la operación de la torre T-100X de PVAY-2, bajo las condiciones operacionales actuales, al procesar el crudo Tía Juana Medio 26, mediante la simulación de la misma con un paquete comercial (PRO-II con PROVISION de SimSci).
2. Realizar la evaluación hidráulica de los platos de la torre T-100X, operando bajo las condiciones actuales; es decir, procesando el crudo Tía Juana Medio 26 (TJM 26).
3. Simular nuevamente la torre de destilación de vacío PVAY-2, cambiando el crudo alimentado (TJM 26), al Crudo de Propósitos Generales (CPG) y La Rosa Mediano (LRM); utilizando y manteniendo el número de etapas teóricas determinadas al alimentar el crudo TJM 26 con la finalidad de conocer el rendimiento de Lube Pesado con otro tipo de alimentación.

4. Evaluar por medio del simulador, la operación de la zona de despojamiento de la torre T-100X de PVAY-2, para los crudos TJM 26, CPG y LRM, luego de incrementar el número de etapas teóricas de la sección de despojamiento.
5. Proponer nuevas configuraciones para la sección de despojamiento de la torre T-100X, al procesarse los tres tipos de crudo.
6. Realizar la evaluación hidráulica de los platos de la sección de despojamiento para cada una de las configuraciones propuestas y determinar aquella que permita optimar la operación de la torre T-100X, con el propósito de maximizar la recuperación de Lube Pesado.

CAPÍTULO II. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 Generalidades de los procesos de destilación

El proceso de separación más utilizado en la industria química es la destilación. Esta operación unitaria también es conocida como fraccionamiento o destilación fraccionada. La separación de los constituyentes se basa en las diferencias de volatilidad. En la destilación, una fase vapor se pone en contacto con una fase líquido, transfiriéndose masa del líquido al vapor y del vapor al líquido. Por lo general, el líquido y el vapor contienen los mismos componentes aunque en distintas proporciones. El líquido se encuentra a su temperatura de burbuja, mientras que el vapor en equilibrio está a su temperatura de rocío. En forma simultánea, se transfiere masa desde el líquido por evaporación y desde el vapor por condensación. El efecto neto es un incremento en la concentración de los componentes más volátiles en la fase vapor y de los menos volátiles en la fase líquida. La evaporación y condensación involucran calores latentes de evaporación de cada componente y por ello, al calcular una destilación deben considerarse los efectos del calor. [Foust A., et al, 1990]

Las aplicaciones de la destilación son muy diversas. El oxígeno puro que se utiliza en la fabricación de acero, en las naves espaciales y en aplicaciones medicinales se produce por destilación del aire previamente licuado. Las fracciones del petróleo (tales como gases ligeros, nafta, gasolina, queroseno, combustóleo, aceite lubricante y asfalto) se obtienen en grandes columnas de destilación a las que se alimenta el crudo. Estas fracciones se procesan después para obtener los productos finales y, con frecuencia, la destilación también interviene en las etapas intermedias de este proceso. A menudo la destilación se lleva a cabo en equipos de etapas múltiples aunque también se utilizan equipos de contacto continuo. [Foust A., et al, 1990]

2.2 Descripción de los procesos de destilación de crudos

La industria de la refinación del petróleo ha experimentado expansiones y cambios tremendos desde 1950. La materia prima básica para las refinerías es el petróleo o crudo. El petróleo puede definirse como una mezcla compleja de hidrocarburos que incluye gases con puntos de ebullición que van desde 0 °C hasta compuestos asfálticos con puntos de ebullición superiores a los 600 °C. Es por esta razón que el petróleo debe someterse al proceso de Refinación, donde generalmente, la primera etapa del proceso es la destilación. [Gary J., 1980]

El proceso de destilación, se basa en separar el crudo en fracciones de acuerdo a sus puntos de ebullición. La destilación, se lleva a cabo normalmente en dos etapas, una a presiones superiores de la atmosférica (160 – 200 KPa) en las denominadas *Unidades de Destilación Atmosféricas*, donde son recuperados los hidrocarburos livianos (metano hasta butano), los componentes de la gasolina y los destilados medios (Kerosene, Aceite de Calefacción y Diesel), y otra a presiones inferiores de la atmosférica (4,8 – 20 KPa) en las denominadas *Unidades de Destilación al Vacío*, las cuales tienen como finalidad separar la porción pesada del crudo (fondo atmosférico), en fracciones de hidrocarburos que presentan, a presión atmosférica, puntos de ebullición por encima de la temperatura a la cual comienza el craqueo o descomposición térmica (340 – 370°C). El craqueo se minimiza al reducir la presión parcial de los hidrocarburos, para con esto disminuir la temperatura de vaporización de las fracciones. [Gary J., 1980]

2.2.1 Destilación atmosférica

Una planta de destilación atmosférica consiste fundamentalmente en una columna de fraccionamiento con sus despojadores y equipos auxiliares como hornos, bombas, intercambiadores de calor, condensadores, etc. El petróleo o crudo es precalentado en los intercambiadores de calor mediante los cortes laterales calientes

de la misma unidad y luego pasa al horno donde el calentamiento es completado para entrar a la columna como una mezcla de vapor y líquido a alta temperatura. El vapor pasa a la parte superior y el líquido fluye hacia abajo. Los vapores son purificados en la sección superior o de rectificación de la columna, mientras que el líquido fluye hacia la sección inferior o de agotamiento donde es despojado de los productos livianos con vapor sobrecalentado. [PDVSA Tecnología del Petróleo, 1995]

El reflujo se proporciona condensando los vapores de la parte superior de la columna y devolviendo una porción del líquido a la cabeza de la columna y bombeando para extraer y devolver corrientes a zonas más bajas en la columna. Cada uno de los productos de las corrientes laterales eliminados de la columna, rebaja la cantidad de reflujo por debajo del punto de extracción. Se obtiene un máximo de reflujo y de fraccionamiento eliminando todo el calor en la cabeza de la columna, pero esto requiere una entrada de líquido en forma de cono invertido que exige un diámetro muy grande en la misma. Para reducir el diámetro en la cabeza de la columna y también la carga del líquido a lo largo de la columna, se utilizan corrientes intermedias de eliminación de calor que generan reflujo por debajo de los puntos de extracción de las corrientes laterales. Para conseguirlo, el líquido se extrae de la columna, se enfría mediante un intercambiador de calor, y se devuelve a la columna o, alternativamente, una porción de la corriente enfriada puede devolverse a la columna. Esta corriente fría condensa gran cantidad del vapor que asciende por la columna, incrementando por consiguiente, el reflujo por debajo de este punto. [Gary J., 1980]

Los componentes más volátiles, gases y gasolina, salen por el tope, los cuales son condensados en el condensador de cabecera mientras que los gases no condensables son separados en el tanque de destilado los cuales van al sistema. Parte de la gasolina es devuelta a la columna como reflujo para mantener un gradiente de temperatura dentro de la unidad. [PDVSA Tecnología del Petróleo, 1995]

Otros productos tales como kerosén, gasoil, pueden extraerse de la columna como cortes laterales y enviarse a sus respectivos despojadores donde se eliminan por inyección de vapor aquellos componentes volátiles presentes en los productos. [PDVSA Tecnología del Petróleo, 1995]

Las propiedades de los productos son controladas ajustando las condiciones de operación de la planta, como temperaturas de tope y fondo de la columna, mediante el caudal de reflujo y el suministro de calor a la columna.

El gas y la gasolina son fraccionados de nuevo en la sección estabilizadora. El resto del crudo es redistilado al vacío a fin de obtener una fracción de destilados medios, gasoil pesado y un residuo. [PDVSA Tecnología del Petróleo, 1995]

Aunque generalmente las columnas de crudo no utilizan hervidores, normalmente se incorporan varios platos por debajo de la zona de alimentación, introduciéndose vapor por debajo del plato de cola para separar cualquier gasóleo residual del líquido en la zona de alimentación y dar lugar a residuos con un alto punto de inflamación. [Gary J., 1980]

2.2.2 Destilación de vacío

Las temperaturas de salida del horno, requeridas para la destilación a presión atmosférica de las fracciones más pesadas del crudo de petróleo, son tan altas que podrían dar lugar al craqueo térmico, con la consiguiente pérdida de producto y ensuciamiento del equipo. Estas materias se destilan por consiguiente bajo vacío, ya que la temperatura de ebullición desciende al decrecer la presión. La destilación se lleva a cabo con presiones absolutas, en la zona de alimentación de la columna, de 25 a 40 mmHg. [Gary J., 1980]

Para mejorar la vaporización, se rebaja aún mas la presión efectiva (a 10 mmHg o menos) mediante la adición de vapor a la entrada del horno y a la base de la columna de vacío. La adición de vapor a la entrada del horno, incrementa la velocidad en los tubos del horno y minimiza la formación de coque en el mismo, así como también disminuye la presión parcial de la totalidad de los hidrocarburos en la columna de vacío. [Gary J., 1980]

Las presiones de operación mas bajas dan lugar a incrementos significativos en el volumen de vapor por barril vaporizado y, por consiguiente, las columnas de destilación a vacío tienen un diámetro mucho mayor que las columnas a presión atmosférica. [PDVSA Tecnología del Petróleo, 1995]

La presión de operación deseada se mantiene mediante la utilización de eyectores de vapor y condensadores barométricos o de superficie. El tamaño y el número de eyectores utilizados esta determinado por las necesidades de vacío y la cantidad de vapor manipulado. Para una presión de 25 mmHg en la zona de alimentación, se requieren normalmente tres etapas de eyección. La primera etapa condensa el vapor y comprime los gases no condensables, mientras que la segunda y tercera etapas eliminan los gases no condensables de los condensadores. [Nelson, 1958]

2.2.3 Productos de las unidades de destilación de crudos

En orden de punto de ebullición creciente, los principales productos de una unidad característica de destilación de crudo, son: [Gary J., 1980]

Gas combustible: El gas combustible consta principalmente de metano y etano. En algunas refinerías también se incluye en la corriente de gas combustible, propano en exceso del requerido para el GLP. Esta corriente también se conoce como "gas seco".

Gas húmedo: La corriente de gas húmedo contiene propano y butano, así como también metano y etano. El propano y el butano se separan para utilizarse en el GLP, y en el caso del butano, para el mezclado de gasolinas.

Gasolina directa ligera (siglas inglesas LSR): La corriente de gasolina directa se desulfura y se utiliza en el mezclado de gasolina, o se procesa en una unidad de isomerización para mejorar su octanaje antes de mezclarse en gasolina.

Nafta o gasolina directa pesada (siglas inglesas HSR): Los cortes de nafta se utilizan generalmente como alimento al reformador catalítico para producir reformados de alto octanaje para el mezclado de gasolina y aromáticos.

Gasóleos: Los gasóleos ligeros, atmosféricos y de vacío, se procesan en un craqueador de hidrógeno o en un craqueador catalítico para producir gasolina y combustible diesel y de propulsión a chorro. Los gasóleos mas pesados de vacío pueden utilizarse también como materias primas para las unidades de procesos de aceites lubricantes.

Residuos: Los residuos de la columna de vacío pueden procesarse en un reductor de viscosidad, un coquizador, o una unidad de desasfaltado para producir fuelóleo pesado o productos craqueados y/o base para lubricantes. Para crudos asfálticos, se pueden procesar posteriormente el residuo para producir asfaltos para carreteras y/o tejados.

2.3 Unidades de Destilación del Centro de Refinación Paraguaná - Amuay

La Sección de Destilación y Lubricantes de la Refinería de Amuay está dividida en dos categorías: Especialidades y Combustibles, formada por cinco unidades de destilación atmosférica; las cuales representan los pilares de toda la refinería, ya que son ellas las que permiten la obtención de productos que alimentan a

las otras unidades y procesos. Posee también cinco unidades de destilación al vacío, las cuales procesan el residuo de las torres atmosféricas con el propósito de obtener diversos tipos de gasóleo, combustible pesado, asfalto y fracciones que constituyen la materia prima para la fabricación de lubricantes. [PDVSA Tecnología del petróleo, 1995]

2.3.1 Descripción general de las unidades

De las unidades atmosféricas de Amuay, la Planta de Destilación Atmosférica N° 1, PSAY-1 produce dos cortes laterales, PSAY-2, PSAY-3 y PSAY-4 producen tres cortes laterales y PSAY-5 produce cuatro cortes laterales dividiendo la nafta en dos partes: la más liviana sale por el tope de la torre y la más pesada sale como el primer corte lateral. [PDVSA Tecnología del petróleo, 1995]

De las unidades de vacío de la Refinería de Amuay, se pueden distinguir dos tipos de torres de vacío:

- Unidad de vacío para producir Lubricantes
- Unidad de vacío para producir Combustibles

La diferencia entre estas dos torres al vacío radica fundamentalmente en los detalles de construcción pero el principio de operación es el mismo ya que procesan crudos con características diferentes. Las unidades que producen base para lubricantes son PVAY-1 y PVAY-2, mientras que PVAY-3, PVAY-4 y PVAY-5 producen gasóleos de vacío para alimentar las unidades hidrosulfuradoras. [PDVSA Tecnología del petróleo, 1995]

A continuación, en la Tabla N° 1, se presentan los productos obtenidos de cada una de las plantas de destilación de la Refinería de Amuay.

Tabla N° 1: Plantas de Destilación Atmosférica y al Vacío de la Refinería de Amuay.

PLANTA	ENTRADA	DESCRIPCIÓN	SALIDA
PSAY-1	TJM 26 y TJ102	Planta de Destilación Atmosférica	Gasolina, Kerosene, Heating Oil*
PVAY-1	Fondo Torre Atmosférica	Planta de Destilación al Vacío	Cortes para Lubricantes y Asfalto
PSAY-2	TJM 26	Planta de Destilación Atmosférica	Gasolina, Kerosene, Heating Oil+Diesel Marino
PVAY-2	Fondo Torre Atmosférica	Planta de Destilación al Vacío	Cortes para Lubricantes y Asfalto
PSAY-3	CPG	Planta de Destilación Atmosférica	Gasolina, Kerosene, Heating Oil+Diesel Marino
PVAY-3	Fondo Torre Atmosférica	Planta de Destilación al vacío	CPAA Alimentación HDS
PSAY-4	CPG	Planta de Destilación Atmosférica	Gasolina, Kerosene, Heating Oil+Diesel Marino
PVAY-4	Fondo Torre Atmosférica	Planta de Destilación al Vacío	CPAA Alimentación HDS
PSAY-5	CPG	Planta de Destilación Atmosférica	Gasolina, Kerosene, Heating Oil+Diesel Marino
PVAY-5	Fondo Torre Atmosférica	Planta de Destilación al Vacío	CPAA Alimentación HDS

2.3.2 Características de los principales crudos fraccionados en el CRP - Amuay

Desde el inicio de las operaciones de la Planta de Destilación de Vacío N° 2, se procesaba el crudo Tía Juana Medio 26 puro; sin embargo, debido a deterioros en la segregación del mismo, a partir del año 1995 se procesa una mezcla de tres crudos en las siguientes proporciones: 92 % de una mezcla del crudo Tía Juana Medio 26 (80 %) y del crudo Tía Juana Liviano (20 %) y 8 % del crudo Tía Juana 102.

* Heating Oil: Aceite de Calefacción

De igual forma, en los últimos dos años aproximadamente, se procesa en ciertas ocasiones el Crudo de Propósitos Generales (CPG) y el crudo La Rosa Mediano (LRM); sin embargo, cuando ocurre esto, los cortes laterales son enviados a los tanques de combustibles o a las unidades hidrodusulfuradoras ya que sus propiedades no permiten que estos tengan buenas características lubricantes.

El Crudo de Propósitos Generales (CPG), es obtenido de la mezcla de los siguientes crudos:

- Lagotreco Liviano (30,4 °API)
- Tía Juana Liviano (28,0 °API)
- La Rosa Mediano (23,2 °API)
- Tía Juana Mediano Sur (20,9 °API)
- Lagunilla Pesado (15,3 °API)
- Urdaneta Pesado (12,5 °API)

Este crudo por lo general se procesa en PSAY 3/4/5 ya que es el crudo por excelencia para plantas con propósitos combustibles. Su contenido de azufre y vanadio es mayor que en el crudo TJM 26.

A continuación se presenta una tabla donde se comparan los ensayos de los tres crudos que se procesan con mayor frecuencia en la Refinería de Amuay.

Tabla N° 2: Características de los crudos procesados con mayor frecuencia en las Plantas de Destilación de la Refinería de Amuay.

Propiedad	CRUDO*		
	MEZCLA (TJM 26/TJL/TJ102)	CPG	LRM
Gravedad API, °API	25,7	22,7	23,6
Gravedad específica, adim.	0,9001	0,9180	0,9123
Azufre, % peso	1,60	1,85	1,83
Punto de fluidez, °F	-70	---	-50
Punto de inflamación, °F	70	---	<68
Nitrógeno, % peso	0,294	0,090	0,340
Agua por destilación, %vol	0,30	0,21	0,13
Contenido de sal, Lb/100 Bl	3,50	3,90	4,80
Número de neutralización, mg KOH/g	0,700	1,210	0,775
Viscosidad cinemática a 100 °F, cst	26,90	49,22	48,15
Viscosidad cinemática a 122 °F, cst	19,00	30,09	35,03
Viscosidad cinemática a 140 °F, cst	14,93	21,64	27,00
Contenido de vanadio, ppm peso	211	238	240
Contenido de níquel, ppm peso	35	34	24
Factor UOP, adim	11,8	11,7	11,7

* Tomado de las Notas del Laboratorio de la Refinería de Amuay N° 98-1827, N° 95-0064 y N° 80-0062.

2.4 Descripción general de la Planta de Destilación de Vacío PVAY-2

La Planta de Destilación al Vacío N° 2 posee una capacidad de diseño de 40,5 KBD, siendo su capacidad actual de 42 KBD. La capacidad mínima de la misma es 38 KBD y la máxima de 50 KBD.

2.4.1 Descripción del proceso

En la Planta de Destilación al Vacío N° 2, se procesa parte del fondo atmosférico de la Planta de Destilación Atmosférica N° 2 PSAY-2, con la finalidad de producir destilados para lubricantes y/o combustibles. En la Figura N° 1 se muestra el diagrama de flujo de la Planta de Destilación de Vacío N° 2.

El fondo atmosférico o crudo reducido es enviado por las bombas P-2 A/B/C a través del horno F-100. El crudo es parcialmente vaporizado y pasa desde los hornos hasta la zona de vaporización instantánea de la torre de vacío T-100X. La torre de vacío T-100X se encuentra dividida en tres secciones de diferente diámetro. La sección superior y la intermedia se emplean para fraccionar los diferentes cortes. La sección inferior se utiliza para despojar el fondo de vacío.

El vapor de agua, los gases condensables y los gases no condensables pasan desde el tope de la torre T-100X hacia el condensador barométrico (Baro-100). Los no condensables son comprimidos y descargados a la atmósfera por los eyectores de vapor J-100A, J-100B y J-100C. El condensado del tambor barométrico y de los intercondensadores es alineado hacia una piscina o sumidero (S-100).

El producto de cabecera y los reflujos superiores son retirados de la caja colectora de la bandeja N° 9. Las bombas P-104 A/B permiten enviar el producto de cabecera y el reflujo superior a través de los intercambiadores E-105 A/B. La corriente pasa a través de los enfriadores E-102 A/B y E-103, para luego dividirse en

producto de cabecera y reflujo superior frío. El reflujo superior es alineado hacia la bandeja N° 11.

El producto de cabecera es alineado normalmente a tanques, de allí es enviado hacia:

- Hidrodesulfuradoras
- Mezclas de Diesel.

El corte lateral N° 1 se obtiene en la bandeja N° 8A. Este corte se despoja con vapor de agua (15 psig) en la torre T-101 de cuatro platos, para mejorar el punto de inflamación. Las bombas P-106 A/B succionan de la torre T-101 y descargan el producto a través del intercambiador E-106 B y enfriadores E-104 A/B hacia los tanques de almacenaje.

El corte lateral N° 2 y el reflujo principal son retirados de la bandeja N° 6D, para luego ser enviados por medio de las bombas P-103 A/B, hacia los intercambiadores E-6's. Parte de esta corriente (aguas abajo de los E-6's) se retorna a la bandeja N° 8 como reflujo principal. El resto de la corriente pasa a través de los enfriadores E-101 A/B hacia los tanques de almacenaje como corte lateral N° 2.

El corte lateral N° 3 se obtiene en la bandeja N° 6A. Este corte se despoja con vapor de agua (15 psig) en la torre T-102 de cuatro platos, para mejorar su punto de inflamación. La bomba P-151 retorna, parte de esta corriente a la torre T-100X como aceite de lavado. El resto de la corriente es enviada por la bomba P-107 a través del intercambiador E-106 A y enfriador E-102 C hacia los tanques de almacenaje.

Los cortes laterales N° 1 y 3 cuando no son requeridos como destilados para lubricantes, pueden ser alineados conjuntamente con el corte lateral N° 2 hacia:

- Tanques de alimentación de las Hidrodesulfuradoras.
- Unidad de Desintegración Catalítica.

El "overflow" es una corriente formada por los vapores que se condensan inmediatamente en la zona inferior a la zona de lavado y es removido de la caja recolectora del plato de chimenea ubicado por encima de la zona de vaporización instantánea. Las bombas P-108 A/B permiten enviar esta corriente hacia:

- Horno de vacío F-100.
- Tambor de compensación D-101.

El líquido proveniente de la zona de vaporización es despojado con vapor de agua (15 psig) en la sección inferior de la torre T-100X, la cual consta de cuatro bandejas. Las bombas P-102 A/B descargan el fondo de vacío a través de los intercambiadores E-100's y E-3's. Parte de esta corriente se retorna como recirculación de fondo de vacío hacia la torre T-100X. El resto del producto puede ser enviado hacia:

- Tanques de asfalto
- Fors o piscina de productos fuera de especificación
- Unidad de Flexicoquización o Flexicoker

Cuando el fondo de vacío está alineado hacia los dos primeros, éste pasa a través de la caja de enfriamiento X-1 antes de salir de la planta con la finalidad de disminuir su temperatura. [PDVSA Manual de Operaciones de las Plantas de Destilación N° 1 y N° 2 de la Refinería de Amuay, 1995]

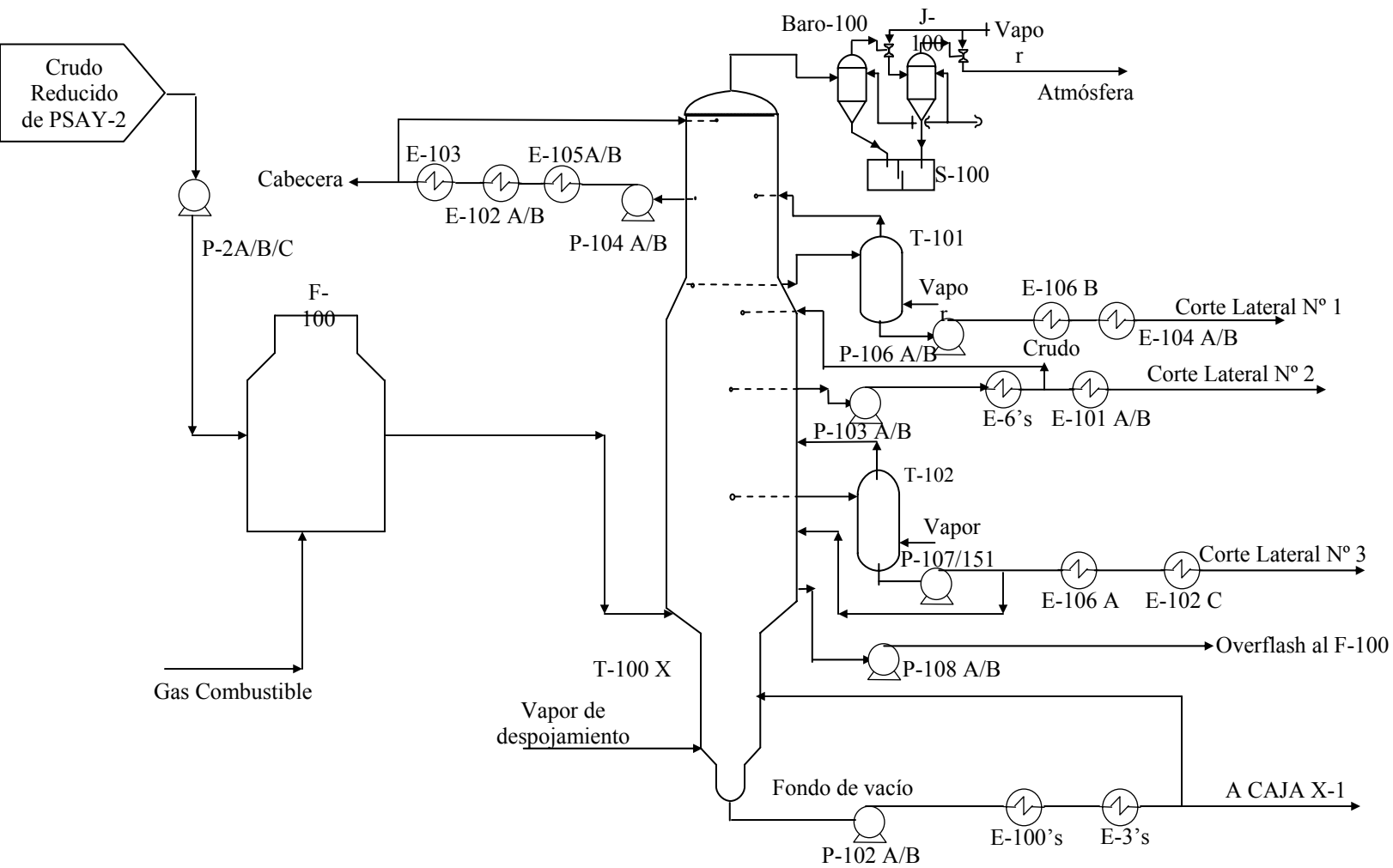


Figura N° 1: Diagrama de flujo de la Planta de Destilación de Vacío.

2.4.2 Variables de proceso más importantes y control de las mismas

La torre de destilación T-100X, como cualquier torre de destilación, posee estrictos métodos de control y múltiples variables que requieren mantenerse dentro de un rango específico. A continuación se presentan las variables más importantes y la manera de controlar las mismas: [PDVSA Manual de Operaciones de las Plantas de Destilación N° 1 y N° 2 de la Refinería de Amuay, 1995]

➤ *Temperatura del tope de la torre T-100X*

Objetivo: Controlar el punto inicial de la cabecera de vacío.

Cómo se controla: Por medio de la inyección del reflujo superior frío hacia el tope de la torre T-100X.

➤ *Temperatura de los vapores de la bandeja N° 8*

Objetivo: Controlar la viscosidad del corte lateral N° 1.

Cómo se controla: Variando la inyección del reflujo principal a la bandeja N° 8.

➤ *Temperatura de la Zona de Vaporización Instantánea (ZVI)*

Objetivo: La temperatura de la zona se utiliza como una indicación del grado de vaporización del crudo reducido en la zona de vaporización instantánea. Esta depende de la presión parcial de los hidrocarburos en la zona y del calor suministrado a la alimentación en el horno.

Cómo se controla: La temperatura de la ZVI se controla a partir de la temperatura de salida del horno F-100. Sin embargo, un cambio en el flujo de vapor de despojamiento o la presencia de un reflujo interno en la zona (overflash rebosando) afectará la relación Temperatura de salida del horno – Temperatura de la ZVI.

➤ *Retiro del corte lateral N° 2*

Objetivo: Controlar la viscosidad del corte lateral N° 3.

Cómo se controla: Por medio de un control de flujo.

➤ *Aceite de lavado*

Objetivo: Condensar el overflash para evitar arrastre de producto pesado hacia el corte lateral N° 3 y la formación de coque en la malla Glitsch.

Cómo se controla: Por medio de un control de flujo.

En las siguientes tablas se muestran las condiciones típicas de operación de la torre T-100X.

Tabla N° 3: Flujos típicos de operación de la torre T-100X.

CORRIENTE	FLUJOS, KBD
Alimentación	41,90
Cabecera a tanques	2,98
Corte lateral N° 1	7,39
Corte lateral N° 2	1,71
Corte lateral N° 3	6,11
Fondo de vacío	23,73
Aceite de lavado	1,25
Overflash	1,20
Reflujo superior	43,78
Reflujo inferior	32,42
Recirculación de fondo	3,58
Vapor de despojamiento de la torre T-100X, Klb/h	9,00

Tabla N° 4: Presiones típicas de operación de la torre T-100X.

ZONA DE LA TORRE T-100X	PRESIÓN, psi
Zona de Evaporación Instantánea	1,31
Tope	2,71

Tabla N° 5: Temperaturas típicas de operación de la torre T-100X.

ZONA DE LA TORRE T-100X	TEMPERATURA, °F
Fondo atmosférico a F-100	636
Temperatura de salida del horno F-100	782
Zona de evaporación instantánea	762
Vapores plato 6A	730
Reflujo intermedio a E6	590
Vapores a plato 7	643
Vapores plato 8	542
Tope de T-100	137
Fondo de vacío E100A	682
Reflujo intermedio de E6	483
Reflujo superior frío	125
Fondo vacío, salida de la caja X1	349

2.4.3 Especificaciones de los productos

A continuación se presenta una tabla que contiene los productos principales de la Planta de Destilación al Vacío N° 2 y sus principales especificaciones. [PDVSA Manual de Operaciones de las Plantas de Destilación N° 1 y N° 2 de la Refinería de Amuay, 1995]

Tabla N° 6: Especificaciones de los productos de la Planta de Destilación al Vacío N° 2, PVAY-2 de la Refinería de Amuay.

CRUDO	CORTE LATERAL	PRODUCTO	ESPECIFICACIONES
<i>Cortes Lubricantes</i>			
TJM 26	Cabecera	Diesel	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura correspondiente al 95 % de la destilación ASTM D-86: 680 - 690 °F
	Corte N° 1	Destilado Parafínico 150 (DP-150) ó Lube Liviano	<ul style="list-style-type: none"> • Punto de inflamación (°F): 425 • Temperatura correspondiente al 5 % de la destilación ASTM D-1160 a 10 mmHg: 435 °F • Viscosidad (SSU a 210 °F): 46-50 • Temperatura correspondiente al 95 % de recuperación de la destilación TBP en peso: 880 - 890 °F
	Corte N° 3	Destilado Parafínico 750 (DP-750) ó Lube Pesado	<ul style="list-style-type: none"> • Punto de inflamación (°F): 525 • Viscosidad (SSU a 210 °F): 104-115 • Color (Tag-Robinson): 1.0 min/2 • Temperatura correspondiente al 95 % de recuperación de la destilación TBP en peso: 1010 - 1025 °F
<i>Cortes Combustibles</i>			
CPG o LRM	Corte N° 1	VGO	<ul style="list-style-type: none"> • Máximo contenido de vanadio*: 1 ppm
	Corte N° 2	VGO	<ul style="list-style-type: none"> • Máximo contenido de vanadio: 1,5 ppm
	Corte N° 3	HVGO	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura correspondiente al 95 % de recuperación de la destilación TBP en peso: 1020 - 1040 °F • Máximo contenido de vanadio: 6 ppm

En la torre T-100X se procesa el crudo TJM 26 del cual se obtienen los productos cuyas especificaciones se detallan en la Tabla N° 6; sin embargo, en ocasiones se procesan los crudos CPG y LRM, de los cuales se obtienen cortes con propósito combustibles o gasóleos. Con el crudo TJM 26, los productos de principal interés económico son el corte lateral N° 1 y el corte lateral N° 3; los cuales, son

* Para el crudo CPG, el metal en consideración es el vanadio debido a su alto contenido del mismo; sin embargo, el crudo LRM no posee metales en proporciones que apreciablemente podrían dañar un catalizador.

utilizados como base para la elaboración de lubricantes y también son llamados Lube Liviano y Lube Pesado, respectivamente. El corte de cabecera posee especificaciones de diesel y el corte lateral N° 2 no posee especificaciones, ya que su finalidad es la de controlar la viscosidad del corte lateral N° 3, éste es enviado a la unidad de desintegración catalítica.

La Planta de Desintegración Catalítica procesa una alimentación cuyo rango de destilación puede variar desde 650 °F hasta 1050 °F, razón por la cual, si se plantea operar la torre con crudos con propósito combustibles como el CPG o LRM, la cabecera y los cortes laterales N° 1 y N° 2 se especifican como VGO, y el corte lateral N° 3 como HVGO, todos enviados a la unidad de desintegración catalítica. Las propiedades de viscosidad no tienen mayor importancia, al igual que los rangos de destilación, sólo se toma un rango de destilación como una guía de los productos y de la operación de la torre; el único valor de las destilaciones que posee importancia es el 95 % de la destilación del corte lateral N° 3, ya que es importante recuperar la mayor cantidad del fondo de vacío. Otra especificación relevante es el contenido de metales de los cortes, ya que posteriormente serán enviados a procesos como la hidrodesulfuración y la desintegración catalítica, en los cuales se emplean catalizadores que pueden ser envenenados con estos metales.

2.4.4 Descripción de los internos de la torre T-100X de PVAY-2

La torre de vacío T-100X está conformada por tres secciones: la zona de rectificación entre la cabecera y el corte lateral N° 1, la zona de rectificación entre el corte lateral N° 2 y el corte lateral N° 3 y la zona de despojamiento. A continuación se describen dichas zonas: [PDVSA Manual de Operaciones de las Plantas de Destilación N° 1 y N° 2 de la Refinería de Amuay, 1995]

➤ *Zona de Rectificación entre la Cabecera y el Corte Lateral N° 1:*

Esta zona tiene 16 pies de diámetro interno y 21 pies 5 pulg de altura. Está conformada por los platos N° 11, 10, 9 y el 8 A/B/C/D para un total de siete platos tipo perforado. El producto de cabecera y el reflujo superior es retirado de la caja colectora de la bandeja N° 9. El plato de retorno del reflujo superior es el N° 11. El corte lateral N° 1 se obtiene de la bandeja N° 8A.

➤ *Zona de Rectificación entre el Corte Lateral N° 2 y el Corte Lateral N° 3:*

Esta zona tiene 21 pies de diámetro interno y 45 pies 6 pulg de altura. Esta conformada por los platos N° 8, 7 y 6 A/B/C/D para un total de seis platos, de los cuales los N° 7 y 8 son tipo toberas (jet) y los N° 6 A/B/C/D son tipo perforados. El corte lateral N° 2 y el reflujo principal son retirados de la bandeja N° 6D, la cual es de retiro parcial. Parte de esta corriente se retorna a la bandeja N° 8 como reflujo principal. El corte lateral N° 3 se obtiene de la bandeja N° 6A.

➤ *Zona de Despojamiento*

Esta zona tiene 11 pies de diámetro interno y 15 pies 6 pulg de altura. Está formada por los platos N° 1, 2, 3 y 4, todos del tipo perforados de un solo paso. El distribuidor de vapor se encuentra ubicado en la parte inferior del plato N° 1. El espacio disponible para los platos es de 8 pies 4 pulg y el espaciamiento entre los platos es de 33 pulg. Del plato N° 1 se retira el fondo de vacío y el fondo atmosférico es alimentado al plato N° 4. Superior a la zona de despojamiento, se encuentra la zona de alimentación, la cual posee un diámetro de 21 pulg. En la parte inferior a ésta, se observa una zona de cambio de diámetro.

Adicionalmente, entre la zona de Rectificación entre el corte lateral N° 2 y el corte lateral N° 3 y la zona de Despojamiento se encuentra la zona de Lavado, formada por el distribuidor de líquido de aceite de lavado, un lecho de malla Glitsch Grid, una malla hexagonal retenedora del lecho y un plato de chimenea de retiro total, del cual se obtiene el overflash.

En la Figura N° 2 se muestra un diagrama de la distribución de los platos de la torre y en la Figura N° 3 un diagrama detallado de la zona de despojamiento. En la Tabla N° 7 se muestra una descripción detallada de los platos de la torre T-100X.

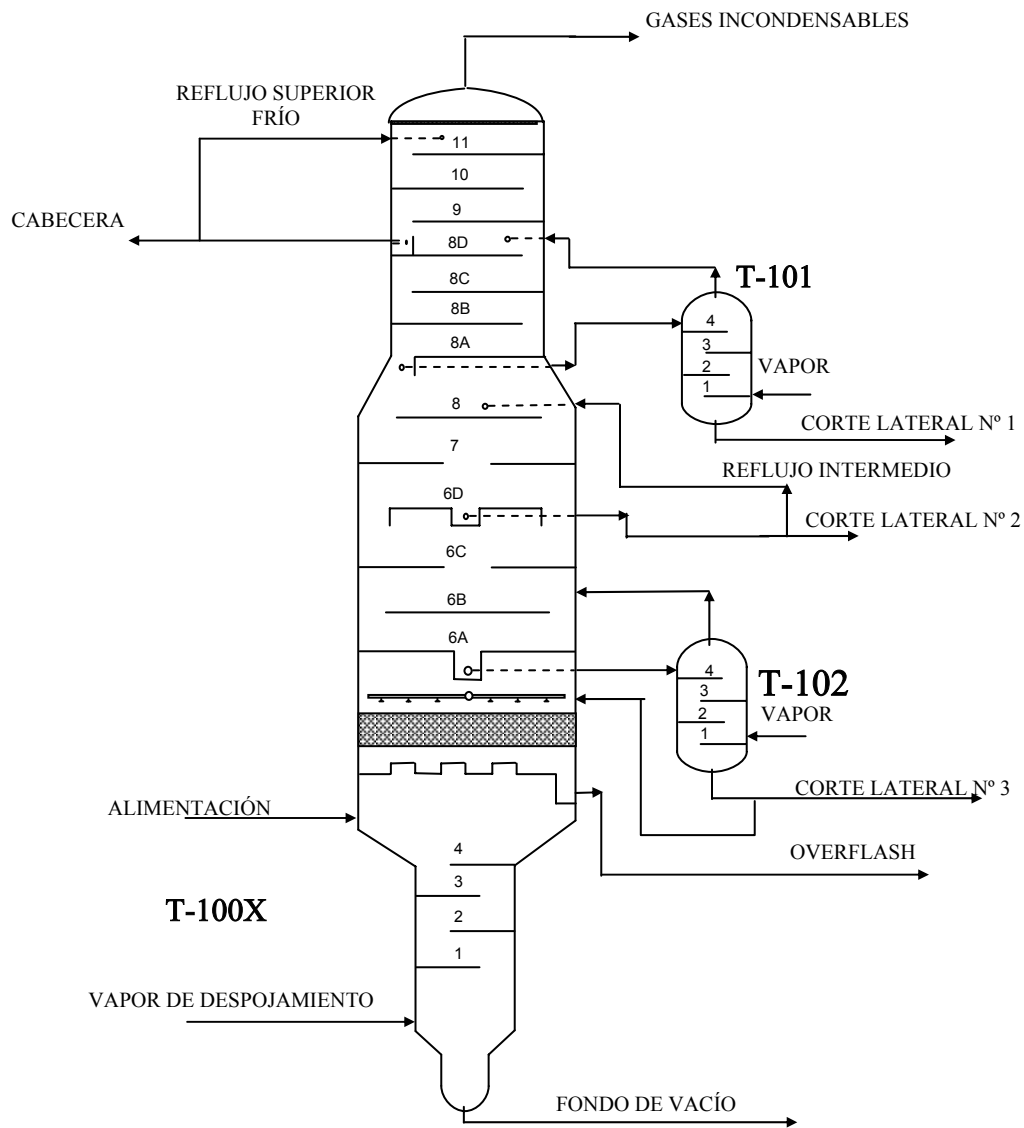


Figura N° 2: Descripción de los internos de la torre T-100X de PVAY-2.

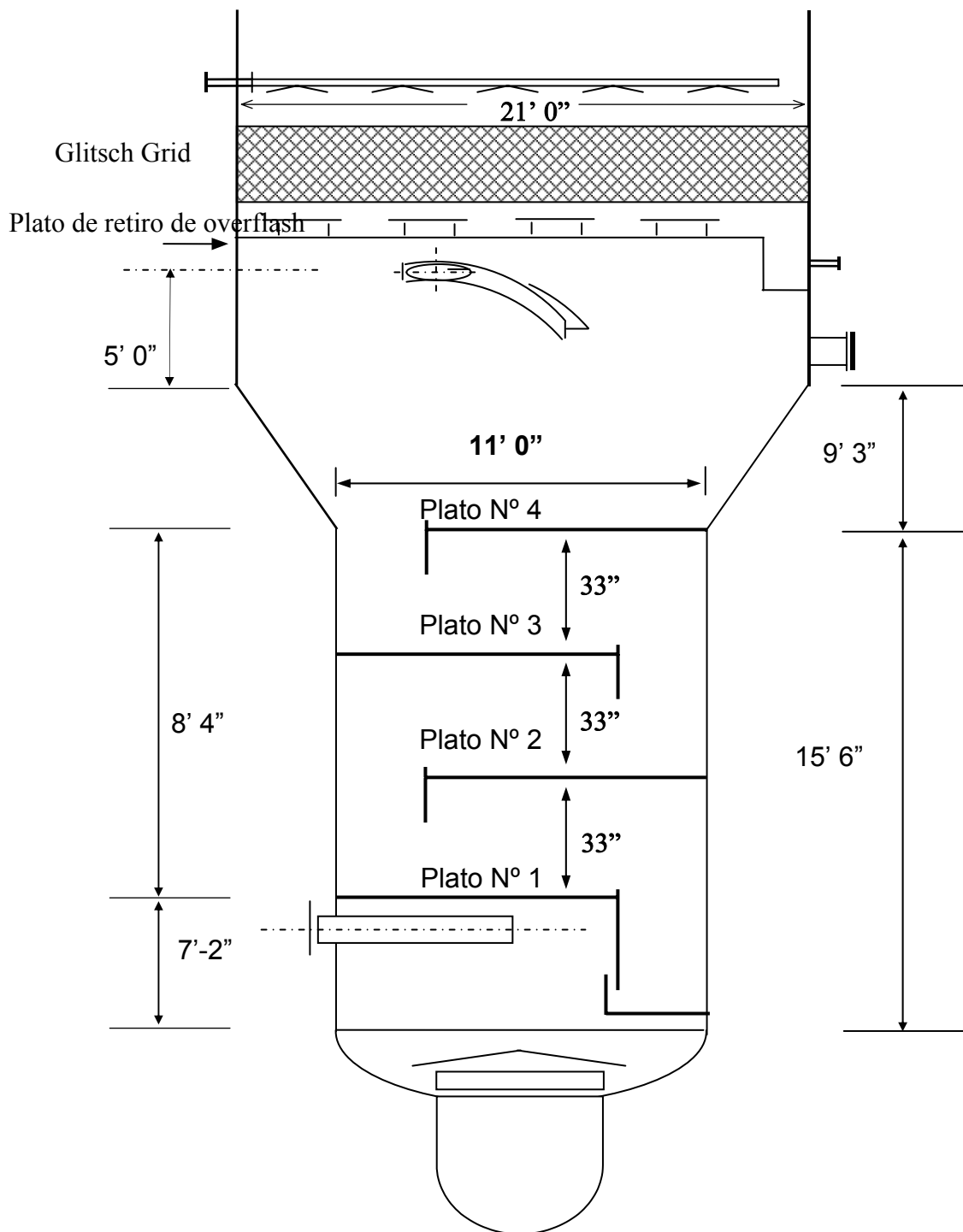


Figura N° 3: Diagrama descriptivo de la zona de despojamiento de la torre T-100X de PVAY-2.

Tabla N° 7: Datos de los internos de la torre de fraccionamiento T-100X de PVAY-2.

Descripción	Zona de Rectificación Tope - Corte Lateral N° 1							Zona de Rectificación Corte Lateral N° 1 - Corte Lateral N° 3						Zona de Despojamiento			
	16							21						11			
Número del plato	11	10	9	8D	8C	8B	8A	8	7	6D	6C	6B	6A	4	3	2	1
Tipo de plato	Perf.							Jet		Perf.				Perf.			
N° pasos	1							2		2				1			
Espaciado (pulg)	30	30	30	42	30	30	30	52	36	36	36	36	36	33	33	33	33
Área perforada (pie ²)	10,1	13	13	16	16	16	16	---	---	20	20	20	20	3,761	3,761	2,821	2,821
Área desecho (pie ²)	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,78	1,78	0	0	0	0	13,75	13,75	13,75	13,75
Diam. orificios (pulg)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	2	2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,75	0,75	0,75	0,75
Tabbed área (pie ²)	---	---	---	---	---	---	---	62,1	62,1	---	---	---	---	---	---	---	---
Número de lengüetas	---	---	---	---	---	---	---	2500	2500	---	---	---	---	---	---	---	---
Claro bajante ext.(pulg)	1,85	2,58	1,95	1,5	1,08	1,18	1,12	1,5	1,5	0	1,28	0	1,34	2	2	1,5	1,5
Claro bajante cen.(pulg)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1,5	---	1,2	---	---	---	---	---
Alt. Rebose sal. BE (pulg)	0	0	0	1,5	1,5	1,5	1,5	0	---	2	---	2	---	---	---	---	---
Alt. Rebose sal. BC (pulg)	---	---	---	---	---	---	---	---	0	---	2	---	2	---	---	---	---
Ancho bajante ent. (pulg)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	18	6	6	6	30	30	30	30
Ancho bajante sal. (pulg)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	8	6	6	6	30	30	30	30
Espesor del plato (pulg)	0,074			0,125				0,125						0,074			
Tipo de bajante	Arc							Arc	Cor	Arc	Cor	Arc	Cor	Cor			

2.4.5 Variaciones en el diseño de los internos de la torre T-100X de PVAY-2

La Planta de Destilación de Vacío N° 2, inició sus operaciones en el año 1950. A partir de esa fecha se han realizado muy pocas modificaciones en los internos de la misma, con la finalidad de optimar el fraccionamiento de la unidad.

En el año 1989, se realizaron modificaciones en los platos N° 6A, 6C y 6D, ubicados entre los cortes N° 2 y N° 3 de la torre de vacío T-100X de PVAY-2 (ver figura N° 2). En la evaluación realizada con anterioridad, se determinó que la misma estaba operando con filtración excesiva a través de los orificios de los platos, ahogamiento a la entrada de los bajantes externos y falta de sello en los bajantes externos. Estas anomalías originaron un fraccionamiento deficiente entre el corte lateral N° 2 y el corte lateral N° 3, y entre éste último y el fondo de vacío, proporcionando una pérdida de rendimiento del corte lateral N° 3. Las modificaciones propuestas a los platos consistieron en reducir el área perforada de los platos, aumentar el área de entrada a los bajantes externos y disminuir el espacio libre de los bajantes. [Trompiz C., 1989]

Posteriormente, en el año 1993, se realizó un estudio motivado por el fraccionamiento deficiente que se estaba obteniendo en la torre debido a fallas en el diseño original de la misma. Este diseño original deficiente estaba ocasionando:

- Degradación del producto de Cabecera, de Diesel a VGO, por un alto 95 % en la destilación D-86 (710 - 720 °F vs. 690 °F máximo).
- Dificultad para producir Lube Pesado, siendo necesario reducir su rendimiento para alcanzar la especificación de ese producto.
- Producción de Lube Pesado en un rango de destilación muy amplio (720 - 1060 °F), que impide obtener la base parafínica con el índice de viscosidad deseado.

Los cambios propuestos para esta oportunidad consistieron en sustituir los platos (excepto los de la zona de reflujó intermedio y los de fondo) por empaque estructurado y retirar un nuevo producto de la torre T-100X. Estas modificaciones permitirían corregir las desviaciones mencionadas anteriormente y aumentar el punto de corte entre el corte lateral N° 3 y el fondo de vacío, con grandes incentivos económicos. Sin embargo, estas modificaciones no se llevaron a cabo y los problemas de calidad en los productos continuaron. [Trompiz C., 1993]

Es importante destacar que los problemas operacionales presentados para obtener la Cabecera y el Lube Liviano en especificación, se deben a que el número de etapas teóricas necesarias para esto, es de cinco a seis, cuando en la actualidad, la zona está representada por dos etapas teóricas. Se conoce el número de etapas necesarias, ya que el grupo de Ingeniería de Procesos ha realizado simulaciones de la torre, con la finalidad de encontrar una configuración que permita obtener las especificaciones de los productos. De acuerdo al espacio disponible en la zona, las etapas teóricas pueden lograrse con platos de alta eficiencia o con empaque estructurado.

En el año 1996 ocurre un serio accidente en la torre de destilación T-100X debido a una explosión interna en la torre, ocasionando graves daños en los internos de la misma y provocando la parada inevitable de la planta. Todos los platos del nivel superior (desde el plato N° 8A al plato N° 11) e intermedio (desde el plato N° 6A al plato N° 6D), se encontraron desprendidos y en alto porcentaje deformados, al igual que los de la sección de despojamiento.

Las reparaciones realizadas a los platos de fondo consistieron en acondicionar las láminas desprendidas y en su posterior colocación. Con respecto a los platos de la sección intermedia, se disminuyó el área perforada por recomendación del grupo de Ingeniería de Procesos. Los platos de la zona superior fueron construidos nuevos, aunque modificados, ya que los existentes, del tipo de copas de burbujeo se

sustituyeron por platos tipo perforados pues los anteriores no se encontraban disponibles para el momento de la reparación y fue necesario plantear un nuevo diseño.

A pesar de las modificaciones, durante la puesta nuevamente en servicio de las torres T-100X, se detectó la ausencia del corte lateral N° 1. Se efectuaron ajustes y revisiones desde el punto de vista de procesos y operaciones, tornándose necesario la parada de la planta, esta vez en el mes de Enero de 1997. Las modificaciones realizadas consistieron en sellar el área perforada de los platos N° 8A, 8B, 8C, y 8D. [Trompiz C., 1997]

La última evaluación hidráulica de los internos de la torre se realizó en el mes de Agosto del año 2000 para cargas de 40 y 44 KBD. De esta evaluación se obtuvieron los siguientes resultados: [Infante H. y Marling Guedez, 2000]

- Los platos de la sección de fraccionamiento del corte lateral N° 2 (platos N° 7 y 8) al igual que los platos de fondo (platos N° 1, 2, 3 y 4) y el empaque de la zona de lavado, presentan un comportamiento satisfactorio cuando la torre opera a mínima y máxima carga.
- Los platos de la sección de fraccionamiento del corte lateral N° 1 (8A y 8B) observaron un alto porcentaje de arrastre (72% y 26% respectivamente) para una carga de 40 KBD a la unidad y un máximo de 20 % de arrastre permitido.
- El plato de retiro de cabecera (plato N° 9) presenta alta velocidad en el llenado del bajante.

Luego de esta última evaluación, se realizó la parada de planta programada para Octubre del año 2000. En esta parada se llevaron cabo las últimas modificaciones en los internos de la torre, destacándose la colocación de una altura de rebosadero de salida de los bajantes externos en los platos N° 6B y 6D, ya que se producía un inadecuado sello de líquido y un pobre fraccionamiento en los mismos;

además se incrementó el área perforada y la altura de rebosadero de los platos N° 8A, 8B, 8C y 8D, para minimizar el arrastre de los vapores ascendentes, desde el plato superior de reflujo principal (pumparound) hacia la zona de fraccionamiento cabecera – corte lateral N° 1, y se instaló una bandeja de sello en el interior de la caja de retiro del corte lateral N° 1 de la T-100X, con el fin de garantizar el sello de líquido y el correcto fraccionamiento en la serie de platos N° 8A, 8B, 8C y 8D. [Chinca J., 2000]

Posterior a esta parada de planta, la torre T-100X no ha sufrido mas modificaciones en sus internos; sin embargo, debido al fraccionamiento deficiente entre los cortes, se torna necesario estudiar la operación de la misma, realizar continuas evaluaciones hidráulicas y proponer cambios en los internos de la torre para ser considerados en las próximas paradas.

En el año 2001, se plantea nuevamente un diseño con empaques en la torre T-100X, semejante al planteado en el año 1993, con la finalidad de eliminar los mismos problemas que se mencionaron en dicho memorándum; sin embargo, no se llevaron a cabo las modificaciones y los problemas continúan en la actualidad. La razón por la cual no se han llevado a cabo estos proyectos, que permitirían finalmente obtener todos los productos de la torre T-100X en especificación, es porque el mercado de lubricantes en los últimos años se ha encontrado muy deprimido. Las bases lubricantes producidas en la refinería sólo son enviadas al mercado nacional, ya que no cumplen especificaciones de mercados extranjeros. Debido a todo esto, la evaluación económica del mismo, lleva a la conclusión de que actualmente no es rentable realizar grandes cambios en la torre, como sustituir la mayor parte de los platos por empaque [García, L., 2001]

2.5 Torres de platos

2.5.1 Características de los platos de columnas

Los aspectos más importantes a considerar en la evaluación de los platos de columnas son: eficiencia, capacidad, flexibilidad y caída de presión. [Rincón C. y Meriño F., 1995]

➤ **Eficiencia Global**

Es una medida de la efectividad del contacto líquido – vapor en el plato. Expresa la separación que se tiene realmente en comparación con la separación que se obtendrá teóricamente en estado de equilibrio. Toma en cuenta la no idealidad del plato. El número de platos ideales (teóricos), es igual al número de platos no ideales (reales) multiplicado por la eficiencia global del plato. [Manual de Diseño de Proceso PDVSA, 1995]

$$Eo = 100 * \frac{ET}{ER} \quad (1)$$

Donde:

Eo: Eficiencia global, %

ET: Número de etapas teóricas que se utilizarán para la simulación de la torre, adimensional.

ER: Número real de platos de la torre, adimensional.

➤ **Capacidad Máxima y Mínima**

La capacidad máxima es la carga máxima de vapor que la torre puede manejar, la cual depende principalmente de las propiedades del sistema. La capacidad máxima suele representarse como una relación entre la carga de vapor de la torre y la

carga de vapor máxima, la cual no debe excederse del 90 % [Manual de Diseño de Proceso PDVSA, 1995]

Una velocidad lineal del vapor demasiado alta a través de los orificios del plato y/o a través del área libre de la torre puede causar:

- Arrastre o inundación por chorro.
- Alta caída de presión a través del plato, causando un llenado excesivo del bajante y por consiguiente inundación del plato.
- Dependiendo de las propiedades del sistema (densidades del vapor y del líquido, y tensión superficial del líquido), flujos de vapor mayores a la llamada “capacidad máxima”, atomizarán el líquido y lo arrastrarán hacia arriba.

Los flujos excesivos de líquido pueden causar:

- Inundación del plato debido a la segregación insuficiente en los bajantes, excesiva caída de presión en el plato y excesivo llenado del bajante.
- Goteo o vaciado a flujos bajos de vapor.
- Altos gradientes de líquido, los cuales originan una mala distribución del vapor y una pobre eficiencia de contacto (plato tipo casquete de burbujeo).

Con respecto a las cargas mínimas, un flujo de vapor demasiado bajo puede causar:

- Goteo o vaciado a flujos altos de líquido.
- Pobre contacto y baja eficiencia del plato debido al mezclado inadecuado de vapor/líquido.

Si el flujo de líquido es muy bajo, puede ocurrir lo siguiente:

- Arrastre a flujos altos de vapor.
- Desvío del vapor ascendente por el bajante, en caso de que la altura de líquido claro sobre el plato no sea igual o mayor que el espacio libre en el bajante a flujo mínimo.

- Pobre contacto y baja eficiencia, debido a un contacto inadecuado en el plato.

Los platos presentan límites en cuanto a la cantidad de flujo que ellos pueden manejar mientras mantienen una eficiencia aceptable. Un plato de alta capacidad puede manejar una mayor cantidad de flujo que un plato de baja capacidad del mismo tamaño.[Rincón C. y Meriño F., 1995]

- **Flexibilidad Operacional**

La flexibilidad operacional se define como la relación entre la carga de vapor en operación normal (o diseño) y la carga de vapor mínima permitida. La mínima carga permitida generalmente está en el límite de goteo excesivo, mientras que la carga para operación normal está separada con un margen de seguridad del límite donde la inundación comienza a ser relevante. Ésta da a la torre un rango de operación que asegura un funcionamiento satisfactorio de los platos y por ende la calidad de los productos. La flexibilidad operacional es también conocida como rangeabilidad (turndown) y ésta se define de la siguiente manera: [Rincón C. y Meriño F., 1995]

$$TDR = \frac{\textit{Capacidad máxima}}{\textit{Capacidad mínima}} \quad (2)$$

Donde:

TDR: Flexibilidad operacional de una columna, adimensional.

- **Caída de Presión**

Los platos forman una resistencia al flujo de vapor y se crea una caída de presión usualmente del orden de unos 10 cm de líquido de plato a plato. La presión va aumentando a medida que el plato está más cerca del fondo de la columna, de modo

que el fondo de la columna tiene una presión más alta que el tope de la misma. Generalmente, la caída de presión no es un factor crítico, excepto en columnas al vacío donde las bajas presiones son generadoras de costos considerables. [Rincón C. y Meriño F., 1995]

2.5.2 Tipos de flujo en los platos

Existen dos tipos de flujos en platos de columnas, dependiendo del diseño escogido del plato:

- **Platos con flujo dual (Dual Flow Trays):** El vapor y el líquido van en contracorriente y dirigidos en forma paralela.
- **Platos con flujo cruzado (Cross Flow Trays):** Es el tipo más comúnmente utilizado para diseño de columna de destilación. Este flujo se caracteriza por que el líquido cruza el plato a través del vapor que está subiendo. Este tipo de flujo se identifica fácilmente por la presencia de accesorios denominados bajante (downcomer) los cuales se utilizan para desalojar el líquido del plato, al plato inmediatamente inferior.

2.5.3 Descripción de los platos más comunes

A continuación se describen brevemente los platos frecuentemente utilizados en las operaciones de destilación y sus principales áreas de aplicación. Posteriormente se hará una descripción mas detallada de los platos perforados ya que la zona de despojamiento de la torre T-100X de PVAY-2 posee este tipo de plato.

➤ **Platos tipo casquete de burbujeo "bubble-cap tray"**

Este plato se caracteriza por ser plano y perforado, con tubos pequeños en cada perforación, sobre estos tubos están colocados los casquetes (tazas invertidas). Los casquetes no siempre tienen aperturas (huecos) por donde sale el vapor. El

líquido y la espuma son atrapados sobre el plato, alcanzando por lo menos una altura igual a la del casquete o a la del "weir" o vertedero. Esto le da la habilidad única de operar a bajas velocidades de vapor y líquido, por lo tanto, provee buena eficiencia y flexibilidad (ver figura N° 4).

Hoy en día estos platos son muy poco usados, debido a su alto costo, cerca de 50 a 100 % más caros que los platos perforados. La caída de presión es muy alta y presentan menor capacidad que otros platos. Las copas de burbujeo fueron muy populares hasta 1950, pero son raramente usadas en los nuevos diseños. [Manual de Diseño de Proceso PDVSA, 1995]

➤ **Platos perforados "sieve tray"**

Este plato es plano y perforado. El vapor asciende por los orificios ocasionando un efecto equivalente a un sistema de multiorificios (ver figura N° 4). La velocidad del vapor evita que el líquido fluya a través de los orificios (goteo). A velocidades bajas el líquido gotea (weeping) y no hace contacto con todos los orificios del plato, reduciendo considerablemente la eficiencia. Esto le da a estos platos una flexibilidad operacional "turndown" relativamente pobre. Estos platos son fáciles de fabricar y son bastante económicos. [Manual de Diseño de Proceso PDVSA, 1995]

Para la mayoría de los servicios de fraccionamiento, los platos perforados representan la primera selección. Estos son de bajo costo y presentan una buena capacidad, excelente eficiencia, baja caída de presión y relativamente buena flexibilidad (hasta 3/1). Pueden ser usados en servicios sucios, siempre que los platos sean diseñados para diámetros de orificios grandes (0,75 a 1,0 pulg.). [Manual de Diseño de Proceso PDVSA, 1995]

➤ **Platos perforados sin bajante "dual-flow tray"**

Son platos perforados sin bajante, poseen alta capacidad, moderada eficiencia y baja flexibilidad; sin embargo estos platos deben ser apropiadamente diseñados para las cargas a las cuales van a ser operados, de lo contrario no funcionarán satisfactoriamente.

Estos platos operan con líquido goteando continuamente a través de los orificios, lo cual afecta su eficiencia. Debido a la ausencia de bajante, este plato ofrece mayor área de contacto, por lo tanto proporciona mayor capacidad que cualquiera de los platos más comunes. Esto lo vuelve una herramienta ideal para la remodelación de un sistema en donde sea posible sacrificar algo de eficiencia. La ausencia de bajantes y la gran cantidad de área abierta hacen a este plato el más apropiado para el manejo de servicios con problemas de ensuciamiento, "slurries", y servicios corrosivos.

Estos platos también deberían ser considerados en sistemas donde se maneje aceite lodoso en la torre. Son los más económicos, de fácil instalación y mantenimiento. [Manual de Diseño de Proceso PDVSA, 1995]

➤ **Platos tipo válvula "valve tray"**

En este tipo de plato cada hueco es del orden de unos 40 mm y tiene instalada una válvula. En estos platos, el lloriqueo es reducido por la interrupción del paso de líquido por las válvulas. Estas pueden ser circulares o rectangulares, con o sin una estructura "caging". El disco de la válvula sube a medida que aumenta el flujo de vapor (ver figura N° 4).[Manual de Diseño de Proceso PDVSA, 1995]

A medida que el flujo de vapor disminuye la apertura del disco disminuye, lo que evita el goteo del líquido a través de los orificios, dando a este plato su principal

ventaja: buena operación a flujos bajos, es decir, que proporciona gran flexibilidad (elevado "turndown"). Estos platos pueden ser usados cuando los requerimientos de flexibilidad son mayores de 3 a 1 (turndown 30 %). Una desventaja que ofrece este tipo de válvula es mayor caída de presión y mayor costo.

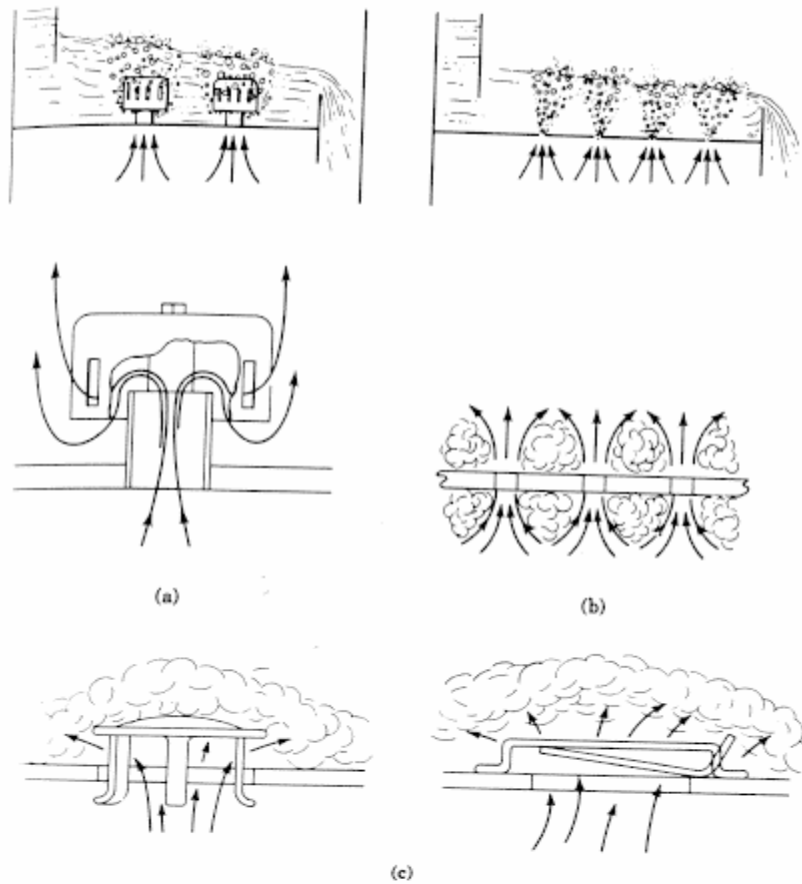


Figura N° 4: Flujo de vapor a través de los platos (a) Tipo casquete de burbujeo (b) Perforado (c) Tipo válvula.

➤ **Platos tipo surtidor "jet trays"**

Este plato es plano y posee perforaciones debido a la elevación de las llamadas lengüetas o "tabs", las cuales se orientan en una elevación aproximada de 45° (ver figura N° 5). La alta capacidad de manejo de líquido en este tipo de plato hace que sean la primera selección para servicios de transferencia de calor, destilación atmosférica, fraccionamiento primario en desintegración catalítica y desintegración con vapor. Ellos pueden ser usados en servicios donde hay ensuciamiento, pero no deben ser usados en servicios que requieran un largo tiempo de residencia.

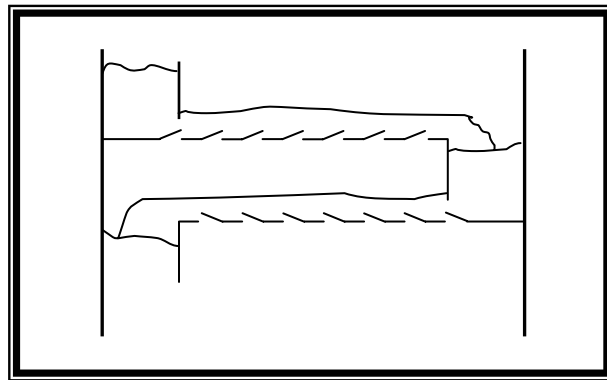


Figura N° 5: Esquema de platos tipo jet.

2.5.4 Platos de diseño actual

En los últimos años, el diseño de internos de columnas de destilación ha sido una prioridad para la compañía Sulzer Chemtech. La línea de productos incluye un completo rango de internos para la transferencia de calor, tales como platos convencionales y de alto desempeño, empaque estructurado y al azar y otros equipos

asociados a la columna. Entre los platos más comunes de esta compañía se encuentran los siguientes: [Manual de Productos Sulzer, 2000]

- **Plato de Válvula Flotante BDH:** Las válvulas son rectangulares y paralelas a la dirección del flujo de líquido, ocasionando una circulación lateral del vapor, lo que minimiza el lloriqueo. Esto contribuye a una mejora en el perfil eficiencia/capacidad cuando se compara con platos de válvulas circulares. Las válvulas de tamaño mas grande BDP, son utilizadas para aplicaciones especiales.

Ventajas:

- Mejora el flujo de líquido debido a la circulación lateral del vapor.
- Mejor capacidad y flexibilidad, comparado con platos de válvulas circulares.
- No hay flujo de líquido por debajo de la válvula hacia la entrada del plato inferior y minimiza el lloriqueo.
- El lado superior de la válvula es reemplazable.

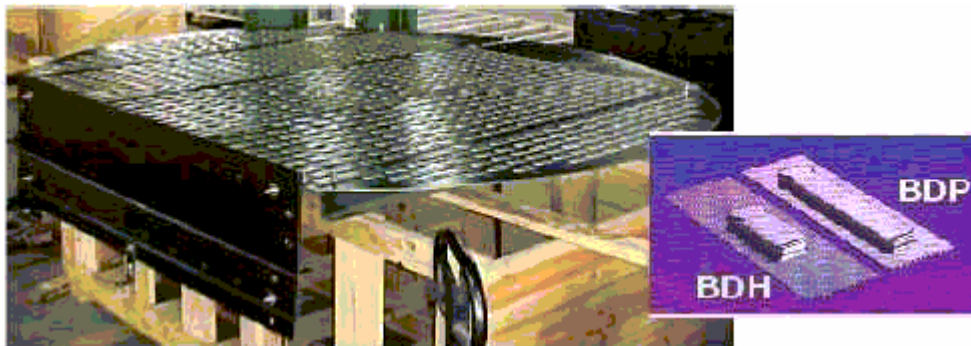


Figura N° 6: Plato de Válvula Flotante.

- **Plato de Válvula Fija V-Grid SVG:** Estos platos contienen válvulas fijas rectangulares directamente estiradas por presión de la superficie del plato y orientadas paralelas a la dirección del flujo de líquido. Estos platos combinan los atributos de los platos perforados y los de válvula circular. Los platos LVG, de mayor tamaño de válvula, son utilizados en aplicaciones especiales.

Ventajas:

- No posee partes móviles.
- Mejora el flujo de líquido debido a la circulación lateral del vapor a través de los orificios de las válvulas.
- Mejor capacidad y flexibilidad, comparado con platos perforados.
- Contacto íntimo entre el vapor y el líquido, lo que provee alta eficiencia.
- Alta resistencia al ensuciamiento.
- De bajo costo, semejante al de los platos perforados.

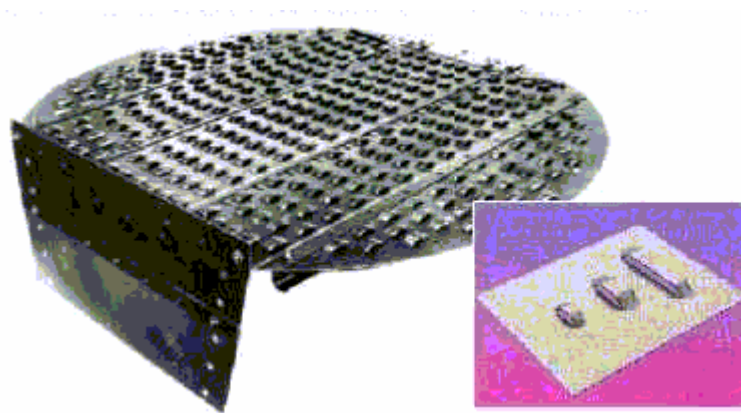


Figura N° 7: Plato de Válvula Fija SVG.

- **Platos Mini V-Grids:** Son platos con pequeñas válvulas fijas, semejantes a los platos SVG.

Ventajas:

- Alta eficiencia y menor caída de presión que los platos perforados o de válvula.
- Gran capacidad, comparada con la de los platos perforados o de válvula.
- Mejora el flujo de líquido debido a la circulación lateral del vapor a través de los orificios de las válvulas.

- Alta flexibilidad, por lo que estos platos son muy utilizados en diseños donde la carga a la torre varía mucho.

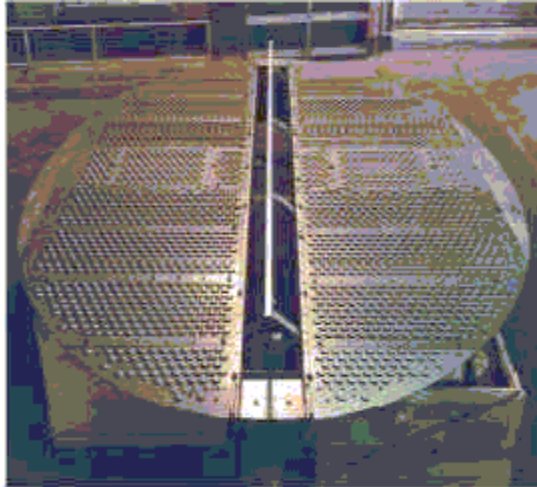


Figura N° 8: Plato Mini V-Grids.

2.5.5 Comparación entre los tipos de platos más comunes

La tabla N° 8 compara los principales tipos de platos. La comparación es general, asumiendo que el plato está bien diseñado e instalado. Los platos perforados y tipo válvula tienen capacidades, eficiencia, arrastre y caída de presión comparables. Los platos tipo casquete de burbujeo tienen mejor capacidad y eficiencia pero mayor arrastre y caída de presión al compararlos con platos perforados y tipo válvula. Los platos sin bajante presentan mejor capacidad pero una eficiencia inferior a la de los demás. [Manual de Diseño de Proceso PDVSA, 1995]

La flexibilidad que poseen los platos tipo válvula es mucho mejor que la que presentan los platos perforados, pero no tan buena como la que se obtiene con los platos tipo casquete de burbujeo. Estos últimos son los más apropiados para servicios que manejan un flujo de líquido extremadamente bajo (menos de 2 gpm por pie de diámetro por paso). Los platos tipo casquete de burbujeo son los más costosos, los

platos perforados son los más económicos y los tipo válvula son sólo un poco más costosos.[Gómez A., 2001]

Generalmente, los platos tipo casquete de burbujeo y los platos sin bajante son utilizados en aplicaciones especiales. Los primeros se prefieren para aplicaciones donde se requiere una gran flexibilidad "turndown" y para servicios que necesitan la eliminación de fugas. Los platos sin bajante se utilizan en servicios que manejan sólidos, que tienen gran tendencia al ensuciamiento y/o a la corrosión, y cuando se remodela "revamp" una torre para aumentar su capacidad. [Gómez A., 2001]

Para la mayoría de otros servicios tanto los platos perforados como los tipo válvula son la mejor elección. Los perforados están en ventaja cuando el servicio es corrosivo, tiene tendencia al ensuciamiento o la flexibilidad "turndown" no es importante; mientras que los tipo válvula son preferidos cuando la flexibilidad y eficiencia son parámetros importantes.

Considerando el alto costo de la energía, los ahorros que se tienen en períodos cortos de disminución de la capacidad de procesamiento "short turndown", normalmente justifican la diferencia de precios entre los platos perforados y los platos tipo válvula. Esto ha logrado que últimamente los tipo válvula se vuelvan más populares. [Gómez A., 2001]

Los platos tipo jet, debido a su alta capacidad de manejo de líquido y de vapor y su bajo costo, han reemplazado a los platos tipo casquete de burbujeo en muchos servicios; sin embargo, recientemente estos platos han sido sustituidos por los platos perforados, los cuales son más económicos y tienen una amplia flexibilidad. Los platos tipo jet son los más utilizados en servicios de transferencia de calor.

Los platos de válvula fija son considerados como una alternativa de los platos perforados, con una flexibilidad ligeramente mayor que estos. Son platos

especialmente recomendados para servicios con ensuciamiento, con capacidad, eficiencia y costo semejante al de los platos perforados. Son útiles para evitar el arrastre y el lloriqueo.

Los platos más económicos son los perforados y los perforados sin bajante, así como los de válvula fija. Los platos tipo válvula poseen un costo de 10 a 20 % mayor que el de los perforados, los platos tipo jet, son aproximadamente 5 % más caros y los tipo casquete de burbujeo cuestan el doble.

Tabla N° 8: Comparación de los tipos de platos más comunes.

Tipo	Perforado	Válvula	Casquetes de Burbujeo	Perforado sin Bajante	Jet	Válvula Fija
Capacidad	Alta	Alta a Bastante Alta	Moderadamente Alta	Bastante Alta	Muy Alta	Alta
Eficiencia	Alta	Alta a Bastante Alta	Moderadamente Alta	Menor que Cualquier Otro Tipo	Baja a Media	Alta
Flexibilidad	Media a Buena, Relación 2/1, 3/1	Buena Relación 4-5/1	Excelente Mejor que el tipo válvula. Buen comportamiento a flujos de líquido extremadamente bajos.	Baja Más baja que la de los platos perforados. No es adecuado para operaciones con cargas variables	Media Relación 2/1	Media a Buena. Mayor que la de los platos perforados
Arrastre	Moderado	Moderado	Alto. Aproximadamente 3 veces mayor que en platos perforados	Bajo a moderado.	Moderado	Bajo
Caída de presión	Moderada	Moderada	Alta	Baja a moderada	Alta	Moderada
Costo	El más bajo	Moderado	Alto	Bajo	Bajo a Medio	Bajo

2.5.6 Platos Perforados

2.5.6.1 Aplicaciones

Los platos perforados pueden ser usados en casi todos los servicios de destilación, incluyendo los sistemas donde hay transferencia de calor. Pueden ser diseñados para operar satisfactoriamente dentro de una amplia variedad de condiciones de operación. Poseen una capacidad igual o mayor que los platos tipo casquete de burbujeo bien diseñados, debido a que el arrastre no se hace significativo hasta que el flujo de vapor alcanza un 90 % del punto de inundación. [Palacios E., 2001]

Los platos perforados no son recomendados para servicios que requieran de una alta flexibilidad (mayor de 3:1), en estos casos es preferible usar dispositivos de sellado positivo (casquetes de burbujeo o válvula) aunque esto aumente los costos. Estos platos pueden ser usados en servicios donde hay ensuciamiento, pero en estos casos es necesario considerar grandes orificios de hasta 3/4 a 1 pulg.

2.5.6.2 Consideraciones básicas de diseño

Para llevar a cabo un diseño exitoso es imprescindible entender la hidrodinámica de vapor y de líquido en el plato, por lo cual primeramente se describirá la hidráulica en el plato y las condiciones limitantes de operabilidad. Posteriormente, se hará una discusión de las variables que afectan de una u otra forma el diseño de platos perforados. [Manual de Diseño de Proceso PDVSA, 1995]

➤ Hidráulica de flujo

Para analizar la dinámica del flujo sobre un plato perforado, primeramente se debe considerar que el mismo se hace bajo condiciones estacionarias ideales. Bajo condiciones normales, el vapor fluye a través de las perforaciones y se expande

dentro del líquido que atraviesa el plato formando una mezcla turbulenta que se convierte en espuma. A medida que la espuma se mueve hacia el vertedero de salida, se produce una eficiente transferencia de masa líquido - vapor, debido a la gran área interfacial. Luego la espuma y el líquido descienden entonces por el bajante y se termina de separar el vapor del líquido.

Cuando el líquido desciende a través del bajante al punto A de la Figura N° 9, en algunos casos se puede tropezar con el vertedero de entrada para asegurar un buen sellado del bajante. Entre los puntos A y B, se puede encontrar la zona de calma de entrada, cuya altura de líquido claro está dado por h_{ci} . Entre B y C ó entre A y C, si es el caso, comienza entonces la zona de burbujeo, que es donde se encuentra el área activa del plato (área de burbujeo).

Debido al paso de la fase gaseosa a través del líquido que fluye en forma transversal, se crea una turbulencia, que es la causa de la espuma. Esta espuma sobre el área de burbujeo del plato genera una altura visual de la masa aereada h_f . A medida que la altura de la espuma aumenta, disminuye la densidad de la misma, por lo cual el líquido, de mayor densidad, se queda cerca del plato. Esta masa de espuma posee un cabezal hidrostático h_t que puede ser medido como se muestra en la figura por un manómetro. Cuando esta masa se mueve hacia el vertedero por causa del pequeño gradiente de líquido formado, comienza a deshacerse al llegar a la zona de calma de salida (entre C y D), quedando el líquido claro con una altura equivalente a h_{co} , altura que debe sobrepasar al vertedero para entonces descender por el bajante.

El líquido al descender por el bajante, está en presencia de condiciones turbulentas y forma una segunda zona de espuma, en donde el líquido con una mayor densidad llega el plato inferior y nuevamente el vapor asciende. El líquido atraviesa el área activa o de burbujeo, formando la masa aereada.

En los platos perforados generalmente se considera despreciable el gradiente de líquido debido a dos factores: Primero, la cubierta del plato está libre de obstrucciones y por lo tanto ofrece muy poca resistencia al flujo de líquido; segundo, el líquido que sale del bajante y entra al plato tiene un cabezal de velocidad que usualmente excede el gradiente hidráulico, el cual de lo contrario, se necesitaría para mover el líquido a través del plato. En los platos con cajas de receso o vertederos de entrada normalmente esta velocidad se disipa. Sin embargo, estos mecanismos son usados para asegurar un buen sellado del bajante a flujos bajos de líquido, en cuyo caso el gradiente es insignificante.

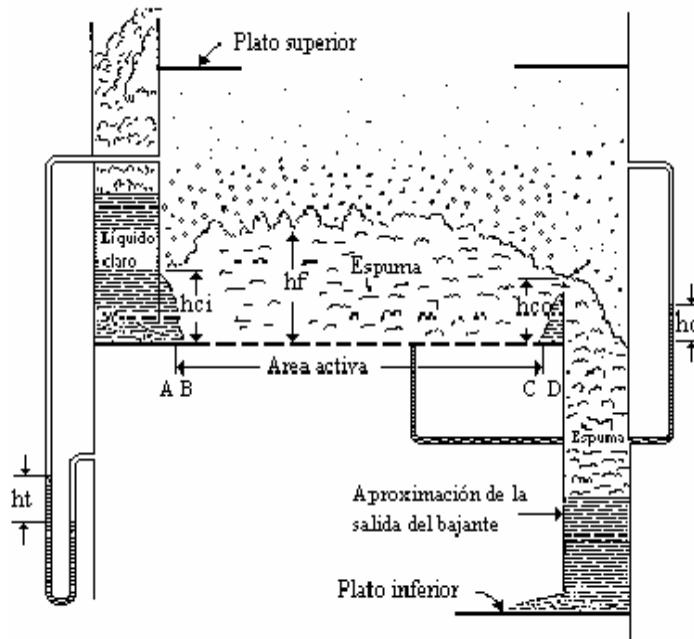


Figura N° 9: Diagrama de flujo en platos perforados.

➤ **Condiciones limitantes de operación**

El factor determinante del comportamiento de cualquier plato son los flujos de líquido y de vapor que pasan por el plato, delimitando éstos una región de operación satisfactoria. Para platos perforados esta región está representada por el área ABCD de la Figura N° 10.

En el punto A de la figura, existe un flujo de vapor muy bajo con un flujo de líquido moderado, que representa el **punto de goteo**. Si se disminuye aún más el flujo de vapor, el goteo será tan severo que nada de líquido pasará por el vertedero, por lo que el bajante no será sellado y se creará una inestabilidad hidráulica. La línea AB representa goteo cuando el flujo de vapor es insuficiente para soportar el líquido sobre el plato, cayendo éste a través de las perforaciones. Algo de goteo reducirá la eficiencia ligeramente.

La línea AD, corresponde a un elevado flujo de vapor y bajos flujos de líquido, esto representa el límite tolerable de **arrastre**. En el punto D ocurre un arrastre de grandes gotas de líquido al plato superior debido al alto flujo de vapor. Esto provoca que no exista el suficiente tiempo de contacto para que ocurra una buena transferencia de masa líquido - vapor en el plato disminuyendo la eficiencia, pero manteniendo cierta estabilidad hidráulica. A mayor flujo de vapor, el arrastre de líquido provocará que dicho líquido se acumule en la columna provocando inundación y no será posible continuar la operación. Esto se conoce como **inundación por arrastre**. Los límites de la inundación se encuentran entre DC.

En el punto B, en donde prevalece un flujo de líquido elevado, el gradiente de líquido en el plato será tan alto que será intolerable, lo que representa la **inundación del bajante**. En condiciones de flujo de líquido similares y alto flujo de vapor en el punto C ocurre una mala distribución de fase que causa disminución de la eficiencia.

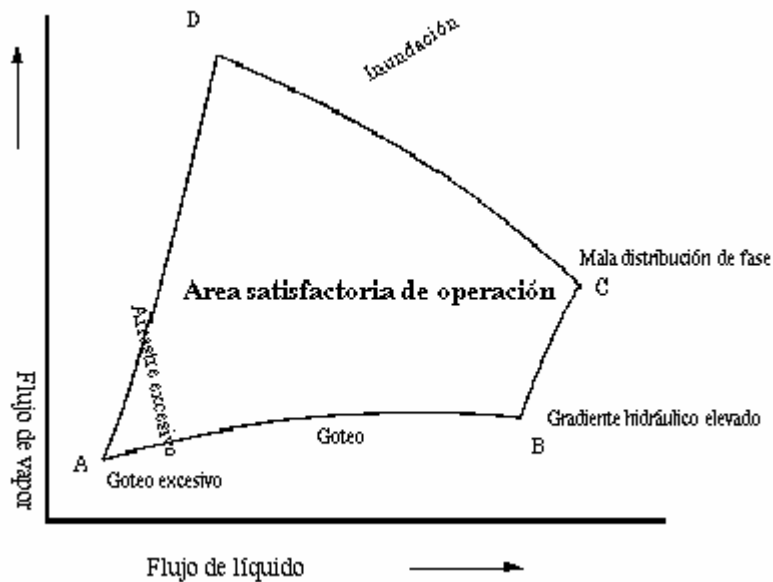


Figura N° 10: Diagrama de comportamiento de platos perforados.

➤ **Variables de diseño**

A continuación se describen las variables más importantes en el diseño de platos perforados. En la Tabla N° 9 se muestra un resumen de los intervalos recomendados y permitidos de algunas de estas variables.

Tabla N° 9: Resumen de variables de diseño de platos perforados.

CARACTERISTICAS DE DISEÑO	VALORES RECOMENDADOS	INTERVALO PERMITIDO
Diámetro de orificio (Do)	Normal 1/2 plg Servicios con ensuciamiento 3/4 -1 plg	3/8 a 1 plg
Area fraccional (Af=Ao/Ab)	8 a 12 %	5 a 15 %
Espesor del plato (t)	Sistema corrosivo 0.0747 pulg (14 gage)	
Espaciamiento entre platos	12 a 30 pulg	8 a 36 pulg
Número de pasos	1	1 a 2
Altura del vertedero (hw)	2 pulg	0-4 pulg
Espacio libre del bajante (hcl)	1,5	1plg y más

➤ **Régimen de flujo**

Dependiendo de la geometría del plato y de las condiciones de operación, el régimen de flujo puede ser: **régimen de espuma**, en donde el líquido está en fase continua y el vapor está disperso como burbujas en el líquido; **régimen atomizado "spray"**, donde las fases están a la inversa; el vapor es la fase continua, mientras que el líquido está disperso como gotas en el vapor. Otro régimen puede ser el de **emulsión**, en donde la dispersión se comporta como un fluido de dos fases, aunque se trata como una extensión del régimen de espuma. En este caso el líquido es la fase continua mientras que las burbujas de vapor cubiertas por líquido es la fase dispersa.

Debido a las bajas o moderadas velocidades de vapor y las moderadas o altas cargas de líquido, el régimen de espuma es común en las destilaciones atmosféricas; el régimen atomizado es común en destilaciones al vacío debido a las altas velocidades de vapor y a las bajas cargas de líquido, siendo la densidad del vapor baja en comparación con la del líquido; y la destilación a alta presión está generalmente asociada con el régimen de emulsión en donde el flujo de líquido es elevado y la velocidad del vapor es baja debido a la alta densidad del vapor. [Manual de Diseño de Proceso PDVSA, 1995]

➤ **Diámetro de la torre**

Dependiendo de las cargas de líquido y de vapor, el diámetro de la torre puede estar comprendido entre 3 y más de 20 pies. De cualquier forma el diámetro debe tener suficiente área transversal para evitar la inundación por arrastre y las demás condiciones de inoperabilidad. [Manual de Diseño de Proceso PDVSA, 1995]

➤ **Espaciamiento entre Platos**

Es importante un espacio adecuado entre platos para la operación normal del mismo, así como para superar las condiciones limitantes (espuma, inundación, arrastre y goteo entre otras). En columnas industriales, el espaciamiento normal entre platos está entre 8 y 36 pulg. La escogencia de esto depende de la relación económica

entre altura y diámetro de la columna, además, su escogencia debe permitir el acceso para mantenimiento.

Para diámetros de la columna mayores a 4 pies, es común un espaciamiento entre platos de 24 pulg; sin embargo se recomienda un intervalo entre 18 y 36 pulg cuando el mantenimiento es frecuente o el diámetro de la columna es mayor a 10 y hasta 20 pies, esto permite que un hombre pase agachado entre los platos. En el caso en que los soportes del plato sean muy profundos (diámetros muy grandes), es preferible un mayor espaciamiento para permitir el paso para mantenimiento y no interferir en el movimiento del vapor a través del plato.

Espaciamientos más pequeños se utilizan cuando el número de etapas de la torre es demasiado grande y es más ventajoso económicamente hablando, construir una sola columna que dos o tres, en este caso, se podrían considerar espaciamientos entre 12 y 18 pulg. En el caso de que la torre contenga menos de 10 platos, se podría pensar aumentar el espaciamiento, porque no se verán afectados los costos en forma significativa. Los espaciamientos bajos (18 a 24 pulg) generalmente resultan más económicos. [Manual de Diseño de Proceso PDVSA, 1995]

➤ **Número de pasos y longitud del patrón de flujo**

En platos multipasos, la carga de líquido en el plato y en el bajante es disminuida al dividir el líquido en el plato en dos o más pasos o patrones de flujo. Esto aumenta la capacidad y disminuye la caída de presión a expensas de un recorrido de líquido por el plato más corto, lo cual genera una disminución en la eficiencia. La longitud del patrón de flujo viene a ser la longitud recorrida por el líquido sobre el plato, desde su entrada al plato inferior hasta que llega al vertedero de salida (véase la Figura N° 5). También se puede dar una mala distribución de líquido y de vapor sobre platos de dos o más pasos debido a la asimetría en la estructura del plato. Para determinar el número de pasos se debe considerar lo siguiente:

Costos: Los costos aumentan a medida que se incrementa el número de pasos. Por lo que sólo se justifican si su uso reduce el costo global de la torre.

Capacidad: A elevadas cargas de líquido se justifican platos multipasos para aumentar la capacidad.

Distribución de líquido y de vapor en el plato: Los platos multipasos pueden provocar una mala distribución de líquido y de vapor. Por esta razón, siempre y cuando sea posible, es preferible no utilizar platos con más de dos pasos.

Plato de entrada de alimentación o reflujó: En estos casos, normalmente se requiere cambiar de un número de pasos determinado a otro. Además es recomendado que el espaciamiento entre platos en esta transición debe ser por lo menos 1 1/2 a 2 pies mayor que el espaciamiento existente entre los demás platos de la columna.

➤ **Diámetro de las Perforaciones**

En platos comerciales normalmente se utilizan diámetros de orificios de 1/16 a 1 pulg. Para seleccionar el diámetro de los orificios se deben considerar los siguientes aspectos:

La naturaleza del sistema: Con frecuencia se emplean orificios de 1/2 pulg cuando se tienen sistemas limpios. Perforaciones de 3/4 a 1 pulg son recomendadas en sistemas sucios; los orificios de 1/8 pulg se utilizan en sistemas al vacío bajo régimen de espuma. Para sistemas muy corrosivos y con ensuciamiento, es preferible la utilización de perforaciones grandes debido a que la disminución del área del orificio y de la pérdida de presión ocurre mas lentamente.

Costos: La utilización de orificios muy pequeños aumenta el costo de fabricación (deben ser taladrados en lugar de ser agujereados) y puede en algunos casos provocar la formación de espuma o el taponamiento de los orificios.

Hidráulica: Los orificios pequeños en algunos casos disminuyen el goteo y el arrastre, especialmente si la tensión superficial es elevada. Los orificios pequeños, de hasta 3/32 pulg, a veces promueven el régimen de espuma, favoreciendo el contacto líquido - vapor y aumentando ligeramente la eficiencia.

Transferencia de masa: En el régimen de espuma, los orificios pequeños favorecen la transferencia de masa aumentando la eficiencia, aunque este efecto es pequeño. En el régimen atomizado, hay evidencia de que en algunos casos los orificios más grandes aumentan la eficiencia.

Flexibilidad: El uso de orificios pequeños genera mejores condiciones de flexibilidad porque reduce el goteo y aumenta la capacidad. [Manual de Diseño de Proceso PDVSA, 1995]

➤ **Arreglo de orificios y espaciamiento entre las perforaciones**

Las perforaciones se pueden colocar a distancias entre los centros de 2,5 Do a 5 Do, siendo el valor recomendado por la literatura de 3,8 Do. El arreglo triangular es el preferido, debido a que la desviación del líquido a través de las perforaciones se ve disminuida y soporta además, una mayor relación de distancia entre orificios (centro a centro) y diámetro del orificio. En general no es importante especificar el arreglo de orificios, ya que éstos son suministrados por el fabricante del plato.

➤ **Espesor del plato**

El espesor está normalmente vinculado con la resistencia a la corrosión, erosión, y por lo tanto al material usado. El mínimo espesor usado es 14 gage (0,0747 pulg) para dispositivos fabricados con materiales resistentes a la corrosión; y 10 gage (0,1345 pulg) para acero al carbón. A medida que se aumenta el espesor del plato, disminuye la caída de presión en seco h_{ed} , la cual es la caída de presión debida al paso de vapor a través de los orificios en donde no hay presencia de líquido. Un plato más grueso debe tener orificios grandes debido a los inconvenientes que se puedan generar en la fabricación.

➤ **Área Fraccional**

El área fraccional A_f es la relación de área de orificios A_o a área de burbujeo A_b , expresada en fracción. A escala comercial, normalmente se utilizan áreas fraccionales entre 0,05 y 0,15, aunque lo óptimo está entre 0,08 y 0,12. En el caso de

torres al vacío se recomiendan áreas fraccionales muy altas. A medida que se incrementa el área fraccional, aumenta la tendencia al goteo, disminuyendo la flexibilidad de la torre, se reduce la caída de presión y la retención de líquido en el bajante y aumenta la capacidad de la columna.

La capacidad de la columna se ve favorecida con un incremento del área fraccional cuando los límites de capacidad están dados por el arrastre, la inundación del bajante y la caída de presión del plato.

En el caso de régimen de flujo atomizado y a bajas cargas de líquido en el régimen de espuma, un incremento del área fraccional reduce el arrastre en forma significativa, si dicha área fraccional es menor a 0,08. En el régimen de espuma con moderada a alta carga de líquido ($>3\text{gpm/pulg}$), el área fraccional no altera significativamente la tendencia al arrastre.

Cuando la columna opera la mayor parte del tiempo bajo condiciones de flujos mínimos ("turndown"), el exceso de orificios se corrige bloqueándolos por medio de placas. Esto reduce el área fraccional y disminuye el goteo. La instalación de estas placas de bloqueo se debe hacer perpendicular al flujo de líquido desde un extremo al otro de la columna.

➤ **Altura del vertedero**

Los vertederos de salida son necesarios para mantener un nivel de líquido adecuado sobre el plato. Esto se aplica en el caso en que el régimen de operación es de espuma. En dicho régimen la eficiencia aumenta a medida que lo hace la altura del vertedero, aún cuando este aumento de eficiencia es pequeño para alturas entre 1 1/2 y 3 pulg. Pero el inconveniente es que a mayor altura, mayor es la caída de presión en el plato, la retención de líquido en el bajante, la velocidad de arrastre y la tendencia al goteo. En la mayoría de éstos casos, se utiliza una altura del vertedero entre 2 y 4 pulg, aunque se recomiendan valores menores para torres de vacío.

En el caso del régimen atomizado, la retención de líquido sobre el plato es independiente de la altura del vertedero, siendo en algunos casos hasta despreciable, pero se debe realizar el diseño considerando que con cargas mínimas la operación normal puede cambiar de régimen atomizado a espuma, y además, porque el arrastre en el régimen atomizado aumenta a medida que disminuye la altura del vertedero. La mínima altura recomendada es 1/2 pulg, pero se prefiere un intervalo entre 3/4 y 2 pulg. Para columnas de vacío es común utilizar 1 pulg.

En los casos especiales de absorbedores y despojadores son comunes alturas de vertederos de 3 a 4 pulg, aunque se han utilizado hasta 6 pulg. Además, cuando el espaciamiento entre platos es menor a 12 pulg, una altura entre 2 y 3 pulg reduce el espaciamiento efectivo del plato y por lo tanto, la capacidad. En estos casos es preferible usar alturas del vertedero de 1/2 a 1 pulg, pero en términos generales se pueden usar valores de altura de vertedero entre 0 y 4 pulg.

➤ **Tipo de bajante**

Existen varios tipos de bajantes. En la mayoría de los diseños de platos se utilizan bajantes tipo cordal o segmental. Estos a su vez pueden ser rectos o inclinados. Un bajante con pendiente puede ser utilizado para flujos altos de líquido. Cuando el uso de este tipo de bajante resulte en tener un área excesiva de bajante, se pueden usar bajantes de arco modificado. La ventaja del bajante de arco modificado, aunque es más costoso, es que provee un área máxima de contacto en el plato, de esta forma se puede reducir el diámetro de la torre en diseños nuevos o eliminar restricciones en torres existentes.

La elevación de un bajante de arco modificado es la distancia mínima entre la pared de la torre y el bajante. Esta distancia debe ser por lo menos de 6 pulg, independientemente del diámetro de la torre. En la Figura N° 11 se muestra un diagrama de los platos perforados de uno y dos pasos.

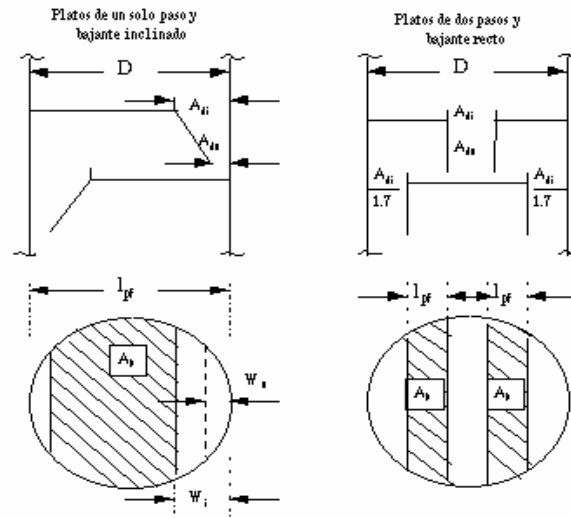


Figura N° 11: Esquema de Platos Perforados de uno y dos pasos.

➤ Dimensionamiento del bajante

El área requerida de entrada al bajante es determinada por las limitaciones de segregación de la espuma. Si el área prevista es insuficiente, la espuma puede regresar al plato y causar una inundación prematura. Para platos de un solo paso, el área de salida del bajante debe ser por lo menos $0,068 \cdot \text{Área transversal de la torre}$. Si el plato posee dos pasos, el área del bajante interno más el área del bajante externo debe ser menor al 45 % del área transversal de la torre. [Manual de Diseño de Proceso PDVSA, 1995]

Usualmente, en la práctica el área de entrada del bajante no debe ser mayor al 10 % del diámetro del plato. Para bajantes inclinados la relación entre área de entrada y área de salida del bajante es de 1,5 a 2,0. La longitud de la cuerda de entrada debería ser por lo menos 65 % del diámetro del plato, para una buena distribución del líquido.

➤ **Espacio libre por debajo del bajante**

El espacio libre por debajo del bajante es la distancia vertical entre el borde del bajante y la cubierta del plato. Los valores de espacio libre por debajo del bajante deben estar por encima de 1 pulg, lo cual está basado en una pérdida normal de cabezal (caída de presión) de 0,5 a 1,5 pulg de líquido caliente. Normalmente se recomienda usar 1,5 pulg. [Manual de Diseño de Proceso PDVSA, 1995]

➤ **Sellado del bajante**

Para prevenir el desvío del vapor a través del bajante, éste debe ser sellado a flujos de diseño de líquido en el plato inferior. Esto se verifica por un balance de presión en el bajante y el plato. De no tenerse un buen sellado en el bajante se debe considerar el uso de un vertedero de entrada (a la entrada del líquido al plato inferior) o una caja de receso, en ese orden de preferencia.

Al reducir el espacio libre debajo del bajante en menos a 1 pulg, se podría ayudar al sellado del bajante, siempre y cuando el llenado del bajante no sea excesivo a flujos de diseño. El bajante también debería mantener el sello a flujos mínimos, sin embargo el no mantener el sello, rara vez resulta perjudicial y puede ser aceptado. [Manual de Diseño de Proceso PDVSA, 1995]

➤ **Porcentaje de inundación**

Los valores recomendados para el porcentaje de inundación están entre 80 % y 85 %; aunque, dependiendo de la experiencia del diseñador en el diseño de torres de platos, puede que éste considere tomar valores comprendidos entre 35 y 95 %. De cualquier forma, éste valor debería estar especificado en el diseño de la torre.

➤ **Caída de presión**

Cuando el vapor atraviesa el plato y por lo tanto el nivel de líquido sobre el mismo, éste sufre una contracción que provoca una caída de presión h_t , lo cual normalmente se expresa como la suma de dos términos. El primero, es la pérdida de carga debida al paso de vapor a través de los orificios en donde no hay presencia de líquido, denominada caída de presión efectiva en el plato seco h_{ed} . Esta se calcula basándose en que es el resultado de una pérdida de presión a la entrada de las perforaciones, la fricción dentro de las perforaciones debido al espesor del plato, y finalmente la pérdida a la salida; el segundo, es la caída de presión que se genera cuando el vapor atraviesa la masa de líquido aireada h_l . Para determinar la caída de presión total es necesario determinar el valor de la caída de presión en seco y la caída de presión en mojado (véase la Figura N°12).

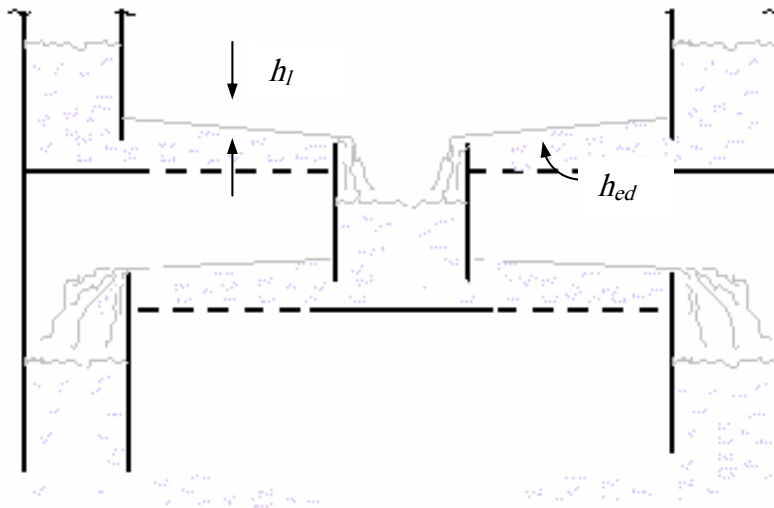


Figura N° 12: Esquema de caída de presión en platos perforados.

2.5.7 Límites de operación de las columnas de platos

En esta sección se explicarán los posibles problemas en columnas de platos cuando se alcanza la máxima capacidad. La operación normal de los platos presenta un régimen de espuma con valores de flujo de vapor y líquido estables. Al variar los flujos de líquido y vapor se consiguen las siguientes condiciones:

- **Expansión de la espuma por el vapor (Priming):** Si se incrementa el flujo de vapor, la espuma se hace más aireada causando una expansión del nivel de la misma. Al llegar el punto donde la espuma alcanza el plato superior, parte del líquido es recirculado a dicho plato por lo que la eficiencia del plato disminuye. [Paredes L, y Plinio A., 1994]
- **Inundación (Flooding):** Si la situación arriba mencionada continua, la columna se llena rápidamente de líquido, y por ende alcanza el punto de inundación. Este aspecto produce una caída de presión excesiva a través de la columna y una pérdida de producto de fondo. [Paredes L, y Plinio A., 1994]
- **Arrastre de líquido (Entrainment):** El arrastre es el acarreo de gotas de líquido en la fase gaseosa como una dispersión fina o neblina de líquido hacia el plato superior. Dicho arrastre resulta indeseable debido a que disminuye la eficiencia de la etapa. El arrastre ocurre cuando las velocidades de flujo de gas son muy elevadas, por lo que el diámetro de la columna debe ajustarse para que la velocidad de gas no origine arrastre (para un gasto de masa específico). El arrastre tiende a disminuir la eficiencia de la etapa y en consecuencia, se requieren etapas adicionales para lograr la separación deseada. Para eliminar el arrastre puede ser necesario utilizar una columna de mayor diámetro. Por ello, resulta necesario establecer un balance económico entre el número de platos y el diámetro de la columna cuando se determina hasta qué grado debe eliminarse el arrastre. [Foust A., et al, 1990]

- **Inundación del bajante (Downcomer Back up):** Cuando los bajantes no son lo suficientemente grandes para retirar el líquido del plato, la caída de presión en el bajante se hace muy grande y el bajante se llena completamente de líquido, produciendo inundación. La causa principal de la inundación del bajante es la “pérdida de sello” en éste. Una de las causas de que esto suceda es el hecho de tener una altura del vertedero de salida del plato inferior a la correspondiente al claro del bajante (que permite el paso de la fase líquida al siguiente plato). De este modo, cuando el rebosadero permite el paso de mayor cantidad de líquido que la que pueda ser manejada por el espacio libre del bajante, éste se verá inundado. [Foust A., et al, 1990]
- **Ahogamiento del bajante (Downcomer Choking):** Se produce cuando la velocidad del líquido en el tope del bajante es tan alta, que el vapor es arrastrado con el líquido. [Paredes L, y Plinio A., 1994]
- **Lloriqueo o goteo (Weeping):** Cuando ocurre baja carga de gas, el líquido pasa por los orificios del área de burbujeo, reduciendo la eficiencia del plato y aumentando la caída de presión. [Paredes L, y Plinio A., 1994]
- **Pérdida del sello (Sealing):** Cuando el bajante está operando normalmente, el flujo de líquido a través de las ranuras del mismo, previene que el vapor entre por la parte inferior del bajante. Si el flujo de líquido en el bajante disminuye, se llega a un punto en el cual el vapor puede ascender por la parte inferior del bajante, en lugar de pasar por el área de burbujeo. Si esto ocurre el flujo normal de operación a través del plato se pierde, ocurriendo la pérdida del sello y de la eficiencia del plato. [Paredes L, y Plinio A., 1994]

2.5.8 Evaluación Hidráulica

La evaluación hidráulica de una torre de destilación, se realiza a la carga máxima y mínima, ya que representan los límites en los cuales podrían presentarse ciertos problemas hidráulicos; sin embargo, en ocasiones, también suele realizarse a

una determinada carga operacional de manera tal de conocer si a esa carga en específico se presentan limitaciones hidráulicas.

La evaluación hidráulica suele realizarse por zonas de fraccionamiento, ya que se debe tener en cuenta los platos donde ocurran cambios significativos en los flujos de líquido y vapor, como los son los platos de retiro de producto y los de alimentación. Por lo general, se considera el plato superior e inferior de la zona, ya que uno presenta los mayores flujos de líquido y vapor y el otro los menores flujos, dependiendo si la zona es de fraccionamiento o de despojamiento.

2.6. Simulación de procesos

2.6.1 Aspectos de la simulación de procesos

Las unidades de procesos en las refinerías son comúnmente diseñadas para procesar una alimentación con ciertas características muy bien definidas y bajo esta premisa, se determinan una serie de parámetros de operación que tienden a mantener los productos dentro de las especificaciones, para su comercialización o disposición en otras unidades. En algunos diseños, se toman en consideración dos o tres modos diferentes de operación, pero esto solo sirve de guía cuando a lo largo del tiempo se presentan cambios en las dietas de crudos, nuevas especificaciones de productos o cambios en las condiciones de operación.

En la simulación de procesos es muy utilizado el programa PRO-II with PROVISION; sin embargo, para evaluaciones más detalladas son utilizados programas más específicos; en este caso, el programa Toolkit para la evaluación hidráulica de platos perforados y los programas Sultray y Sulpak para evaluación hidráulica de platos y empaques respectivamente, aplicables solamente para los productos Sulzer.

2.6.2 Simulador PRO-II con PROVISION

Pro-II con Provision es un programa de simulación de procesos en estado estacionario diseñado por la empresa Simulation Sciences, muy utilizado en la industria del gas natural, refinación de petróleo, petroquímica y química en general. Este programa permite modelar el comportamiento operacional de plantas químicas y cuantificar el efecto que tiene modificar los valores de ciertas variables sobre el proceso. Adicionalmente, tiene una amplia base de datos de propiedades de compuestos químicos, una gran variedad de métodos para la predicción de

propiedades termodinámicas y utiliza técnicas avanzadas para la resolución de las operaciones unitarias.

Mediante este programa se pueden modelar y optimizar procesos de transferencia de masa y calor, realizar cálculos hidráulicos en unidades de operación y tuberías y evaluar las condiciones y restricciones operacionales de equipos que incluyen intercambiadores de calor (rigurosos o no), mezcladores, columnas (despojadoras, fraccionadores, de extracción), reactores, compresores, bombas, tambores flash, separadores trifásicos, divisores, ciclones, disolvedores, cristalizadores, entre otros, de cualquier planta química, refinadora y petroquímica.

Adicionalmente, a través de las simulaciones de procesos, bien sea a condiciones de diseño u operación, es posible manipular los modelos matemáticos del proceso para lograr los cambios en el comportamiento que sufre el proceso, sin necesidad de interferir con la actividad de la planta.

Para verificar la calidad y confiabilidad del modelo, se comparan los resultados obtenidos con el simulador, con los empleados como base. En tal sentido es de vital importancia que estos datos sean confiables y consistentes.

[Oropeza A., 2000]

2.6.2.1 Estructura del programa

➤ *Sistema de unidades*

El programa Pro-II con Provision ofrece una amplia gama de unidades disponibles tanto para la introducción de datos como para la impresión de los resultados. De manera que los datos se pueden introducir en sus unidades originales sin necesidad de convertirlos a las utilizadas por el programa. [Keyword Input Manual Simulation, 1996]

➤ ***Datos generales***

Es la primera sección en cualquier archivo de entrada de datos y presenta la información general de la simulación: Título del proyecto, nombre del usuario, fecha, breve descripción del problema y sistema de unidades de los resultados. Adicionalmente, permite establecer ciertos parámetros de cálculo y resolución de las operaciones unitarias, así como tolerancias para la convergencia de ciclos y selección de la información a presentar en el archivo de salida. [Keyword Input Manual Simulation, 1996]

➤ ***Datos de los componentes***

En esta sección se deben definir todos los componentes presentes en las corrientes de proceso del sistema a simular, bien sea componentes puros o pseudo-componentes. Se pueden seleccionar componentes puros de la base de datos propia del Pro-II con Provision, ya sean como compuestos comunes o de la lista general de componentes. Si el componente no está definido en la base de datos, se puede especificar proporcionándole ciertas propiedades tales como: Peso molecular, presión, temperatura y volumen crítico, densidad, entre otras. En el caso de crudos y fracciones de petróleo, éstas pueden ser caracterizadas en pseudo - componentes a partir de la curva de destilación y la gravedad específica. [Keyword Input Manual Simulation, 1996]

➤ ***Datos termodinámicos***

En esta sección se especifican los métodos termodinámicos para el cálculo de: Equilibrios de fases (constantes de equilibrio líquido - vapor y coeficientes de reparto entre fases líquidas), propiedades termodinámicas (entalpías y entropías), propiedades físicas (densidades del vapor y del líquido), propiedades de transporte (viscosidades y conductividades térmicas del vapor y líquido), tensión superficial, etc.

La selección del método termodinámico puede hacerse en arreglos predefinidos por el programa o seleccionando un método para cada propiedad

requerida. También se pueden definir varios métodos termodinámicos y especificarlos para la operación unitaria que lo requiera. [Keyword Input Manual Simulation, 1996]

➤ ***Datos de las corrientes***

En esta sección se describen las corrientes de entrada y salida del proceso, definiendo su presión, temperatura, composición y flujo (molar, másico o volumétrico). La composición puede ser establecida en base a componentes puros o a pseudo - componentes. También se puede definir una corriente con respecto a otra, en cuyo caso se conserva la composición, pudiéndose especificar nuevas condiciones de presión, temperatura y flujo. [Keyword Input Manual Simulation, 1996]

➤ ***Datos de las operaciones unitarias***

Por último, se introducen los datos de las operaciones unitarias a simular: intercambiadores de calor, separadores, bombas, columnas de destilación, etc. Como datos de la operación unitaria se pueden suministrar las condiciones de operación, identificación de las corrientes de entrada y salida y estimados iniciales. [Keyword Input Manual Simulation, 1996]

2.6.2.2 Métodos Termodinámicos

Una buena selección del método termodinámico es de vital importancia para la validación de las simulaciones. Esto se debe a que por medio de ecuaciones de estado, correlaciones generalizadas o métodos de actividad de líquido se pueden estimar propiedades termodinámicas (entalpías, entropías) y constantes de equilibrio (líquido-vapor ó líquido-líquido). Estimar con certeza estas propiedades permitirá la resolución rigurosa de los algoritmos de cálculos de las diversas operaciones unitarias.

Pro-II con Provision dispone de una gran diversidad de métodos termodinámicos para la estimación de equilibrios de fases y propiedades (termodinámicas, físicas, de transporte, etc) como lo son: Soave-Redlich-Kwong (SRK), Peng-Robinson (PR), Grayson-Streed (GS) y Braun K10 (BK10). [Gómez A., 2001]

A continuación se presentan ciertas características de los métodos mencionados anteriormente:

➤ ***Soave – Redlich – Kwong (S-R-K):***

Las propiedades termodinámicas de una mezcla de hidrocarburos no ideales pueden ser predichas por una simple ecuación de estado, si ésta es válida para ambas fases (líquido y vapor). Dado que la ecuación de estado de Redlich – Kwong tiene solo dos parámetros, la exactitud con la cual se calcula la fase líquida es menor que para la fase gas. Soave añade un tercer parámetro, el factor acéntrico de Pitzer para la ecuación de Redlich – Kwong. Esta modificación produce una buena predicción del equilibrio líquido – vapor para sustancias puras y mezclas. La densidad de líquidos predicha por SRK no es usualmente recomendada. El modelo SRK es ampliamente usado para una variedad de mezclas de hidrocarburos (muy bueno entre C1 – C10, no mayores de C20) sobre un amplio rango de condiciones de procesos. Las constantes en este programa han sido usadas para producir resultados razonables para sistemas criogénicos, planta de gas típicas, sistemas de refrigeración y sistemas de alta presión (alrededor de 500 psia). [Keyword Input Manual PRO II, 1994]

➤ ***Peng – Robinsond (P-R):***

La ecuación de Peng – Robinsond fue un intento para extender la ecuación de Van der Waals y así predecir las densidades de los líquidos con razonable exactitud. La forma es relativamente cercana a la ecuación de SRK y específicamente sirve para lograr la convergencia cerca del punto crítico. Aunque la exactitud de la densidad de los líquidos es un tanto mejor por PR en comparación con SRK; para el proceso se

toma el método API si la ecuación Peng – Robinsond es seleccionada. Se aplica para producir resultados razonables en los mismos sistemas en los cuales se emplea el modelo Soave – Redlich – Kwong y sobre el mismo rango de operaciones. El rango de aplicación sugerido tanto para el SRK como para el PR es: [Keyword Input Manual PRO II, 1994]

Presión: 0 – 500 psia

Temperatura: -460 – 1200 °F

➤ ***Chao – Seader:***

La correlación de Chao – Seader se utiliza ampliamente en las industrias de petróleo y el gas natural. Es utilizada en el diseño de una gran variedad de separaciones de hidrocarburos ligeros por destilación. Los límites de trabajo para esta correlación son: [Keyword Input Manual PRO II, 1994]

Presión: menor que 2000 psia

Temperatura: menor que 500 °F (260 °C)

➤ ***Grayson – Streed (G-S):***

La correlación de Grayson – Streed usa la formulación original de Chao – Seader. Proporciona excelentes resultados para hidrocarburos livianos y medios y es bueno en simulaciones donde existen despropanizadoras, desbutanizadoras y desisobutanizadoras. En el programa PRO II, los coeficientes especiales para N₂, CO₂ y H₂S son incorporados en el programa. Los límites de trabajo para esta correlación son: [Keyword Input Manual PRO II, 1994]

Presión: menor que 3000 psia.

Temperatura: 0 – 800 °F (-20 a 450 °C)

En el simulador PROII con PROVISION, cuando es seleccionado el sistema termodinámico (GS) para llevar a cabo la simulación, son asumidos los siguientes métodos para calcular las propiedades:

- Método de Grayson – Streed (GS), para el cálculo de los valores de K.
- Método de Curl – Pitzer (CP), para el cálculo de las entalpías, tanto del líquido como del vapor.
- Método de Curl – Pitzer (CP), para el cálculo de las entropías, tanto del líquido como del vapor.
- Método API, para el cálculo de la densidad del líquido.
- Método de Soave – Redlich – Kwong, para el cálculo de la densidad del vapor.

➤ ***Braun K-10 (BK10):***

El método termodinámico Braun K-10 (BK10), es utilizado en simulaciones de condiciones de proceso en la refinación de hidrocarburos pesados a bajas presiones, es ideal para columnas de destilación al vacío. Posee los siguientes rangos de aplicación:

Presión: 0 – 100 Psia.

Temperatura: 100 – 1600°F.

Composición: C₆ y mayores.

En el simulador PROII con PROVISION, cuando es seleccionado el sistema termodinámico (BK10) para llevar a cabo la simulación, son asumidos los siguientes métodos para calcular las propiedades:

- Método de Braun K10 (BK10), para el cálculo de los valores de K.
- Método de Johnson - Grayson (JG), para el cálculo de las entalpías, tanto del líquido como del vapor.
- Método de Curl – Pitzer (CP), para el cálculo de las entropías, tanto del líquido como del vapor.
- Método API, para el cálculo de la densidad del líquido.
- Método Ideal, para el cálculo de la densidad del vapor.

2.6.3 Programa Lagoven Engineering Toolkit

El programa Lagoven Engineering Toolkit comprende una serie de hojas de cálculo que permiten realizar el dimensionamiento o la evaluación de diversos equipos de procesos y ejecutar balances de masa y energía de unidades de proceso. Para el caso específico de los platos de las torres de fraccionamiento, esta herramienta permite dimensionar y también evaluar la operación de distintos tipos de platos (perforados, bubble cap, jet) para un servicio determinado. Los procedimientos de cálculos empleados son los mismos que se presentan en las Prácticas de Diseño de PDVSA, con algunas modificaciones que reflejan los avances tecnológicos en el diseño de los platos.

En esta hoja de cálculo se deben especificar, en primer lugar, los datos geométricos de la torre y del plato, como lo son: diámetro de la torre, número de pasos, espaciamiento, área de burbujeo y espesor del plato, tipo de bajante, ancho del bajante a la entrada y a la salida del mismo, claro del bajante, altura del vertedero a la entrada y a la salida. En lo que respecta a los datos del sistema, se debe especificar el flujo de líquido y vapor que entran y salen del plato, y las propiedades como densidad, viscosidad y tensión superficial.

El programa reporta datos importantes de la caída de presión del plato, así como la velocidad a la entrada y a la salida del bajante, el sello, el llenado y el ahogamiento del mismo, la inundación, capacidad máxima, goteo y arrastre.

2.6.4 Programa de Evaluación Hidráulica Sultray

El Manual de Diseño Electrónico Sultray es una herramienta diseñada en ambiente Windows, utilizada para evaluar el funcionamiento hidráulico de los platos de Sulzer Chemtech. Sultray es un programa que permite mostrar instantáneamente al

usuario, los resultados correspondientes a la información de entrada suministrada por el mismo. Las características de este programa son:

- Muestra los resultados de los cálculos del plato en una ventana mostrada en pantalla.
- Ofrece ayuda para cálculos de diseño.
- Muestra los datos de entrada y resultados tanto en Sistema Métrico como en Sistema Inglés.

El programa está compuesto de tres ventanas de datos de entrada: Información del Proyecto, Datos de Entrada del Fluido y Datos de Entrada de la Geometría del Plato; además de una ventana con los parámetros hidráulicos resultantes del plato.

- **Ventana de Información del Proyecto:** Esta ventana contiene información que identifica el proyecto en curso. En esta se detalla el ingeniero, cliente y el servicio correspondiente al proyecto; adicionalmente se puede agregar información descriptiva del proyecto.
- **Ventana de Datos de Entrada del Fluido:** Esta ventana muestra los datos del fluido, tanto líquido como vapor, correspondiente a cada uno de los platos. Propiedades como densidad, tensión superficial y viscosidad, así como el flujo de líquido y vapor, se deben especificar. Adicionalmente, el programa utiliza el llamado "Factor del Sistema", el cual es un factor empírico y reduce la capacidad predicha del plato, a la cantidad correspondiente a un sistema con espuma. Un valor de 1 es usado para representar un sistema sin espuma, mientras que un valor mas bajo, 0,85 por ejemplo, representa un sistema con espuma moderada. El Factor de Sistema para torres de vacío es de 0,85.
- **Ventana de Datos de Entrada de la Geometría del Plato:** Esta ventana permite al usuario especificar los datos de diseño mecánico de cada uno de los platos. En ella se especifican: Tipo de plato Sulzer, espaciamiento entre ellos, diámetro de la torre, número de pasos, fracción de área abierta, ancho del bajante a la entrada y a

la salida, altura del vertedero a la entrada y a la salida, claro del bajante, tipo de bajante y dimensiones, entre otros.

- **Ventana de Resultados:** Esta ventana es un resumen de los parámetros hidráulicos del plato. Estos parámetros son mostrados en la siguiente tabla:

Tabla N°12: Parámetros Hidráulicos reportados por el programa Sultray.

Parámetro Hidráulico	Mínimo valor	Máximo valor
Inundación, %	10	85
Capacidad Máxima, %	0	90
Carga del vertedero, gpm/pulg	0,6	13
Velocidad en el bajante, %	0	80
Velocidad en el bajante, pie/sec	0	0,45
Líquido claro en el bajante, pulg Liq	2	0,65*Esp.entre platos
Pérdida de cabezal en el bajante, pulg Liq	0,1	1,5
Caída de presión seca, pulg H ₂ O	0,3	0,2*Esp.entreplatos* $\rho_L/62,4$
Caída de presión, mmHg	2,5	15
Área abierta, %	4	15

2.7. Caracterización de crudos y fracciones de petróleo

2.7.1 Evaluación de crudos

Para manejar un crudo desconocido es necesario determinar, el valor de dicho crudo para la refinería. Usualmente se envía una muestra de dicho crudo para el laboratorio de la refinería con la finalidad de realizar pruebas preliminares. La inspección rutinaria generalmente incluye la determinación de:

- Gravedad específica
- Viscosidad a dos temperaturas como mínimo
- Punto de inflamación y punto de fluidez
- Agua y sedimento
- Presión de vapor Reid
- Contenido de azufre
- Contenido de vanadio y níquel
- Destilación ASTM, determinando la temperatura de cada 10 % vol

Las determinaciones de viscosidad, presión de vapor y punto de fluidez, son necesarias para asegurar que el crudo puede ser transportado por tubería sin problemas para la refinería. Las determinaciones de gravedad específica y del grado de contaminación con agua y sedimento son necesarias para el cálculo de las cantidades netas de crudo manejado. Las determinaciones de contenido de azufre, de vanadio y de níquel, tienen interés por los efectos que causan en los destilados y por los efectos de contaminación en los catalizadores de las unidades de craqueo e hidrosulfuración, entre otros procesos.

Naturalmente, es posible determinar otras características del petróleo, lo cual depende de los criterios que en un momento dado se mantengan en la refinería o en el mercado. [PDVSA CIED, Química del petróleo, 1992]

Para la planificación de la producción de crudo y de su procesamiento en una refinería que procese varios crudos, es muy importante el conocimiento preciso de otros datos valiosos, como son los rendimientos y las propiedades de los productos primarios que proporcionan los ensayos de destilación.

2.7.2 Destilaciones de crudos y fracciones de petróleo

Un hidrocarburo químicamente puro, al igual que otro compuesto líquido puro, ebulle a cierta temperatura cuando la presión atmosférica se mantiene constante. Sin embargo, casi todos los combustibles y solventes comerciales contienen muchos hidrocarburos individuales diferentes, cada uno con diferente punto de ebullición. Si el producto de petróleo es calentado gradualmente, los componentes con bajo punto de ebullición son los que primero se convierten en vapor en mayor proporción, sucesivamente vaporizan los de alto punto de ebullición a medida que aumenta la temperatura. [Manual de Control de Calidad del producto, 1995]

De este modo para cualquier hidrocarburo la ebullición se lleva a cabo en un rango de temperaturas en lugar de ser a un solo valor de este parámetro. Este rango es de suma importancia en las aplicaciones de combustibles y solventes, la cual es la medida de la prueba de destilación. A continuación se detallan las distintas pruebas de destilación a las que son sometidos los crudos y las fracciones de petróleo.

2.7.2.1 Destilaciones ASTM

➤ Punto de ebullición verdadero

La destilación de Punto de Ebullición Verdadero se efectúa de acuerdo con el método ASTM D 2892-84, el cual permite separar el crudo en fracciones que se extienden desde los gases disueltos hasta los asfaltos (bitúmenes asfálticos). La prueba es llevada a cabo en un recipiente de fraccionamiento por carga con reflujo y un gran número de etapas, de tal manera que la temperatura en cualquier punto de la

curva de rendimiento volumétrico vs. temperatura, representa el actual (verdadero) punto de ebullición del hidrocarburo presente en el punto del porcentaje volumétrico. El método utiliza equipos de destilación, manuales o automáticos, cuya eficiencia es de 14 a 18 platos teóricos y operan a una relación de reflujo de 5:1. [PDVSA CIED, Química del petróleo, 1992]

Las destilaciones TBP son normalmente corridas solo en aceites de crudo y no en fracciones de petróleo. En esta destilación la presión del recipiente es reducida para tener temperaturas bajo 650 °F. Sobre 650 °F, una cantidad significativa de craqueo tiene lugar, produciendo productos de gases ligeros. La destilación TBP requiere un tiempo sustancial y es costosa. En su lugar, un procedimiento de destilación rápido es usado para el análisis de productos de petróleo. Estos procedimientos fueron desarrollados por la Sociedad Americana para Prueba de Materiales y son llamadas Destilaciones ASTM, los cuales son unos métodos de rápidas destilaciones por carga. Existen diversas pruebas, entre las que se destacan la ASTM D-86, ASTM D1160 y ASTM D2887. [Keyword Input Manual Simulation, 1996]

Varias pruebas ASTM son utilizadas para medir los rangos de temperatura de destilación de los productos de petróleo. Estas pruebas son básicamente similares, diferenciándose en algunos detalles de procedimiento. [Manual de Control de Calidad del producto, 1995]

A continuación se describen los ensayos ASTM utilizados por el simulador de procesos PRO-II con PROVISION.

➤ **Otras pruebas ASTM**

ASTM D86: Este método cubre la destilación de las gasolinas de motor y de aviación, de los solventes de puntos de ebullición especiales, de las naftas, éter de petróleo,

kerosén, gasóleos, aceites combustibles destilados y de otros productos similares de petróleo. [PDVSA CIED, Química del petróleo, 1992]

Las destilaciones ASTM D-86 son pruebas rápidas y no costosas. Son llevadas a cabo a condiciones atmosféricas y un considerable craqueo de la muestra ocurre cuando la temperatura de 650 °F es alcanzada. En este método se destila una muestra de 100 ml en las condiciones especificadas como apropiadas a su naturaleza. Se efectúan observaciones sistemáticas de las lecturas termométricas y de los volúmenes de condensado recogido y, a partir de estos datos, se calculan y se publican los resultados del ensayo. Las temperaturas no necesariamente corresponden al punto inicial de ebullición del material en la mezcla. El punto final es mas bajo que el del material mas pesado de la mezcla. [Keyword Input Manual Simulation, 1996]

ASTM D1160: Este método sirve para determinar a presiones reducidas, los rangos de temperaturas de ebullición de los productos del petróleo que se vaporizan parcial o totalmente a una temperatura máxima del líquido de 400 °C (750 °F) y a presiones absolutas comprendidas entre 50 y 1 mmHg. La prueba de destilación D1160 es mucho más compleja debido al sistema de vacío; sin embargo, el nivel de vacío puede variar a medida que transcurre la prueba. El rango típico de vacío se encuentra entre 2 mmHg a 10 mmHg. Por lo general, los laboratorios corrigen las destilaciones D1160 a 760 mmHg. [PDVSA CIED, Química del petróleo, 1992]

Esta destilación es corrida bajo vacío y diseñada para muestras pesadas. Debido a las bajas presiones, la destilación D1160 tiene un mejor fraccionamiento que la D-86, los resultados son muchos más cercanos que la TBP y se emplea para determinar características empíricas de destilación a los productos y fracciones del petróleo que se descomponen al ser destilados a presión atmosférica. [PDVSA CIED, Química del petróleo, 1992]

El punto inicial de ebullición de la D1160 es siempre mas alto que el del material más ligero de la mezcla. Para muchas muestras, el punto final nunca es alcanzado. Por regla general, las destilaciones D1160 son capaces de destilar mucho mas de la mezcla que una prueba TBP, debido a las bajas presiones que pueden ser usadas. [Keyword Input Manual Simulation, 1996]

ASTM D2887: Este tipo de ensayo de destilación, consiste en distribuir en rangos de ebullición, las fracciones de petróleo utilizando cromatografía de gas. Este método cubre la determinación de distribución de rango de ebullición de productos del petróleo. Es aplicable a productos de petróleo y fracciones de un punto final de 538 °C (1000 °F) o más bajos, a presión atmosférica. El método no está diseñado para ser usado con muestras de gasolina o componentes de gasolina. Está limitado para muestras que tienen un rango de ebullición mayor a 55 °C (100 °F) y que tengan una presión de vapor suficientemente baja para permitir el muestreo a temperatura ambiente. Este tipo de destilación es una herramienta analítica bastante rápida y los datos derivados son esencialmente equivalentes a los obtenidos por destilación TBP. [Keyword Input Manual Simulation, 1996]

2.7.3 Algunas propiedades importantes

➤ Gravedad API

El sistema API, desarrollado por el “American Petroleum Institute” es una escala empírica para expresar las gravedades específicas en grados, comenzando con 10 °API para la gravedad específica del agua a 60 °F. Esta se relaciona con el peso específico de tal manera que un incremento en la densidad API corresponde a un descenso en el peso específico. Las unidades de densidad API son °API y pueden ser calculados a partir del peso específico mediante la siguiente ecuación:

$$^{\circ}\text{API} = \frac{141.5}{\text{GE}(60^{\circ}\text{F}/60^{\circ}\text{F})} - 131.5 \quad (4)$$

Donde:

$^{\circ}\text{API}$: Gravedad API del crudo, $^{\circ}\text{API}$.

GE: Gravedad específica de la muestra a 60 $^{\circ}\text{F}$, adimensional.

Ambos, tanto el peso específico como la densidad API, se refieren al peso por unidad de volumen a 60 $^{\circ}\text{F}$. El peso específico de los crudos de petróleo puede variar desde menos de 10 $^{\circ}\text{API}$ a más de 50 $^{\circ}\text{API}$, pero la mayoría de los crudos se encuentran comprendidos en el intervalo de 20 a 45 $^{\circ}\text{API}$.

La gravedad API es determinada directamente por flotación del hidrómetro del apropiado rango sobre la muestra. Este valor debe ser corregido a una base de 60 $^{\circ}\text{F}$, sin embargo, no todas las técnicas de laboratorio aplican el factor de corrección. [Gruse W., 1964]

➤ **Factor de Caracterización de Watson**

El factor de caracterización de Watson se define a partir de la siguiente ecuación:

$$K_W = \frac{\sqrt[3]{T_B}}{\text{GE}} \quad (5)$$

Donde:

T_B : Punto de ebullición medio, $^{\circ}\text{R}$.

K_W : Factor de caracterización de Watson, adimensional.

El factor de caracterización de Watson está comprendido entre menos de 10 para materias altamente aromáticas hasta casi 15 para compuestos altamente parafínicos. Los crudos de petróleo presentan un intervalo más estrecho para K_W y varían desde 10,5 para crudos altamente nafténicos hasta 12,9 para crudos de base parafínica. [Gary J., 1980]

➤ **Punto de Inflamación y de Vaporización Instantánea**

Estos parámetros designan respectivamente: la temperatura a la cual el vapor, encima de un aceite, momentáneamente se vaporizará cuando esté en presencia de una llama y la temperatura a la cual el vapor se emitirá lo suficientemente rápido como para arder continuamente. Estas pruebas sirven para indicar la temperatura bajo la cual un aceite puede ser manejado sin riesgo de fuego. Ciertos aceites de alto punto de ebullición, tal como los lubricantes, no pueden ser destilados a presión atmosférica sin descomposición térmica y en este caso, el punto de vaporización instantánea sirve para indicar la cantidad relativa de aceite de bajo punto de ebullición presente en el material. [Nelson W., 1958]

➤ **Índice de viscosidad**

El índice de viscosidad es una serie de números en el rango de 0 a 100, el cual indica la proporción de cambio de la viscosidad con la temperatura. Un índice de viscosidad de 100 indica un aceite que no tiende a tornarse viscoso con las bajas temperaturas. Típicamente, las bases lubricantes parafínicas exhiben un índice de viscosidad cercano a 100, los aceites de base nafténica poseen un índice de viscosidad cercano a 40, mientras que los aceites nafténicos tienen un índice de viscosidad cercano a cero. [Nelson W., 1958]

➤ **Color**

Las fracciones de diferente rango de ebullición y de diferentes crudos, tienen diferente color. El color indica el grado de refinación que el material ha sufrido. Los productos destilados que son decolorados pueden indicar descomposición térmica o el arrastre de productos de color oscuro del residuo. [Nelson W., 1958]

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

La metodología aplicada para alcanzar los objetivos propuestos incluye los siguientes puntos:

3.1 Búsqueda y revisión de información

En esta etapa se selecciona el material de apoyo de manera tal que sea posible conocer el fundamento operacional de las plantas de destilación, específicamente de las torres de destilación de vacío. Esta información comprende detalladamente los siguientes puntos: métodos y pruebas utilizadas para caracterizar crudos y fracciones de petróleo, características operacionales de las plantas de destilación de vacío y variables más importantes a controlar, especificaciones más importantes de los productos obtenidos de la torre de vacío, descripción de los internos frecuentemente utilizados en las operaciones de destilación de crudos, hidráulica en los platos de las torres de destilación y condiciones limitantes de operabilidad. Adicionalmente es necesario conocer la filosofía de operación de la Planta de Destilación de Vacío PVAY-2, para lo cual se recopila el diagrama de flujo de proceso (DFP), la historia operacional de la planta y las características de los platos de la torre, además de realizarse visitas a la Planta de Destilación de Vacío N° 2.

3.2 Recopilación de los datos operacionales y de diseño

En esta etapa, se recopilan los datos fundamentales para desarrollar el modelo de simulación. Los datos requeridos se toman para el día 13 de Junio del 2001. Se considera éste ya que es el día para el cual se dispone de la información mas actualizada de las pruebas de destilación ASTM de los cortes de la torre T-100X al procesarse el crudo TJM 26. Con respecto al crudo CPG, se toman datos operacionales correspondientes al día 4 de Mayo del año 2001 y para el crudo LRM del día 13 de Febrero del mismo año.

Los datos como presión, temperaturas y flujos de las diferentes corrientes y secciones de la torre son suministrados por el programa Aspen Process Explorer, el cual proporciona información de los diferentes instrumentos de medición instalados en las distintas plantas de la refinería. Igualmente se toman muestras de los diferentes cortes de la planta de destilación al vacío PVAY-2, las cuales son enviadas al Laboratorio de la Refinería, a fin de determinar las calidades de los productos mediante pruebas de destilación ASTM. De igual forma se realizan inspecciones y mediciones en el área para conocer el flujo de vapor de despojamiento que se maneja en la torre.

3.3 Casos seleccionados para la evaluación

Para lograr los objetivos propuestos en este trabajo, se seleccionan cuatro casos de estudio.

CASO N° 1: Evaluación de la operación de la Planta de Destilación al Vacío PVAY-2, cuando se procesa el crudo Tía Juana Medio 26: Con los datos operacionales para este caso, se verifica que el modelo planteado en la simulación reproduce la operación real de la unidad. Adicionalmente, como se conocen las curvas de destilación de los productos, con este caso se determina el número de etapas teóricas de la torre T-100X, mediante un procedimiento iterativo en el cual se varía el número de etapas teóricas para cada una de las secciones, de manera tal de poder ajustar las curvas de destilación de la alimentación con la del producto. Posteriormente se realiza la evaluación hidráulica, la cual permite conocer la operación actual de los internos de la torre.

CASO N° 2: Evaluación de la operación de la Planta de Destilación al Vacío PVAY-2, cuando se procesa el Crudo de Propósitos Generales (CPG): En este caso, el número de etapas teóricas se conservan iguales a las del caso N° 1. Luego de la

simulación se procede a la evaluación hidráulica con los datos obtenidos mediante la misma.

CASO N° 3: Evaluación de la operación de la Planta de Destilación al Vacío PVAY-2, cuando se procesa el crudo La Rosa Mediano: El número de etapas teóricas se conservan iguales a las del caso N° 1 y adicionalmente se realiza la evaluación hidráulica para el mismo.

CASO N° 4: Evaluación de la operación de la Planta de Destilación al Vacío PVAY-2, luego del incremento del número de etapas teóricas en la zona de despojamiento, procesando diversos tipos de crudo, en este caso TJM 26, CPG y LRM: En este caso, se realiza la simulación de la planta y la evaluación hidráulica de los platos de la sección de despojamiento.

Las evaluaciones de la torre T-100X y la evaluación hidráulica de los internos de la misma, se realizan para la carga operacional, carga máxima de 50 KBD y carga mínima de 38 KBD.

3.4 CASO N° 1. Evaluación de la operación actual de PVAY-2, cuando se procesa el crudo TJM 26

3.4.1 Simulación en PRO-II con PROVISION. Validación de la simulación

Para asegurar que el esquema propuesto de simulación representa las condiciones actuales de operación, es necesario validar la misma con los datos operacionales reales. Para lograr este fin, se verifican algunas variables operacionales como el perfil de temperatura de la torre, el balance de energía, rendimiento y calidad de productos y se comparan las curvas de destilación de la alimentación con la de los productos, de manera tal que se pueda comprobar que se está obteniendo en el modelo, el fraccionamiento que se logra en la torre de destilación. Es importante

destacar que inicialmente el modelo de simulación se plantea para diez etapas teóricas, calculadas a partir de eficiencias promedio para cada una de las secciones de la torre; sin embargo, puede resultar necesario cambiar el número de las mismas, para poder lograr una mayor semejanza entre las curvas de destilación de la alimentación con la de los productos, ya que el grado de fraccionamiento es ajustado al que realmente se obtiene en la operación de PVAY-2.

La simulación de la torre se desarrolla en varios pasos que son detallados a continuación:

Selección del método termodinámico: Esta etapa es de gran importancia para desarrollar el modelo de simulación. Los pasos realizados para seleccionar el modelo termodinámico del proceso son los siguientes:

- Inicialmente, se efectúa la revisión bibliográfica, con la finalidad de obtener información referente a los modelos termodinámicos más recomendados en la simulación de procesos de destilación al vacío. Luego de analizar los modelos, se procede a seleccionar aquellos que se adaptan a las condiciones de operación de PVAY-2.
 - Con los modelos termodinámicos seleccionados, se realiza un análisis de sensibilidad y finalmente se selecciona aquel que represente las condiciones reales de operación de la torre con mayor exactitud.
 - Luego de analizar los métodos termodinámicos se selecciona finalmente uno de ellos para el cual se procede a especificar el Sistema de Cálculo de Propiedades, que depende del método termodinámico seleccionado.
- **Distribución de pseudo - componentes en la alimentación:** La distribución de pseudo - componentes se realiza tomando en cuenta las curvas de destilación de los diferentes cortes.

- **Métodos empleados en la evaluación de propiedades:** Se seleccionan los métodos de evaluación de propiedades de transporte y de refinación, dependiendo del método termodinámico seleccionado.

- **Especificación de las corrientes de alimentación:** Se define el nombre, flujo, condición térmica y composiciones de todas las corrientes de entrada.
 - Caracterización de la alimentación a la unidad: Debido a que la alimentación a la Unidad de Destilación de Vacío PVAY-2, es una mezcla compleja de hidrocarburos, se requiere definir ésta mediante ensayos experimentales o *Assay Petroleum*. La alimentación de la unidad se representa como una mezcla de los distintos productos de la torre, los cuales ya se han previamente caracterizado; así, la alimentación a PVAY-2 es una corriente producto de la mezcla de cinco corrientes correspondientes a la cabecera, el corte lateral N° 1, el corte lateral N° 2, el corte lateral N° 3 y el fondo de vacío.
 - Especificación de las corrientes de vapor de despojamiento de la torre T-100X, del horno y de los depojadores laterales: Estas corrientes son especificadas como *Composition Defined* ya que se conoce que están compuestas 100 % de agua y se conoce el flujo en Klb/h de las mismas.

- **Datos de las Operaciones Unitarias**
 - Mezclador: Al mezclador se alimentan las corrientes de cabecera, corte lateral N° 1, corte lateral N° 2, corte lateral N° 3 y fondo de vacío. Del mismo sale la corriente de alimentación a la torre. Para el mezclador se especifica la caída de presión.
 - Tambor de destilación flash: El tambor de destilación flash es utilizado para simular la zona de vaporización instantánea, en el cual se especifican

condiciones como la presión y temperatura de la Zona de Vaporización Instantánea (ZVI) de la unidad, el mismo se ubica aguas arriba de la torre de vacío. El líquido y vapor producidos por el flash, son alimentados a la torre en la sección de lavado y despojamiento, respectivamente. Adicionalmente, se alimenta el flujo de vapor, que en la operación normal de la planta es alimentado al horno F-100 y un flujo de vapores craqueados que simulan los gases incondensables que se producen debido al craqueo del hidrocarburo ocasionado por las altas temperaturas.

- Torre de destilación de vacío T-100X: La torre es alimentada por la corriente proveniente del tambor de destilación flash y por el vapor de despojamiento. Los productos de la misma son las corrientes de tope, cabecera, corte lateral N° 1, corte lateral N° 2, corte lateral N° 3, overflash y fondo de vacío. De estas, el corte lateral N° 1 y el corte lateral N° 3 son enviados a las columnas despojadoras y la corriente de overflash es recirculada al separador flash. Para la simulación de la torre se selecciona el algoritmo de cálculo, además se especifica el perfil de presión, los flujos de productos y las etapas de alimentación y retiro, entre otros factores como los estimados iniciales que facilitan la convergencia del algoritmo de cálculo.
- Despojador lateral T-101: Al despojador lateral T-101 es alimentada la corriente del corte lateral N° 1 proveniente de la torre T-100X y el vapor de despojamiento. Los gases del mismo son recirculados a la torre y la corriente líquida es el producto de la misma.
- Despojador lateral T-102: El despojador lateral T-102 es alimentado con la corriente del corte lateral N° 3 proveniente de la torre T-100X y el vapor de despojamiento. Los gases del mismo son recirculados a la torre y la corriente líquida es el producto.

3.4.2 Determinación del overlap y del punto de corte

Para determinar un valor aproximado correspondiente al punto de corte entre dos cortes consecutivos, en este caso Lube Pesado/Brea, se ubica en la curva de destilación TBP a 760 mmHg generada por el reporte de PRO-II con Provision, la temperatura para la cual se obtiene el 95 % del corte más liviano y el 5 % del corte más pesado y se realiza un promedio entre estos dos valores (ver ecuación N° 8).

El Overlap se determina mediante la diferencia entre la temperatura para la cual se obtiene el 5 % del corte más pesado y el 95 % del corte más liviano, las cuales son obtenidas de la curva de destilación simulada (TBP a 760 mmHg). (ver ecuación N° 7)

3.4.3 Evaluación Hidráulica

Esta evaluación se realiza con la finalidad de detectar las posibles limitaciones hidráulicas de los platos existentes actualmente en la sección de despojamiento de la torre de destilación al vacío T-100-X.

Para la evaluación hidráulica se requiere el programa Toolkit. Este es utilizado para el diseño y evaluación de platos perforados, se basa en las Prácticas de Diseño de PDVSA y permite determinar el funcionamiento del plato, en cuanto a parámetros como inundación, arrastre, goteo, llenado del bajante, velocidad en los bajantes y sellado del bajante.

La evaluación se realiza utilizando los valores correspondientes a las cargas líquido – vapor, las condiciones de presión y propiedades como: viscosidad, densidad y tensión superficial de los platos teóricos generados en el reporte del programa PRO-II con PROVISION.

La metodología utilizada contempla las siguientes etapas:

- Búsqueda de los datos de diseño de los platos de las torres T-100X
- Recopilación de datos requeridos, determinados a partir de los resultados de la simulación, como los siguientes:

Vapor: Flujo, (klb/h); Densidad, (lb/ft³); Viscosidad, (cp); Presión, (psia).

Líquido: Flujo, (klb/h); Densidad, (lb/ft³); Viscosidad, (cp); Tensión Superficial, (d/cm)

- Evaluación hidráulica de platos perforados con el programa Toolkit.
- Determinación de las limitaciones hidráulicas de los platos (inundación, llenado de bajante, altas velocidades a la entrada o la salida del bajante etc).

3.5 Simulación en PRO-II con PROVISION. Evaluación de los casos N° 2, 3 y 4.

3.5.1 Estudio de los CASOS N° 2 y 3

El modelo de simulación para los casos N° 2 y 3 es prácticamente igual al del caso N° 1. Tanto el método termodinámico, la distribución de pseudo - componentes y los métodos empleados en la evaluación de propiedades son iguales a los correspondientes al caso N° 1; sin embargo, estos difieren en los datos operacionales ya que corresponden a otro día; por lo tanto se necesitan conocer tanto los datos de las corrientes de alimentación, como los de los equipos de la unidad.

La alimentación de la unidad se representa como una sola corriente, ya que solo se tienen datos de la destilación del fondo atmosférico de la planta PSAY-2, cuando se procesa el crudo CPG y de la destilación del crudo cuando se procesa LRM. Las otras corrientes de alimentación y las operaciones unitarias se especifican de la misma manera como se hizo para el caso N° 1. De igual manera, se calculan el punto de corte y el overlap y se realiza la evaluación hidráulica para los platos de la torre.

3.5.2 Estudio del CASO N° 4

Este caso consiste en la evaluación de la operación de la torre T-100X, luego del incremento de las etapas teóricas de la sección de despojamiento. Para esto se utiliza el mismo procedimiento bajo el cual se llevo a cabo el estudio del caso N° 1 descrito anteriormente, incrementando de una a dos etapas teóricas la sección de despojamiento y modificando la presión de fondo debido a que al colocar una etapa teórica más, la caída de presión total de la torre aumenta.

En principio, se tiene planteado realizar las siguientes modificaciones:

- Incrementar el número de platos perforados de la sección de despojamiento.
- Reemplazar los platos actuales, colocando un arreglo de platos de válvulas fijas de la compañía Sulzer Chemtech.

Para este caso, el modelo de simulación es igual al planteado para los casos anteriores, a excepción de las modificaciones descritas anteriormente. Se calcula el punto de corte, el overlap y el número de etapas teóricas. La evaluación hidráulica se realiza utilizando el programa Toolkit para la configuración de platos perforados y el programa Sultray para la configuración de platos tipo válvula fija. Para el incremento del número de platos, se tomará en cuenta el espacio disponible en la torre y el espaciamiento mínimo permitido según las normas de diseño PDVSA. A diferencia de los casos N° 1, 2 y 3, la simulación de la torre se realiza a la carga máxima de 50 KBD y a la carga mínima de 38 KBD.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados de las simulaciones realizadas tanto para el caso base o de validación, como para el resto de los escenarios de

sensibilidad estudiados. Igualmente, se incluye la evaluación hidráulica de todas las configuraciones propuestas para la zona de despojamiento con la finalidad de seleccionar la que permita optimar la operación de la zona y permitir una mayor recuperación de Lube Pesado a expensas de Brea, manteniendo las especificaciones de calidad de los productos.

4.1 CASO N° 1: Crudo Tía Juana Medio 26

Para evaluar la operación de la torre de destilación de vacío PVAY-2, en el escenario actual de operación, se debe comprobar que la misma reproduce las variables operacionales más importantes. La simulación fue realizada con la herramienta de simulación PRO-II with PROVISION, que permite alcanzar de manera eficiente, las condiciones de operación de plantas de procesos. El criterio establecido para la validación de esta simulación fue obtener un porcentaje de desviación no mayor del 10 % para las temperaturas y flujos, mientras que las presiones se fijaban en su valor exacto por especificación y un porcentaje de desviación menor al 5 %, para las temperaturas correspondientes a cada porcentaje de recuperación en las destilaciones TBP de los productos de la torre de vacío.

Las modificaciones principales que se realizaron en la simulación, con la finalidad de obtener la mayor semejanza con los datos operacionales actuales, se centraron en variar el número de etapas teóricas de la torre. Debido a que continuamente se realizan evaluaciones de las unidades de proceso de la refinería de Amuay, en la última validación de la torre, realizada en Agosto del año 2000, se comprobó que la misma estaba representada por diez etapas teóricas. En la validación actual se partirá de esta simulación con diez etapas teóricas y se verificará si la torre aún posee el mismo número de etapas teóricas.

4.1.1 Consideraciones importantes en la simulación

Para realizar la simulación de la torre de vacío T-100X, en conjunto con los despojadores laterales, se tomaron en cuenta una serie de premisas. En primer lugar se evalúa el esquema bajo el cual se realizará la simulación de la planta de manera tal de lograr la configuración de equipos y líneas que reproduzcan de mejor manera la operación real de la torre T-100X y en segundo lugar, se debe realizar un análisis de sensibilidad para las variables más importantes a comparar, considerando los métodos termodinámicos que teóricamente son aplicables para la simulación de la planta. En el Apéndice B, se reportan los datos utilizados en la simulación de PVAY-2 para todas las cargas, al procesarse los tres tipos de crudo.

a. Esquema de simulación para los tres casos estudiados

- ***Alimentación a la unidad:*** La alimentación a la torre de destilación de vacío, cuando se procesa el crudo Tía Juana Medio 26, se simula como la mezcla de diferentes corrientes que representan los distintos cortes de la torre, ya que se tiene a la disposición las curvas de destilación más recientes de dichos productos, las cuales, adicionalmente, se utilizarán para comparar el fraccionamiento de las distintas zonas de la torre y ajustar el número de etapas teóricas de las mismas (ver Tabla N° 74, Apéndice N° B). Con la simulación de la torre ya validada se procederá a evaluar la operación de la misma para el procesamiento del Crudo de Propósitos Generales y para el crudo La Rosa Mediano; en estos dos casos no es posible comparar curvas de destilación de productos. Para el CPG se utilizará la curva de destilación del fondo atmosférico (Tabla N° 76, Apéndice N° B) y para LRM la curva del crudo (Tabla N° 77, Apéndice N° B); en este último caso, se simula la torre de destilación atmosférica y la de vacío, a diferencia de los otros casos en los cuales sólo se simula la torre de destilación de vacío solamente. En las Figuras N° 27, 28, 29 y 30 ubicadas en el Anexo B, se observa las tres maneras diferentes de simular la alimentación.

- ***Curvas de destilación:*** Las curvas de destilación que se tienen para todos los productos y cortes laterales de la torre de vacío al procesarse TJM 26 son

ASTM-D2887, las cuales son destilaciones simuladas o por cromatografía; sin embargo, en la simulación con PRO-II with PROVISION, estas son ingresadas como curvas TBP en peso, ya que el programa internamente maneja todas las curvas como TBP. Si se ingresaran los datos de las mismas como D-2887, se arrastraría un error relacionado con una doble interconversión de curvas, pues el programa la transforma a TBP para realizar sus cálculos y posteriormente la vuelve a transformar a D-2887 para reportar el resultado de la simulación.

- ***Los hornos son simulados como separadores flash:*** Debido a la imposibilidad de simular el horno como equipo en sí en PRO-II with PROVISION, es práctica común simular el mismo para los procesos de destilación como un separador flash, en el cual la temperatura y la presión corresponden a la de la zona de vaporización instantánea de la torre de vacío.
- ***Algoritmo de cálculo para la torre de destilación:*** Los algoritmos de cálculo para la destilación de hidrocarburos son: Inside-Out, Sure, Chemdist y Liquid-Liquid. El algoritmo de cálculo seleccionado es el Inside-Out ya que es muy rápido para dar resultados y es aplicable cuando existen columnas con despojadores laterales y pumparounds. Los otros métodos no se aplican para estas situaciones.
- ***Método para la Generación de Estimados Iniciales:*** Existen cuatro métodos de generación de estimados iniciales: Simple, Conventional, Refinery y Chemical. De estos cuatro, se selecciona el método Refinery ya que es desarrollado específicamente para columnas de retiros múltiples, columnas con despojadores laterales y circuitos de pumparounds; siendo el método típicamente utilizado para la simulación de torres de vacío.
- ***Distribución de Pseudo-componentes:*** La distribución de pseudo - componentes se realiza tomando en cuenta las curvas de destilación de los diferentes cortes. El número de pseudo - componentes es maximizado en aquellas secciones de las

curvas de destilación cercanas a un punto de corte, ya que es allí donde existen los mayores cambios de pendiente y esto permite una mejor definición de las curvas de destilación; sin embargo, cuando las curvas se encuentran muy solapadas, como es el caso del presente estudio, no es necesario definir los pseudo-componentes por pequeños rangos de destilación. En ocasiones se evita definir un número muy grande de pseudo-componentes (menor a setenta), para evitar que el simulador demore demasiado en realizar los cálculos de las iteraciones. En la Tabla N° 11 se muestra la distribución de pseudo-componentes seleccionada para la simulación de la torre de destilación de vacío. En la misma se observa que se definen sesenta pseudo-componentes en el rango de temperaturas de 250 °F a 1200 °F pues las curvas se encuentran muy solapadas y a partir de 1200 °F, hasta 1500 °F sólo cinco pseudo-componentes ya que en este rango seguramente no se encuentra ningún punto de corte.

Tabla N° 11: Distribución de pseudo-componentes.

Intervalos de Temperaturas, °F	Número de pseudo-componentes en la destilación TBP
250 - 1200	60
1200 - 1500	5

- **Flujos de vapor:** Las condiciones de los flujos de vapor de despojamiento en la torre T-100X, T-1X y en los despojadores laterales, además del vapor que es alimentado a los pases del horno, son establecidas en algunos casos como las condiciones típicas de dichas corrientes. En las Tablas N° 80 y 81 del Apéndice B se reportan estos valores para la torre de vacío, y en las Tablas N° 82 y 83 para la torre atmosférica.
- **Flujo de craqueados:** En el horno de calentamiento para la torre de destilación de vacío, se alcanzan temperaturas muy altas que ocasionan craqueo moderado del hidrocarburo. En la operación real de la torre ocurre de esta manera; sin embargo, como en el programa PRO-II with PROVISION se está simulando el horno como

un separador flash, se debe alimentar al mismo una corriente de gases craqueados calculados a partir de una correlación (ecuación N° 6, Apéndice C), la cual es dependiente de la temperatura de la zona de vaporización y el flujo de alimentación a la torre de destilación. En la Tabla N° 79 del Apéndice B se reportan los datos de la corriente de gases craqueados

- ***Vapor a los pases del horno:*** En el separador flash es alimentada una corriente de vapor de agua que corresponde al vapor alimentado a los pases del horno para aumentar la velocidad del crudo en los tubos y evitar la coquificación en los mismos. En la Tabla N° 78 del Apéndice B se reportan los datos de la corriente de vapor a los pases del horno.
- ***Reflujos externos (Pumparounds):*** La torre T-100X presenta dos reflujos externos, superior e inferior, simulados como circuitos de recuperación de calor o “Pumparounds”. Para cada una de estas recirculaciones se especifican las etapas de salida, retorno y el flujo. Luego de enfriar en intercambiadores de calor una fracción del flujo de cabecera y del corte lateral N° 2, se recirculan a la columna con la función de controlar el perfil de temperaturas de la torre. En la Tabla N° 90 (Apéndice B), se reportan los datos del pumparound para la torre de vacío y en la Tabla N° 105 (Apéndice B) para la torre atmosférica.

b. Limitaciones presentadas en la simulación de la torre T-100X

Uno de los aspectos importantes que contempla la evaluación del sistema, es la verificación del buen funcionamiento de los equipos de medición asociados. Es importante resaltar que la lectura en algunos de los instrumentos de medición no es muy confiable, debido a problemas de calibración del mismo. Adicionalmente, para algunas corrientes de vapor no existen medidores de presión o temperatura; sin

embargo, se tomaron algunas medidas como suponer los valores faltantes iguales a los valores de diseño para contar con estos datos necesarios para la simulación, aunque no fueran totalmente confiables. Por lo tanto, no debe atribuirse a estos resultados 100 % de certeza, mas bien deben ser usados como referencia para iniciar un proceso de evaluación más riguroso, que implique el mejoramiento de las condiciones de medición de variables.

El vapor de despojamiento de la torre de vacío T-100X y de los despojadores laterales T-101 y T-102 provienen del mismo cabezal de vapor, por lo tanto, la presión y temperatura del vapor se puede considerar igual para los tres equipos. Este vapor posee medidores de presión a la entrada de los equipos; sin embargo, los correspondientes a los despojadores, se encuentran en mal estado, pues señalan valores estáticos de presión, sólo se tiene el valor de presión en la línea de vapor de despojamiento de la torre T-100X y este valor es tomado para los tres equipos; de igual forma, las líneas no presentan medidores de temperatura y en este caso se toma como temperatura de dicho flujo los valores típicos manejados por Ingeniería de Procesos, los cuales son reportados en el Apéndice B.

Adicionalmente, los medidores de flujo del vapor de los despojadores laterales se encuentran en mal estado. Se procedió a verificar en el área la abertura de la válvula y se encontró que para el despojador del corte lateral N° 1, la válvula se encontraba totalmente cerrada. Para el corte lateral N° 3, ésta presentaba cierta abertura y se estimó el flujo de vapor en la simulación hasta obtener un 5 % de la destilación TBP del corte bastante cercano al reportado por la simulación del laboratorio. Estos valores se mantuvieron en las simulaciones de todos los crudos, a carga operacional, máxima y mínima.

Los medidores de flujo de los pumparound superior y principal son calificados por un equipo especializado como poco confiables por presentar problemas de

calibrado. No obstante, no se ha registrado en documento alguno, al mantenimiento de ambos medidores.

Otra limitación de importancia es la ausencia de curvas de viscosidad de productos, las cuales son realizadas por INTEVEP. Estas pruebas son muy costosas y las simulaciones por lo general se realizan sin dicha información, la cual es de importancia en la simulación de torres de vacío con propósitos lubricantes, pues una de las principales especificaciones de los productos es la viscosidad de los cortes. En su lugar, se chequean otras variables como la gravedad API, el flujo de retiro del corte lateral N° 2 y la temperatura del plato N° 8.

c. Carga Máxima y Carga Mínima

La carga máxima a la que ha llegado a operar la torre T-100X es de 50 KBD; sin embargo, con el diseño actual de la planta, es muy difícil alcanzar este valor debido a la capacidad del horno. Por lo general se opera a una carga máxima de 48 KBD; no obstante, se realiza el estudio para el valor de los 50 KBD. A esta carga máxima corresponde también valor máximo de flujo de vapor de despojamiento a la torre, el cual es de 9500 lb/h. La carga mínima de la torre es de 38 KBD para un flujo de vapor de despojamiento a la misma de 7000 lb/h.

Es importante destacar que también el flujo de vapor alimentado al horno y de los gases craqueados son ajustados a la carga máxima y a la mínima. El flujo de vapor de despojamiento se conserva en 0,01 lb/h para el despojador T-101 y 1500 lb/h para el despojador T-102, tanto en la carga operacional, máxima y mínima, pues en la operación real de la planta, estos valores son modificados cuando se observa que es necesario ajustar el 5 % de la destilación de algún corte y no al variar la carga a la unidad. Todas estas premisas son aplicadas en la simulación de la torre al procesar los tres tipos de crudo. En el Apéndice B se reportan los valores utilizados en la simulación a carga máxima y mínima, para los tres tipos de crudo. Los valores

correspondientes a los flujos de los productos para la carga máxima y mínima, se obtienen realizando una interpolación lineal con los flujos correspondientes a la carga operacional.

d. Selección del Método Termodinámico

Luego de realizar la revisión bibliográfica de los métodos termodinámicos utilizados con mayor frecuencia en la simulación de procesos de hidrocarburos, se llegó a la conclusión que los métodos como Chao – Seader, Peng – Robinson y Soave – Redlich – Kwong no son aplicables para la simulación de torres de destilación de vacío ya que estos métodos son utilizados en la simulación de mezclas de hidrocarburos ligeros, a diferencia de la destilación de vacío, en la cual se manejan hidrocarburos de alto peso molecular. Con respecto a los métodos Grayson – Streed y Braun K-10, ambos son aplicables a la destilación de hidrocarburos medios y pesados, encontrándose el rango de temperaturas y presiones en el orden de las mismas manejadas en los procesos de destilación de vacío. Por lo tanto, la simulación de la torre de destilación de vacío se realiza con ambos métodos termodinámicos para el caso planteado inicialmente de diez etapas teóricas totales. A continuación se muestra en la Tabla N° 12, un resumen de los resultados más importantes para la comparación entre los métodos termodinámicos. La simulación se realiza para el crudo TJM 26 y para una carga de 44,4 KBD y son especificados el flujo de retiro del corte de cabecera, corte lateral N° 1, corte lateral N° 2, corte lateral N° 3 y overflash. Los valores de estos flujos se encuentran en la Tabla N° 88 del Apéndice B.

Tabla N° 12: Resultados de la simulación con diez etapas teóricas.

Crudo TJM 26.

Variable	Operación	Simulación Grayson Streed	Porcentaje de desviación	Simulación Braun K - 10	Porcentaje de desviación
Flujo de retiro de Fondo de Vacío, BD	25968	25873	0,4	26210	0,9
°API Cabecera, °API	25,6	25,3	1,2	25,9	1,2
°API Corte Lateral	20,0	20,6	3,0	21,1	5,5

N° 1, °API					
°API Corte Lateral N° 2, °API	18,3	18,4	0,5	18,6	1,6
°API Corte Lateral N° 3, °API	14,2	13,8	2,8	14,4	1,4
°API Fondo del Vacío, °API	8,7	8,5	2,3	8,5	2,3
Temperatura del plato N° 8, °F	575	555	3,5	544	5,4
Temperatura de la zona de vaporización instantánea, °F	754	720	4,5	716	5,0
Temperatura de la zona de lavado, °F	708	702	0,8	700	1,1

Como puede observarse en la Tabla N° 12, se obtienen menores porcentajes de desviación para estas variables estudiadas al utilizar el método Grayson Streed; por lo tanto, este es el método termodinámico seleccionado para la simulación. En ambas simulaciones los flujos de retiro de productos son especificados, a excepción del fondo de vacío, el cual es calculado como resultado de un balance de masa, observándose que para el caso de la simulación con BK-10, el porcentaje de desviación es mayor que el reportado para la simulación con GS, 0,9% vs. 0,4% respectivamente. Esto se debe a que el método BK-10 calcula un perfil de temperaturas menor que el método GS, se observa en la Tabla N° 12 mayores porcentajes de desviación para las mismas en la simulación con BK-10, donde el mayor porcentaje de desviación es para la temperatura de retorno del pumparound N° 2, la cual es de 5,4 %.

Debido a que el perfil de temperaturas en la simulación de la torre T100-X, al utilizar el método BK - 10, es menor al perfil operacional y a la vez, es menor al perfil presentado en la simulación con el método Grayson - Streed, los cortes o productos laterales son más ligeros de lo que son en realidad, ya que las temperaturas no son suficientes para vaporizar las fracciones más pesadas del crudo; por lo tanto la gravedad API de los cortes es mayor, así como el flujo de retiro del producto de fondo, pues no se logra vaporizar parte de esta fracción pesada de la alimentación.

Por esta razón, los porcentajes de desviación de las gravedades API de los productos son mayores en la simulación con el método BK - 10.

4.1.2 Simulación de la Torre de Vacío T-100X de PVAY-2

4.1.2.1 Carga Operacional

➤ **Simulación con diez etapas teóricas**

En evaluaciones anteriores, realizadas en el año 2000, se determinó que la torre de vacío T-100X tiene un total de diez etapas teóricas; por lo tanto, se partió de esta evaluación para comprobar si la misma aún opera con las mismas eficiencias promedio, calculadas para cada una de las secciones de la torre, comparándose el rendimiento de los productos, el perfil de temperaturas de la torre y la gravedad API de los productos obtenidos en la simulación, con los de la operación real de la torre. Cumpliendo con estas premisas, se estableció una simulación como caso base, cuyos datos de entrada se encuentran en el Apéndice B. En la siguiente tabla se muestra la distribución del número de etapas teóricas de la torre para este primer caso, que servirá como punto de partida para estimar el número de etapas teóricas de la torre.

Tabla N° 13: Distribución de las diez etapas teóricas de la torre.

Sección de la torre de vacío T-100X	Número de etapas teóricas	Número de etapas reales	Eficiencia promedio estimada, %
Fraccionamiento Tope - Cabecera	2	3	67
Fraccionamiento Cabecera - Corte lateral N° 1	2	4	50
Fraccionamiento Corte lateral N° 1 - Corte lateral N° 2	2	2	100

Fraccionamiento Corte lateral N° 2 - Corte lateral N° 3	2	4	50
Zona de lavado	1	1	---
Zona de Despojamiento	1	4	25

En el Apéndice A se observa en la Figura N° 15, la distribución de las diez etapas en la torre de destilación de vacío T-100X.

- **Comparación de Variables Operacionales**

La mayoría de los rendimientos de los productos son especificados en la simulación, tal como se observa en las Tablas N° 91, 92 y 93 del Apéndice B, por lo que la desviación de los resultados arrojados en la simulación, con respecto a la operación de la torre son mínimos. La gravedad API es una indicación de cuan pesado o liviano es el crudo y buenos ajustes en la gravedad API, proporcionará seguramente buenos ajustes en las curvas de destilación. En lo que se refiere al perfil de temperatura, son comparadas las temperaturas de retorno de los pumparound superior e inferior para garantizar que el retiro de calor en la torre se está realizando de la manera más semejante a la operación real de la misma; sin embargo, como PRO-II with PROVISION simula etapas teóricas, la temperatura correspondiente a una sola etapa en la simulación, corresponde a varios platos en la operación real; por lo tanto, sólo se toma como un estimado de la temperatura de la zona y no se establecen para la comparación, porcentajes de desviación muy pequeños. En la siguiente tabla se muestran estas variables comparadas; sin embargo, realmente la simulación se valida al comparar las curvas de destilación, pues a partir de ellas se verifica si el número de etapas teóricas estimadas de cada una de las zonas de la torre de destilación de vacío es la correcta. La carga para la cual se realiza la simulación es de 44,4 KBD y en la misma son especificados los flujos de retiro del producto de cabecera, corte lateral N° 1, corte lateral N° 2, corte lateral N° 3 y overflash. Adicionalmente, también se especifica la temperatura del tope de la torre.

Tabla N° 14: Resultados de la simulación para el crudo TJM 26.

(Carga Operacional: 44,4 KBD. Diez etapas teóricas)

Variable	Operación	Simulación	Porcentaje de desviación, %
Flujo de retiro de Fondo de Vacío, BD	25968	25873	0,4
Gravedad API de Cabecera, °API	25,6	25,3	1,2
Gravedad API de Corte Lateral N° 1, °API	20,0	20,6	3
Gravedad API de Corte Lateral N° 2, °API	18,3	18,4	0,5
Gravedad API de Corte Lateral N° 3, °API	14,2	13,8	2,8
Gravedad API de Fondo de Vacío, °API	8,7	8,5	2,3
Temperatura del plato 8 (etapa 5), °F	575	555	3,5
Temperatura de la zona de vaporización instantánea (etapa 9), °F	754	720	4,5
Temperatura de la zona de lavado (etapa 8), °F	708	702	0,8

- **Comparación entre las curvas de destilación**

En las siguientes tablas se muestran los resultados de las curvas de destilación generadas por el programa PRO-II with PROVISION y el porcentaje de desviación con respecto a las curvas obtenidas de laboratorio, ambas manejadas como TBP en peso a 760 mmHg. El programa PRO-II with PROVISION genera las curvas sólo para los porcentajes de 5, 10, 30, 50, 70, 90, 95 y 98 %, razón por la cual no se muestran valores para los otros porcentajes.

Tabla N° 15: Curvas de destilación para el corte de Cabecera.

Simulación con diez etapas teóricas.

Porcentaje de Recuperación, %	Curva de Laboratorio, °F	Curva de PRO-II, °F	Porcentaje de Desviación, %
5	476	493	-3,6
10	521	529	-1,5

20	566	-----	-----
30	603	607	-0,7
40	630	-----	-----
50	653	653	0,0
60	675	-----	-----
70	697	696	0,1
80	722	-----	-----
90	755	749	0,8
95	778	770	1,0
98	-----	812	-----

Tabla N° 16: Curvas de destilación para el Corte Lateral N° 1.

Simulación con diez etapas teóricas.

Porcentaje de Recuperación, %	Curva de Laboratorio, °F	Curva de PRO-II, °F	Porcentaje de Desviación, %
5	665	661	0,6
10	695	692	0,4
20	730	-----	-----
30	755	745	1,3
40	775	-----	-----
50	793	777	2,0
60	810	-----	-----
70	829	807	2,7
80	851	-----	-----
90	877	851	3,0
95	895	872	2,6
98	-----	908	-----

Tabla N° 17: Curvas de destilación para el Corte Lateral N° 2.

Simulación con diez etapas teóricas.

Porcentaje de Recuperación, %	Curva de Laboratorio, °F	Curva de PRO-II, °F	Porcentaje de Desviación, %
5	691	723	-4,6
10	728	752	-3,3

20	769	-----	-----
30	795	803	-1,0
40	817	-----	-----
50	838	835	0,4
60	857	-----	-----
70	876	866	1,1
80	895	-----	-----
90	920	904	1,7
95	937	921	1,7
98	-----	959	-----

Tabla N° 18: Curvas de destilación para el Corte Lateral N° 3.

Simulación con diez etapas teóricas.

Porcentaje de Recuperación, %	Curva de Laboratorio, °F	Curva de PRO-II, °F	Porcentaje de Desviación, %
5	780	828	-6,2
10	817	850	-4,0
20	861	-----	-----
30	888	890	-0,2
40	909	-----	-----
50	926	917	1,0
60	941	-----	-----
70	958	947	1,1
80	978	-----	-----
90	1003	996	0,7
95	1022	1019	0,3
98	-----	1079	-----

Tabla N° 19: Curvas de destilación para el Fondo de Vacío.

Simulación con diez etapas teóricas.

Porcentaje de Recuperación, %	Curva de Laboratorio, °F	Curva de PRO-II, °F	Porcentaje de Desviación, %
5	853	881	-3,3
10	902	914	-1,3

20	954	-----	-----
30	989	991	-0,2
40	-----	-----	-----
50	-----	1048	-----
60	-----	-----	-----
70	-----	1104	-----
80	-----	-----	-----
90	-----	1189	-----
95	-----	1255	-----
98	-----	1300	-----

El porcentaje de desviación es calculado según la ecuación N° 10, Apéndice C; por lo tanto, cuando este porcentaje de desviación es positivo, la fracción del corte correspondiente a dicho porcentaje, es más liviano para la curva de destilación generada por PRO-II with PROVISION; de igual forma, cuando el mismo es negativo, la fracción del corte es más pesada según la curva generada por PRO-II, que la fracción correspondiente a la curva de destilación generada en el laboratorio. Adicionalmente en la siguiente tabla, se observa el overlap entre los cortes consecutivos de la torre de vacío y el punto de corte entre el corte lateral N° 3 y el fondo de vacío, para las destilaciones de laboratorio y las destilaciones obtenidas de la simulación con diez etapas teóricas. El overlap y el punto de corte son calculados de acuerdo a la ecuación N° 7 y 8, respectivamente, ubicadas en el Apéndice C.

Tabla N° 20: Overlap y Punto de Corte. Simulación con diez etapas teóricas.

Parámetro		Laboratorio, °F	Simulación, °F
Overlap	Cabecera - Corte Lateral N° 1	113	109
	Corte Lateral N° 1 - Corte Lateral N° 2	204	149
	Corte Lateral N° 2 - Corte Lateral N° 3	157	93

	Corte Lateral N° 3 - Fondo de Vacío	169	138
Punto de Corte	Corte Lateral N° 3 - Fondo de Vacío	937	950

Como se puede observar en la Tabla N° 15, las temperaturas correspondientes desde el 5 hasta el 30 % de porcentaje de recuperación de la cabecera, son ligeramente mayores para la destilación generada por el programa PRO-II with PROVISION que las obtenidas en la destilación de laboratorio, esto quiere decir que en la simulación de la torre el producto de cabecera posee más componentes pesados que el obtenido en la operación real de la torre. Sin embargo, para porcentajes de recuperación mayores al 30 %, los porcentajes de desviación son bastante aceptables, por lo que se presume que la zona de fraccionamiento Cabecera - Tope posee el número adecuado de etapas teóricas y la eficiencia estimada de la zona de 67 % es una buena aproximación a la eficiencia real de la misma. En la Figura N° 17 (Apéndice D) se observa que ambas curvas de destilación se solapan ligeramente.

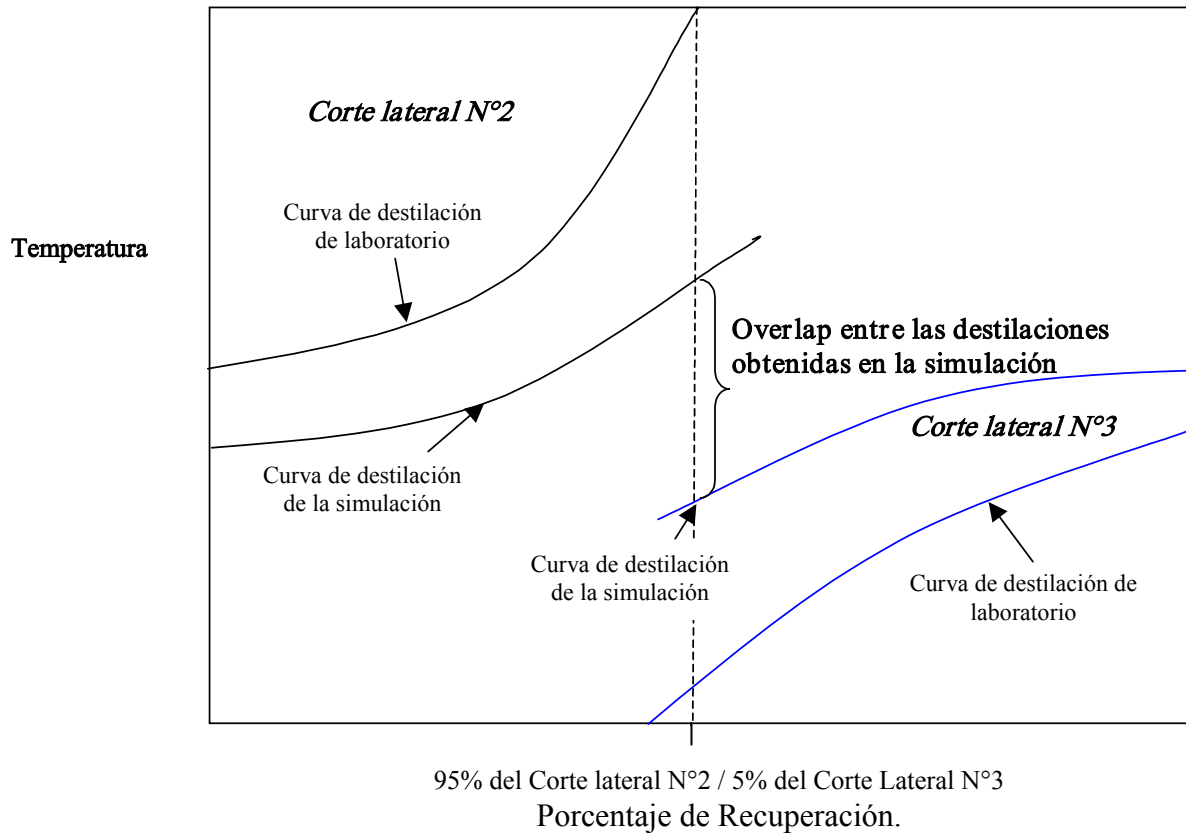
Los porcentajes de desviación entre la destilación obtenida del laboratorio y la generada por PRO-II para el corte lateral N° 1 son siempre positivos (ver Tabla N° 16), esto indica que en la simulación se está obteniendo un corte mas liviano que el que se obtiene en la operación real de la torre, pues como se puede observar en la Figura N° 18 (Apéndice D), la curva generada por el programa está totalmente hacia abajo de la obtenida en el laboratorio, esto quiere decir que la zona de fraccionamiento entre el corte lateral N° 1 y el corte lateral N° 2 no se está simulando probablemente con el número adecuado de etapas teóricas. Si el corte obtenido en la simulación es más ligero de lo que debería ser, se debe disminuir el número de etapas teóricas en la zona de fraccionamiento corte lateral N° 1 – corte lateral N° 2, pues ésta se está simulando con una eficiencia promedio mayor de la que en realidad posee esta zona. Si se observa la Tabla N° 13, los dos platos de la zona son representados por dos etapas teóricas en la simulación, lo que significa que se supone que la eficiencia de la misma es cercana al 100 %, lo cual es prácticamente imposible. Si se

disminuye el número de etapas teóricas a una sola, la eficiencia de la zona sería cercana al 50 %

El corte lateral N° 2 presenta porcentajes de desviación positivos entre la temperatura de la curva de destilación obtenida en el laboratorio y la generada por el programa a partir de un porcentaje de recuperación de 50 % (ver Tabla N° 17). Adicionalmente, el corte lateral N° 3 presenta porcentajes de desviación negativos para porcentajes de recuperación entre 5 y 30 %, lo que significa que la porción mas pesada del corte lateral N° 2 en la simulación se está obteniendo más liviana y la porción más liviana del corte lateral N° 3 se obtiene mas pesada de lo que realmente es (ver Figura N° 19 y 20, Apéndice D). Esto quiere decir que la zona de fraccionamiento entre el corte lateral N° 2 y el corte lateral N° 3 probablemente no se estén simulando con el número de etapas teóricas adecuadas, pues parte de los componentes que se deberían retirar en el corte lateral N° 3, se están retirando como corte lateral N° 2.

Realmente, para comparar las destilaciones de estos dos cortes, se compara el overlap o solapamiento obtenido en ambas, el cual se determina mediante la diferencia entre la temperatura para la cual se obtiene el 5 % del corte más pesado (corte lateral N° 2) y el 95 % del corte más liviano (corte lateral N° 3), las cuales son obtenidas de la curva de destilación TBP en peso a 760 mmHg. Cuando el overlap de dos cortes consecutivos es muy pequeño, o cercano a cero, la destilación es prácticamente perfecta, lo cual sólo sería posible con un número infinito de etapas y a reflujo total; sin embargo, para estos dos cortes en estudio, el overlap es aproximadamente de 157 °F, según las destilaciones de laboratorio; adicionalmente, el overlap obtenido en los resultados de las destilaciones de la simulación, es mucho menor (93 °F) al de las destilaciones reales, tal y como se observa en la Tabla N° 20, por lo tanto, la eficiencia en la operación de la zona de fraccionamiento corte lateral N° 2 – corte lateral N° 3 es mayor en la simulación que en la realidad; es decir, el número de etapas teóricas en la simulación es mayor al que realmente representa la

operación de la torre; por lo tanto, se debe disminuir el número de las mismas para ajustar la destilación de la simulación a la destilación real en la torre y disminuir la eficiencia de la sección (50 %). En la Figura N° 13 se muestra un diagrama genérico para el 5 % del corte mas pesado y el 95 % del corte más liviano, señalando el overlap para ambas destilaciones.



➤ **Simulación con ocho etapas teóricas**

Para esta simulación se eliminó una etapa teórica entre el corte lateral N° 2 y el corte lateral N° 3 y la etapa teórica entre el corte lateral N° 1 y el corte lateral N° 2. Estas modificaciones son justificadas en la sección anterior. En la Tabla N° 21 se

muestra la distribución de las etapas teóricas en la torre, luego de hacer el estudio para el caso de diez etapas teóricas.

Tabla N° 21: Distribución de las ocho etapas teóricas de la torre.

Sección de la torre de vacío T-100X	Número de etapas teóricas	Número de etapas reales	Eficiencia promedio estimada, %
Fraccionamiento Tope - Cabecera	2	3	67
Fraccionamiento Cabecera - Corte lateral N° 1	2	4	50
Fraccionamiento Corte lateral N° 1 - Corte lateral N° 2	1	2	50
Fraccionamiento Corte lateral N° 2 - Corte lateral N° 3	1	4	25
Zona de lavado	1	1	---
Zona de Despojamiento	1	4	25

En el Apéndice A se observa en la Figura N° 16, la distribución ocho etapas teóricas en la torre de destilación de vacío T-100X. En el simulador PRO - II with PROVISION, la numeración de las etapas se realiza comenzando desde el tope de la torre hasta el fondo, razón por la cual, la etapa número ocho corresponde a los platos de la zona de despojamiento.

La zona de fraccionamiento Tope - Cabecera está compuesta por tres platos reales, el plato N° 11, 10 y 9 (ver Figura N° 2). Esta sección se simula con dos etapas teóricas, la etapa uno y la etapa dos, tal y como se observa en la Figura N° 16 del Apéndice A, donde el producto de Cabecera es obtenido del líquido de la etapa dos y los gases del Tope son retirados de la etapa uno. En esta sección se encuentra el pumparound superior o N° 1, en el cual se retira el líquido de la etapa dos para recircularse a la etapa uno, luego de ser enfriado.

La zona de fraccionamiento Cabecera - Corte Lateral N° 1, está representada por dos etapas teóricas para los platos N° 8A, 8B, 8C y 8D, estas etapas son la etapa tres y la etapa cuatro. El corte lateral N° 1 se obtiene del líquido de la etapa cuatro, el

cual es previamente alimentado al despojador T-101; los vapores del mismo se alimentan a la etapa tres.

Con respecto al segundo pumparound, éste se representa por una etapa teórica que es la etapa cinco, correspondiente a los platos N° 7 y 8. El líquido de la etapa cinco, se retira, se enfría y es recirculado a la misma etapa. Parte de este flujo corresponde al corte lateral N° 2. La zona de fraccionamiento Corte Lateral N° 2 - Corte Lateral N° 3 se representa por una etapa teórica (etapa seis) correspondiente a los platos N° 6A, 6B, 6C y 6D. El líquido de la etapa seis se retira y se alimenta al despojador T-102 y los vapores del mismo se alimentan a la misma etapa, ya que en la simulación estos cuatro platos están representados por una sola etapa teórica. El líquido de dicho despojador corresponde al corte lateral N° 3.

La zona de lavado está representada por una etapa teórica (etapa siete). De esta etapa se retira el overflash y a la misma se alimenta el vapor proveniente del separador flash. La zona de despojamiento se representa por una etapa teórica (etapa ocho), correspondiente a los platos N° 1, 2, 3 y 4. El líquido que se retira es el fondo de vacío. A dicha etapa se alimenta el crudo reducido proveniente del horno (en la simulación, el separador flash).

- **Comparación de las Variables Operacionales**

En la Tabla N° 22 se muestra la comparación entre los rendimientos de los cortes laterales, la gravedad API de los mismos y algunas temperaturas de la torre. En la simulación, para una carga de 44,4 KBD, son especificados los flujos de retiro de la cabecera, corte lateral N° 1, corte lateral N° 2, corte lateral N° 3 y overflash. En lo que respecta al producto de tope, está compuesto principalmente por agua, proveniente de la corriente de vapor de despojamiento de la torre, de los despojadores laterales y del vapor alimentado a los pases del horno. El agua no condensa en ninguno de los platos de torre, y sólo se observan trazas de este componente en las corrientes de retiro de los productos.

Tabla N° 22: Resultados de la simulación para el crudo TJM 26.

(Carga Operacional: 44,4 KBD. Ocho etapas teóricas)

Variable	Operación	Simulación	Porcentaje de desviación, %
Flujo de retiro de Fondo de Vacío, BD	25968	25879	0,3
Gravedad API de Cabecera, °API	25,6	25,4	0,8
Gravedad API del Corte Lateral N° 1, °API	20,0	20,3	1,5
Gravedad API del Corte Lateral N° 2, °API	18,3	18,3	0,0
Gravedad API del Corte Lateral N° 3, °API	14,2	14,7	3,5
Gravedad API de Fondo de Vacío, °API	8,7	8,5	2,3
Temperatura del plato N° 8 (etapa 5), °F	575	559	2,8
Temperatura de la zona de vaporización instantánea (etapa 8), °F	754	719	4,6
Temperatura de la zona de lavado (etapa 7), °F	708	702	0,8

Como puede observarse en la Tabla N° 22, el porcentaje de desviación en el flujo de retiro del fondo de vacío es muy bajo, 0,3 %, resultando menor al reportado por la simulación de diez etapas, el cual es de 0,4 %; sin embargo, estos resultados indican que el balance de masa realizado por el simulador, se adapta al balance de masa real. Con respecto a la gravedad API, en la simulación con ocho etapas teóricas, se observa el acercamiento de esta propiedad a la reportada por el laboratorio, ya que se hicieron los ajustes necesarios en el número de etapas teóricas.

En la zona de fraccionamiento Tope - Cabecera no se realizaron modificaciones en el número de etapas teóricas, conservándose la eficiencia de la zona igual al 67 %; sin embargo, la gravedad API del corte de Cabecera se incrementó ligeramente, de 25,3 a 25,4 °API; disminuyéndose así el porcentaje de desviación de 1,2 % a 0,8 %. En la zona de fraccionamiento Cabecera - Corte Lateral N° 1 se conservaron las dos etapas; sin embargo, se observa una disminución en la gravedad API del Corte Lateral N° 1 de 20,6 a 20,3 °API, debido a que se eliminó una etapa en la zona de Corte Lateral N° 1 - Corte Lateral N° 2, disminuyéndose la eficiencia a 50 %, quedando una sola etapa en la misma. Este cambio permitió obtener un corte lateral N° 1 más pesado, acorde con la gravedad API de 20 °API

reportada por laboratorio. Adicionalmente, el cambio de dos a una etapa en la zona de fraccionamiento Corte Lateral N° 2 - Corte Lateral N° 3, permitió obtener un corte lateral N° 2 mas pesado y un corte lateral N° 3 más liviano que los obtenidos en la simulación con diez etapas, obteniéndose una eficiencia para la zona de 25 %.

Con respecto a las temperaturas, se observa un perfil mas bajo que el observado en la operación real; sin embargo, los porcentajes de desviación son aceptables si se considera que la temperatura de una etapa realmente corresponde a la de varios platos.

A pesar de que no es posible comparar la viscosidad del corte lateral N° 1 y del corte lateral N° 3, se observa en la Tabla N° 22, bajos porcentajes de desviación para la gravedad API. Adicionalmente, en la operación real de la torre, la temperatura del plato N° 8 se controla variando el flujo de retorno de pumparound con la finalidad de controlar la viscosidad del corte lateral N° 1 y en la simulación se obtiene un bajo porcentaje de desviación para esta temperatura, de 2,8 %. En lo que respecta al corte lateral N° 3, se controla el flujo de retiro del corte lateral N° 2, el cual es especificado en la simulación.

- **Comparación de las curvas de destilación**

En las siguientes tablas se muestran los resultados de las curvas de destilación generadas por el programa PRO-II with PROVISION y el porcentaje de desviación con respecto a las curvas obtenidas de laboratorio (TBP en peso a 760 mmHg).

Tabla N° 23: Curvas de destilación para el corte de Cabecera. Simulación
con ocho etapas teóricas.

Porcentaje de	Curva de	Curva de PRO-	Porcentaje de
---------------	----------	---------------	---------------

Recuperación, %	Laboratorio, °F	II, °F	Desviación, %
5	476	493	-3,6
10	521	529	-1,5
20	566	-----	-----
30	603	608	-0,8
40	630	-----	-----
50	653	654	-0,2
60	675	-----	-----
70	697	698	-0,1
80	722	-----	-----
90	755	751	0,5
95	778	773	0,6
98	-----	815	-----

Tabla N° 24: Curvas de destilación para el Corte Lateral N° 1.

Simulación con ocho etapas teóricas.

Porcentaje de Recuperación, %	Curva de Laboratorio, °F	Curva de PRO-II, °F	Porcentaje de Desviación, %
5	665	665	0,0
10	695	695	0,0
20	730	-----	-----
30	755	750	0,7
40	775	-----	-----
50	793	783	1,3
60	810	-----	-----
70	829	814	1,8
80	851	-----	-----
90	877	863	1,6
95	895	886	1,0
98	-----	929	-----

Tabla N° 25: Curvas de destilación para el Corte Lateral N° 2.

Simulación con ocho etapas teóricas.

Porcentaje de Recuperación, %	Curva de Laboratorio, °F	Curva de PRO-II, °F	Porcentaje de Desviación, %
5	691	699	-1,2
10	728	735	-1,0
20	769	-----	-----
30	795	796	-0,1
40	817	-----	-----
50	838	833	0,6
60	857	-----	-----
70	876	872	0,5
80	895	-----	-----
90	920	919	0,1
95	937	941	-0,4
98	-----	992	-----

Tabla N° 26: Curvas de destilación para el Corte Lateral N° 3.

Simulación con ocho etapas teóricas.

Porcentaje de Recuperación, %	Curva de Laboratorio, °F	Curva de PRO-II, °F	Porcentaje de Desviación, %
5	780	803	-2,9
10	817	827	-1,2
20	861	-----	-----
30	888	876	1,4
40	909	-----	-----
50	926	907	2,1
60	941	-----	-----
70	958	939	2,0
80	978	-----	-----
90	1003	992	1,1
95	1022	1016	0,6
98	-----	1076	-----

Tabla N° 27: Curvas de destilación para el Fondo de Vacío.

Simulación

con ocho etapas teóricas.

Porcentaje de	Curva de	Curva de	Porcentaje de
---------------	----------	----------	---------------

Recuperación, %	Laboratorio, °F	PRO-II, °F	Desviación, %
5	853	879	-3,0
10	902	913	-1,2
20	954	-----	-----
30	989	991	-0,2
40	-----	-----	-----
50	-----	1048	-----
60	-----	-----	-----
70	-----	1104	-----
80	-----	-----	-----
90	-----	1189	-----
95	-----	1255	-----
98	-----	1300	-----

En la Tabla N° 28 se observan el overlap entre los cortes consecutivos y el punto de corte entre el corte lateral N° 3 y el fondo de vacío para la simulación con ocho etapas teóricas.

Tabla N° 28: Overlap y Punto de Corte. Simulación con ocho etapas teóricas.

Parámetro		Laboratorio, °F	Simulación, °F
Overlap	Cabecera - Corte Lateral N° 1	113	108
	Corte Lateral N° 1 - Corte Lateral N° 2	204	187
	Corte Lateral N° 2 - Corte Lateral N° 3	157	138
	Corte Lateral N° 3 - Fondo de Vacío	169	137
Punto de Corte	Corte Lateral N° 3 - Fondo de Vacío	937	947

En las tablas anteriores se observa como el ajuste de las etapas teóricas de la torre de destilación de vacío mejora las curvas de destilación de todos los productos en general. En la Tabla N° 23 se observa la disminución de la desviación entre los porcentajes de recuperación para la cabecera, a partir del 70 % del porcentaje de recuperación. Adicionalmente, en la Tabla N° 28 se observa que el overlap entre la cabecera y el corte lateral N° 1, obtenido por las curvas de destilación de laboratorio, es muy semejante al obtenido por la simulación (113 °F y 108 °F respectivamente). En la Figura N° 22 del Apéndice D, se observan las curvas de destilación de laboratorio y de la simulación.

Con respecto al corte lateral N° 1 se logra un muy buen ajuste de las curvas de destilación (ver Figura N° 23, Apéndice D) ya que los porcentajes de desviación están entre 1,8 y 0 %. Para este corte se logró la disminución de todos los porcentajes de desviación, tal como se observa en la Tabla N° 24. Además, en las Tablas N° 20 y N° 28 se observa un aumento del overlap entre el corte lateral N° 1 y el corte lateral N° 2 de 149 °F a 187 °F, acercándose al overlap resultante de las curvas de destilación de laboratorio, el cual es de 204 °F.

Para el corte lateral N° 2, se obtiene el mejor ajuste de las curvas de destilación ya que los porcentajes de desviación se encuentran entre 0,1 y 1,2 % (ver Tabla N° 25). Adicionalmente, en la Figura N° 24, Apéndice D, se puede observar como las curvas prácticamente se solapan. En lo que se refiere al corte lateral N° 3, se obtiene una considerable disminución en el porcentaje de desviación para las temperaturas correspondientes al 5 y 10 % recuperado (de 6,2 % y 4,2 % respectivamente, a 2,9 % y 1,2 %). Sin embargo, aumentó ligeramente la desviación para el resto de los porcentajes de recuperación, pero se logró disminuir la mayor diferencia que correspondía al 5 % y 10 %. También es importante resaltar que se aumentó el overlap entre el corte lateral N° 2 y el corte lateral N° 3, de 93 °F a 138 °F para las curvas de destilación de la simulación, acercándose al valor de laboratorio de 157 °F.

Con respecto a la curva de destilación del fondo de vacío, sólo es posible comparar las temperaturas correspondientes al 5 %, 10 % y 30 %, ya que sólo se tienen datos de la destilación realizada en el laboratorio para esos porcentajes; sin embargo, la misma varió poco ya que no se realizan cambios en el número de etapas de la sección de despojamiento, pues inicialmente se presentan bajos porcentajes de desviación con las curvas generadas por el simulador PRO-II with PROVISION. El punto de corte entre el corte lateral N° 3 y el fondo de vacío igual a 947 °F, obtenido

de los resultados de la simulación, se encuentra muy cercano al obtenido por laboratorio, el cual es de 937 °F.

En las Figuras N° 22, 23, 24, 25 y 26, ubicadas en el Apéndice D, se observan ambas curvas de destilación para todos los productos de la torre de vacío T-100X, al simularla con ocho etapas teóricas. En general se logra el mejor ajuste en las mismas para el corte lateral N° 2 y la cabecera, pues en estos casos, las curvas casi se solapan; sin embargo, no fue posible ajustar con mayor precisión la curva para el corte lateral N° 1 y el corte lateral N° 3, pues el número de etapas en las secciones es igual a uno; por lo tanto, no es posible disminuir aún mas el número de etapas de determinada zona. En general, la eficiencia de las zonas son muy cercanas a las dadas en la Tabla N° 21.

En la Tabla N° 29, se reportan las especificaciones de los productos de la torre, con propósito lubricante, que pueden ser comparadas a través del simulador.

Tabla N° 29: Especificaciones de los productos obtenidos de la torre T-100X, al simularse con el crudo TJM 26. Carga Operacional.

Producto	Especificación	Operación	Simulación
Cabecera	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura correspondiente al 95 % de la destilación ASTM D-86: 680 - 690 °F 	744	736
Corte N° 1 o Lube Liviano	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura correspondiente al 5 % de la destilación ASTM D-1160 a 10 mmHg: 435 °F 	417	413
	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura correspondiente al 95 % de recuperación de la destilación TBP en peso: 880 - 890 °F 	895	887
Corte N° 3 o Lube Pesado	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura correspondiente al 95 % de recuperación de la destilación TBP en peso: 1010 - 1025 °F 	1022	1016

En la misma se observa que el corte de Cabecera está fuera de especificación, en lo que se refiere al 95 % de la destilación, ya que el obtenido en la operación real

(744 °F), está fuera del rango de 680-690 °F, éste problema se presenta en la operación real de la torre y es una situación que se observa en la torre desde el año 1993 aproximadamente y para la cual se han planteado nuevos diseños que no se han llevado a cabo debido a consideraciones económicas. De igual forma, el 5 % del corte lateral N° 1 (417 °F), resulta ser más bajo que la especificación; por lo tanto, se obtiene una Cabecera con un 95 % más alto y un corte lateral N° 1 con un 5% más bajo, lo que evidencia el deficiente fraccionamiento entre los cortes y el gran solapamiento que existe entre la destilación de los mismos. Esta misma situación, se representa en la simulación. Con respecto al corte lateral N° 3, se obtiene la especificación de la destilación, tanto en la operación real, como en la simulación.

4.1.2.2 Carga Máxima y Carga Mínima

Una vez validadas el número de etapas teóricas con la simulación a la carga operacional, se espera que la realizada a carga máxima y a carga mínima también se ajuste a las variables operacionales y a las especificaciones de los productos obtenidos en la planta; sin embargo, se realizó una tabla comparativa para ambos escenarios con la finalidad de comprobar que los incrementos o las disminuciones de carga no afectan la calidad de los productos y la operación de la torre. En la Tabla N° 30 se observa la comparación para la carga máxima y en la Tabla N° 31, la comparación para la carga mínima. En ambas simulaciones son especificados los flujos de retiro de la cabecera, corte lateral N° 1, corte lateral N° 2, corte lateral N° 3 y overflash.

Tabla N° 30: Resultados de la simulación para el crudo TJM 26.
(Carga Máxima: 50 KBD. Ocho etapas teóricas)

Variable	Operación	Simulación	Porcentaje de desviación, %
Flujo de retiro de Fondo de Vacío, BD	29217	29126	0,3
Gravedad API de Cabecera, °API	25,6	25,5	0,4
Gravedad API de Corte Lateral N° 1, °API	20,0	20,3	1,5
Gravedad API de Corte Lateral N° 2, °API	18,3	18,3	0,0
Gravedad API de Corte Lateral N° 3, °API	14,1	14,7	4,2
Gravedad API de Fondo de Vacío, °API	8,7	8,5	2,3
Temperatura del plato N° 8 (etapa 5), °F	575	563	2,1
Temperatura de la zona de vaporización instantánea (etapa 8), °F	754	721	4,4
Temperatura de la zona de lavado (etapa 7), °F	708	703	0,7

Tabla N° 31: Resultados de la simulación para el crudo TJM 26.

(Carga Mínima: 38 KBD. Ocho etapas teóricas)

Variable	Operación	Simulación	Porcentaje de desviación, %
Flujo de retiro de Fondo de Vacío, BD	22205	22134	0,3
Gravedad API de Cabecera, °API	25,6	25,5	0,4
Gravedad API de Corte Lateral 1, °API	20,0	20,3	1,5
Gravedad API de Corte Lateral N° 2, °API	18,3	18,3	0,0
Gravedad API de Corte Lateral N° 3, °API	14,1	14,6	3,5
Gravedad API de Fondo de Vacío, °API	8,7	8,5	2,3
Temperatura del plato N° 8 (etapa 5), °F	575	563	2,1
Temperatura de la zona de vaporización instantánea (etapa 8), °F	754	722	4,2
Temperatura de la zona de lavado (etapa 7), °F	708	704	0,6

En las Tablas N° 30 y 31 se observan los bajos porcentajes de desviación para los flujos de retiro de fondo de vacío, gravedad API de los productos y perfil de temperaturas de la torre a ambas cargas.

Adicionalmente, en las Tablas N° 32 y 33 se resumen los resultados más importantes de las curvas de destilación obtenidas para carga máxima y mínima, entre ellos, la temperatura correspondiente al 5 % y 95 % de recuperación de todos los productos, el overlap entre los cortes consecutivos y el punto de corte entre el corte lateral N° 3 y el fondo de vacío.

Tabla N° 32: Temperaturas correspondientes al 5 % y 95 % de recuperación.

Crudo TJM 26. Simulación con ocho etapas teóricas.

Porcentaje de recuperación Destilación TBP, peso		Temperatura, °F	
		Carga Máxima	Carga Mínima
Cabecera	5 %	492	492
	95 %	773	773
Corte Lateral N° 1	5 %	665	665
	95 %	887	886
Corte Lateral N° 2	5 %	699	698
	95 %	946	942
Corte Lateral N° 3	5 %	802	805
	95 %	1016	1017
Fondo de Vacío	5 %	878	877
	95 %	1255	1255

Tabla N° 33: Overlap y Punto de Corte para carga máxima y mínima.

Crudo TJM 26. Simulación con ocho etapas teóricas.

Parámetro		Carga Máxima, °F	Carga Mínima, °F
Overlap	Cabecera - Corte Lateral N° 1	108	108
	Corte Lateral N° 1 - Corte Lateral N° 2	188	188
	Corte Lateral N° 2 - Corte Lateral N° 3	141	137
	Corte Lateral N° 3 - Fondo de Vacío	138	140
Punto de Corte	Corte Lateral N° 3 - Fondo de Vacío	947	947

La similitud entre los resultados obtenidos a carga máxima y mínima con los presentados en la operación real, significa que la simulación reproduce satisfactoriamente la operación de la torre, a cualquier carga de fondo atmosférico.

En la Tabla N° 34 se resumen las especificaciones de los productos de la torre T-100X y los valores obtenidos en la simulación a carga máxima y mínima. Estas

especificaciones son las que se pueden comprobar a través del simulador, el resto sólo se pueden verificar a través de pruebas de laboratorio.

Tabla N° 34: Especificaciones de los productos obtenidos de la torre T-100X, al simularse con el crudo TJM 26.

Producto	Especificación	Operación	Carga Máxima	Carga Mínima
Cabecera	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura correspondiente al 95 % de la destilación ASTM D-86: 680 - 690 °F 	744	736	737
Corte N° 1 o Lube Liviano	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura correspondiente al 5 % de la destilación ASTM D-1160 a 10 mmHg: 435 °F 	417	413	413
	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura correspondiente al 95 % de recuperación de la destilación TBP en peso: 880 - 890 °F 	895	886	886
Corte N° 3 o Lube Pesado	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura correspondiente al 95 % de recuperación de la destilación TBP en peso: 1010 - 1025 °F 	1022	1016	1017

En la Tabla N° 34 se observa que el producto de cabecera se obtiene fuera de especificación, tanto en la operación real de la torre como en la simulación a carga máxima y mínima. El alto 95 % de la destilación ASTM D-86, ocasiona la degradación del producto de cabecera, de Diesel a VGO, el cual posee menor incentivo económico. Con respecto al Lube Liviano, el 5 % de la destilación ASTM D-1160 que se obtiene en la torre es bajo, lo que evidencia los problemas de fraccionamiento en la zona, pues las dos etapas teóricas son insuficientes para lograr la separación deseada. Para el corte lateral N° 1 y el corte lateral N° 3, se logran las especificaciones del 95 %, en la operación real y en la simulación.

4.2 CASO N° 2: Crudo de Propósitos Generales

La simulación de la torre T-100X, a la carga operacional y al procesarse el crudo Tía Juana Mediano 26, se realiza alimentando a la unidad una mezcla de diversas corrientes que son caracterizadas como los productos de la torre, ya que se tiene a la disposición las curvas de destilación recientes de los mismos. Este procedimiento permite comparar las curvas de destilación de los productos alimentados a la unidad, con las obtenidas de los mismos en la torre simulada y así ajustar el número de etapas teóricas de la torre, para lograr el fraccionamiento deseado. Partiendo de esta premisa, se supone que es posible simular la torre con cualquier crudo o alimentación y obtener resultados que se acercan a la realidad operacional de la torre; sin embargo, se deben comparar las variables operacionales como temperaturas, presiones, flujos y calidades de los productos para comprobar esta idea. Por este motivo, se simula la torre con una alimentación caracterizada como fondo atmosférico, además de que no se tienen curvas de destilación de los productos obtenidos al procesarse este crudo.

4.2.1 Consideraciones importantes en la simulación

El Crudo de Propósitos Generales, como ya se explicó con anterioridad, es un crudo del cual se obtienen cortes con propósitos combustibles, ya que algunas características como la viscosidad de los cortes - la cual es la propiedad más importante en los cortes con propósitos lubricantes - no es posible obtenerlas dentro de los rangos establecidos. Como puede observarse en la Tabla N° 2, la viscosidad cinemática de los crudos CPG y LRM a 100 °F y 122 °F, es muy diferente a la del crudo TJM 26, además de ser ambos ligeramente más pesados.

La especificación que en este caso se va a evaluar es el 95 % del corte lateral N° 3 y el contenido de vanadio de los cortes, ya que se debe controlar el

contenido de metales de los productos para evitar la contaminación de los catalizadores en procesos posteriores, como el craqueo catalítico o la hidrodeshulfurización.

El criterio establecido para validar la simulación fue obtener un porcentaje de desviación no mayor del 10 % para las temperaturas y flujos, mientras que las presiones se fijaron en un valor exacto por especificación en la simulación. Con respecto al 95 % de los productos de la torre de vacío, se estableció un rango de temperaturas dentro del cual debe obtenerse el valor reportado en la simulación.

4.2.2 Simulación de la Torre de Vacío T-100X de PVAY-2

En la Tabla N° 35 se presentan los resultados de la simulación de la torre T-100X al procesarse el crudo CPG a la carga operacional de 46,3 KBD. En dicha simulación, se especificaron los flujos de retiro de los productos como cabecera, corte lateral N° 1, corte lateral N° 2, corte lateral N° 3 y overflash; por lo tanto, el flujo de retiro del fondo de vacío se obtiene mediante un balance de masa, resultando un porcentaje de desviación de 0,2 % con respecto a la operación real, lo que significa que el simulador reproduce satisfactoriamente los flujos de retiro de producto. En las Tablas N° 36 y 37 se presentan los resultados para carga máxima y mínima, en donde también se observa el bajo porcentaje de desviación para el flujo de retiro de fondo de vacío (0,8 y 1 %, respectivamente).

Tabla N° 35: Resultados de la simulación para el crudo CPG.

Carga Operacional: 46,3 KBD.

Variable	Operación	Simulación	Porcentaje de desviación, %
Flujo de retiro de Fondo de Vacío, BD	25155	25109	0,2
Temperatura del plato 8 (etapa 5), °F	588	555	5,6
Temperatura de la zona de vaporización instantánea (etapa 8), °F	760	744	2,1
Temperatura de la zona de lavado (etapa 7), °F	705	704	0,1

Con respecto a la especificación de los flujos de retiro de los productos, se hacen ligeras variaciones en la simulación a carga máxima y mínima. Al procesar 50 KBD de fondo atmosférico de CPG en la torre T-100X, se observa que no es posible obtener 6030 BD del corte lateral N° 1 (ver Tabla N° 36). Al especificar un flujo de retiro de corte lateral N° 1 de 6030 BD, la etapa de retiro del mismo se seca (etapa cuatro), razón por la cual la simulación no converge, esto se evidencia al observar en el reporte de la torre, dado por el simulador, los flujos de líquido y vapor en cada una de las etapas, observándose un flujo de líquido igual a cero para la etapa cuatro. Para lograr la convergencia de la misma, se especifica el flujo de líquido en el plato y se iguala a 1 BD. De esta manera, en la simulación se retira todo el flujo posible de corte lateral N° 1 de la etapa cuatro, y así es posible obtener 5700 BD de corte lateral N° 1, con un porcentaje de desviación de 5,5 % con respecto al flujo de operación, el cual se considera aceptable.

Tabla N° 36: Resultados de la simulación para el crudo CPG.

Carga Máxima: 50 KBD.

Variable	Operación	Simulación	Porcentaje de desviación, %
Flujo de retiro del Corte Lateral N° 1, BD	6030	5700	5,5
Flujo de retiro de Overflash, BD	2854	2923	2,4
Flujo de retiro de Fondo de Vacío, BD	26604	26816	0,8
Temperatura del plato 8 (etapa 5), °F	588	557	5,3
Temperatura de la zona de vaporización instantánea (etapa 8), °F	760	744	2,1
Temperatura de la zona de lavado (etapa 7), °F	705	706	0,1

Adicionalmente, en la simulación a carga mínima (Tabla N° 37), se especifica el flujo de líquido en la etapa seis, la cual corresponde a la de retiro del corte lateral

Nº 3 y el flujo de líquido de la etapa siete, que corresponde a la etapa de retiro del overflash, este se iguala a 1 BD, lo que significaría en la simulación que estos platos son prácticamente de retiro total. En ambos casos se realiza este cambio en la especificación porque de lo contrario, los platos se secan y la simulación no converge. Para ambos productos se obtienen flujos de retiro menores a los correspondientes a la operación real; sin embargo, los porcentajes de desviación son aceptables, de 8,7 % para el corte lateral Nº 3 y de 1,4 % para el overflash.

Tabla Nº 37: Resultados de la simulación para el crudo CPG.

Carga Mínima: 38 KBD.

Variable	Operación	Simulación	Porcentaje de desviación, %
Flujo de retiro del Corte Lateral Nº 3, BD	2959	2700	8,7
Flujo de retiro de Overflash, BD	2169	2139	1,1
Flujo de retiro de Fondo de Vacío, BD	20628	20417	1,0
Temperatura del plato 8 (etapa 5), °F	588	560	4,7
Temperatura de la zona de vaporización instantánea (etapa 8), °F	760	745	2,0
Temperatura de la zona de lavado (etapa 7), °F	705	707	0,3

Los porcentajes de desviación de la temperatura de la etapa cinco, la de la zona de vaporización instantánea y la de la zona de lavado son semejantes para todas las cargas. La temperatura de tope está especificada y la que presenta el mayor porcentaje de desviación es la de la etapa cinco con valores de 5,6 %, 5,3 % y 4,7 % para carga operacional, máxima y mínima; sin embargo, se encuentra dentro del límite establecido como máximo.

En las Tablas Nº 38 y 39 se resumen los resultados más importantes de las curvas de destilación obtenidas para carga máxima, operacional y mínima, entre ellos, la temperatura correspondiente al 5 % y 95 % de recuperación de todos los productos, el overlap entre los cortes consecutivos y el punto de corte entre el corte lateral Nº 3 y el fondo de vacío.

En la Tabla N° 38 se observa que las temperaturas correspondientes al 5 y 95 % de recuperación, de la destilación TBP en peso a 760 mmHg, son muy semejantes para todas las cargas, con respecto a cada uno de los cortes, lo mismo se observa en la Tabla N° 39, presentándose altos valores de overlap, lo que evidencia el pobre fraccionamiento entre los cortes.

En la Tabla N° 38 se observa que el rango de destilación para el producto de cabecera se encuentra aproximadamente entre 479 °F y 778 °F, para el corte lateral N° 1, el rango es 670 °F - 880 °F, para el corte lateral N° 2, 700 °F - 940 °F y para el corte lateral N° 3 es 790 °F - 1035 °F. Todos estos productos son enviados a la unidad de desintegración catalítica como gasóleos de vacío.

Tabla N° 38: Temperaturas correspondientes al 5 % y 95 % de recuperación.

Crudo CPG.

Porcentaje de recuperación Destilación TBP, peso		Temperatura, °F		
		Carga Máxima	Carga Operacional	Carga Mínima
Cabecera	5 %	479	476	479
	95 %	778	773	779
Corte Lateral N° 1	5 %	674	669	675
	95 %	880	874	882
Corte Lateral N° 2	5 %	700	698	703
	95 %	942	938	946
Corte Lateral N° 3	5 %	793	790	803
	95 %	1037	1033	1040
Fondo de Vacío	5 %	936	933	935
	95 %	1475	1474	1475

Tabla N° 39: Overlap y Punto de Corte. Crudo CPG.

Parámetro		Carga Máxima, °F	Carga Operacional, °F	Carga Mínima, °F
Overlap	Cabecera - Corte Lateral N° 1	104	104	104
	Corte Lateral N° 1 - Corte Lateral N° 2	180	176	179
	Corte Lateral N° 2 - Corte Lateral N° 3	149	148	143
	Corte Lateral N° 3 - Fondo de Vacío	101	100	105
Punto de Corte	Corte Lateral N° 3 - Fondo de Vacío	986	983	987

En la Tabla N° 40 se reportan las especificaciones correspondientes al contenido de vanadio de los cortes y al 95 % de la destilación TBP en peso del corte lateral N° 3. El contenido de vanadio del corte lateral N° 1, del corte lateral N° 2 y del corte lateral N° 3, se encuentra dentro del rango establecido para todas las cargas manejadas, así como el 95 % del corte lateral N° 3.

Tabla N° 40: Especificaciones de los productos obtenidos de la torre T-100X, al simularse con el crudo CPG.

Producto	Especificación	Carga Máxima	Carga Operacional	Carga Mínima
Corte N° 1	• Máximo contenido de vanadio: 1 ppm	0,93	0,89	0,94
Corte N° 2	• Máximo contenido de vanadio: 1,5 ppm	1,4	1,4	1,5
Corte N° 3 o HVGO	• Temperatura correspondiente al 95 % de recuperación de la destilación TBP en peso: 1020 - 1040 °F	1037	1033	1040
	• Máximo contenido de vanadio: 6 ppm	5,4	5,0	5,8

4.3 CASO N° 3: Crudo La Rosa Mediano

Al igual que en la simulación de la torre de vacío T-100X al procesarse el crudo CPG, el número de etapas teóricas se conserva igual a las determinadas en la validación con el crudo Tía Juana Medio 26.

Los porcentajes de desviación máximos, establecidos para esta simulación son de 10 % para los flujos de retiro de los productos de la torre de destilación atmosférica y 10 % para el 5 % y 95 % de recuperación en las destilaciones de dichos productos. En lo que respecta a la torre de destilación de vacío, se establece un porcentaje de desviación no mayor al 10 % para los flujos y temperaturas de la torre y las presiones se fijaron por especificación en la misma. Con respecto al 95 % de la destilación TBP en peso de los productos, se establece un rango de temperaturas dentro del cual debe obtenerse el valor reportado en la simulación. En lo que respecta al contenido de metales, no se toma en cuenta para la simulación, pues el crudo LRM es un crudo con bajo contenido de metales.

4.3.1 Consideraciones importantes en la simulación

La simulación de la torre T-100X al alimentarse el crudo LRM, se diferencia de las demás porque fue necesario realizar la misma en conjunto con la simulación de la torre de destilación atmosférica, pues sólo se disponía de la curva de destilación del crudo.

En la planta de destilación atmosférica, el crudo es precalentado en un tren de precalentamiento, donde intercambia calor con distintas corrientes de la torre. La alimentación es calentada hasta 650 °F aproximadamente en el horno F-1 para ser introducida en la torre, en la cual se alimenta una corriente de vapor de despojamiento por el fondo de la misma. Esta posee a su vez, tres despojadores laterales para los cortes laterales como kerosén, aceite de calefacción o heating oil y diesel marino. La

corriente de tope es enviada al condensador D-2X en donde se condensa el vapor de agua y del cual se retira la nafta por el fondo del mismo y los gases incondensables por el tope. Del fondo de la torre se obtiene el fondo atmosférico, que es enviado a la torre de destilación al vacío. En el Anexo C, Figura N° 31, se observa un diagrama descriptivo de la torre atmosférica.

Para los resultados obtenidos de la torre de destilación atmosférica, no se establecen porcentajes de desviación muy altos ya que no se valida el número de etapas teóricas de la torre, pues no es objetivo de este trabajo; por lo tanto, se toma el número de etapas que se determinó en una evaluación anterior realizada en el año 1999. La distribución de las etapas teóricas se observa en la Figura N° 32 del Anexo C. [Infante H. y Marling Guedez, 2000]

Del crudo LRM se obtienen en la destilación al vacío, cortes con propósito combustibles; por lo tanto, se verifica en la calidad de los productos, la temperatura correspondiente al 95 % de recuperación de la destilación TBP en peso del corte lateral N° 3.

4.3.2 Simulación de la Torre de Vacío T-100X de PVAY-2

En la Tabla N° 41 se presentan los resultados de la simulación al procesarse el crudo LRM a la carga operacional de 40,9 KBD para la torre de vacío y a una carga de 70 KBD en la torre atmosférica. En la Tabla N° 42 se presentan los resultados de la simulación de la torre atmosférica y de vacío a la carga máxima de 125 KBD y 50 KBD respectivamente, y en la Tabla N° 43, los correspondientes a la simulación de la torre atmosférica y de vacío a la carga mínima de 65 KBD y 38 KBD respectivamente.

En la primera sección de las tablas, se reportan los resultados de la torre atmosférica; se considera el flujo de retiro de productos, en los cuales se alcanza un buen ajuste, pues los porcentajes de desviación son lo suficientemente bajos (3,4 % para la nafta, 5,6 % para el Kerosén y 2,8 % para el fondo atmosférico). Los flujos de retiro de heating oil y diesel se especifican en la simulación, así como la temperatura correspondiente al 95 % de la destilación D-86 de la Nafta, igual a 340 °F.

Debido a que no se hacen ajustes en el número de etapas teóricas de la torre atmosférica, se considera sólo el 5 y 95 % de las destilaciones de los productos, obteniéndose en algunos casos, altos porcentajes de desviación, pero por debajo del 10 % límite. Para el kerosén, se obtiene 8,9 % de desviación para la temperatura correspondiente al 5 % de recuperación de la destilación D-86 y para el diesel, un 8 % de desviación de la destilación generada por el simulador, con respecto al 95 % de recuperación de la destilación D-1160 realizada en laboratorio.

En la torre de destilación al vacío se logra un excelente ajuste para el flujo de retiro de los productos, obteniéndose un 0 % de desviación para el retiro del corte lateral N° 1 y 0,5 % para el retiro del fondo de vacío. Con respecto a las temperaturas, los porcentajes de desviación son un poco altos; sin embargo, son menores al 10 % establecido como límite. En la torre de vacío se especifican los flujos de retiro de cabecera, corte lateral N° 2, corte lateral N° 3 y overflash, así como la temperatura del tope de la torre, igual a 150 °F.

En las Tablas N° 42 y 43 se presentan los resultados de la simulación a carga máxima y a carga mínima, obteniéndose porcentajes de desviación en el mismo orden que la simulación a carga operacional para todas las variables. En la simulación a carga máxima y mínima, se conservan las mismas especificaciones planteadas en la simulación a carga operacional.

Tabla N° 41: Resultados de la simulación para el crudo LRM.

Carga Operacional: 70 KBD y 40,9 KBD.

Variable	Operación	Simulación	Porcentaje de desviación, %
Columna de Destilación Atmosférica			
Flujo de retiro de Nafta, BD	8130	8407	3,4
Flujo de retiro de Kerosén, BD	5174	5463	5,6
Flujo de retiro de Fondo de Atmosférico, BD	40952	39816	2,8
5% de la destilación D-86 de Kerosén, °F	359	327	8,9
95% de la destilación D-86 de Kerosén, °F	479	453	5,4
5% de la destilación D-86 de Heating Oil, °F	485	452	6,8
95% de la destilación D-86 de Heating Oil, °F	663	675	1,8
95% de la destilación D-1160 de Diesel °F	538	581	8,0
Columna de Destilación de Vacío			
Flujo de retiro de Corte Lateral N° 1, BD	4293	4293	0,0
Flujo de retiro de Fondo de Vacío, BD	21554	21434	0,5
Temperatura del plato 8 (etapa 5), °F	579	547	5,5
Temperatura de la zona de vaporización instantánea (etapa 8), °F	753	711	5,5
Temperatura de la zona de lavado (etapa 7), °F	708	698	1,4

Tabla N° 42: Resultados de la simulación para el crudo LRM.

Carga Máxima: 125 KBD y 50 KBD.

Variable	Operación	Simulación	Porcentaje de desviación, %
<i>Columna de Destilación Atmosférica</i>			
Flujo de retiro de Nafta, BD	14516	14731	1,5
Flujo de retiro de Kerosén, BD	9238	9677	4,7
Flujo de retiro de Fondo de Atmosférico, BD	73118	71401	2,3
5% de la destilación D-86 de Kerosén, °F	359	331	7,8
95% de la destilación D-86 de Kerosén, °F	479	452	5,6
5% de la destilación D-86 de Heating Oil, °F	485	445	8,2
95% de la destilación D-86 de Heating Oil, °F	663	670	1,0
95% de la destilación D-1160 de Diesel °F	538	572	6,3
<i>Columna de Destilación de Vacío</i>			
Flujo de retiro de Corte Lateral N° 1, BD	5245	5243	0,0
Flujo de retiro de Fondo de Vacío, BD	26334	26206	0,5
Temperatura del plato 8 (etapa 5), °F	579	554	4,3
Temperatura de la zona de vaporización instantánea (etapa 8), °F	753	715	5,0
Temperatura de la zona de lavado (etapa 7), °F	708	701	0,9

Tabla N° 43: Resultados de la simulación para el crudo LRM.

Carga Mínima: 65 KBD y 38 KBD.

Variable	Operación	Simulación	Porcentaje de desviación, %
Columna de Destilación Atmosférica			
Flujo de retiro de Nafta, BD	7548	7825	3,7
Flujo de retiro de Kerosén, BD	4804	5078	5,7
Flujo de retiro de Fondo de Atmosférico, BD	38021	36946	2,8
5% de la destilación D-86 de Kerosén, °F	359.7	328	8,6
95% de la destilación D-86 de Kerosén, °F	479.8	453	5,4
5% de la destilación D-86 de Heating Oil, °F	485.7	453	6,6
95% de la destilación D-86 de Heating Oil, °F	663.4	675	1,8
95% de la destilación D-1160 de Diesel °F	538	582	8,2
Columna de Destilación de Vacío			
Flujo de retiro de Corte Lateral N° 1, BD	3986	3985	0,0
Flujo de retiro de Fondo de Vacío, BD	20013	19914	0,5
Temperatura del plato 8 (etapa 5), °F	579	554	4,3
Temperatura de la zona de vaporización instantánea (etapa 8), °F	753	716	4,9
Temperatura de la zona de lavado (etapa 7), °F	708	701	0,9

En las Tablas N° 44 y 45 se resumen los resultados más importantes de las curvas de destilación obtenidas para carga máxima, operacional y mínima; entre ellos, la temperatura correspondiente al 5 % y 95 % de recuperación de todos los productos, el overlap entre los cortes consecutivos y el punto de corte entre el corte lateral N° 3 y el fondo de vacío. En la Tabla N° 44 se observan los rangos de los gasóleos, que son enviados a la unidad de desintegración catalítica y que el 95 % del corte lateral N° 3 se encuentra dentro del rango de 1020 °F - 1040 °F, establecido en la Tabla N° 6.

Tabla N° 44: Temperaturas correspondientes al 5 % y 95 % de recuperación.
Crudo LRM.

Porcentaje de recuperación Destilación TBP, peso		Temperatura, °F		
		Carga Máxima	Carga Operacional	Carga Mínima
Cabecera	5 %	472	473	470
	95 %	764	763	764
Corte Lateral N° 1	5 %	657	657	657
	95 %	877	876	877
Corte Lateral N° 2	5 %	687	689	688
	95 %	933	933	934
Corte Lateral N° 3	5 %	785	787	786
	95 %	1026	1028	1027
Fondo de Vacío	5 %	926	930	926
	95 %	1442	1449	1449

Tabla N° 45: Overlap y Punto de Corte. Crudo LRM.

Parámetro		Carga Máxima, °F	Carga Operacional, °F	Carga Mínima, °F
Overlap	Cabecera - Corte Lateral N° 1	107	106	107
	Corte Lateral N° 1 - Corte Lateral N° 2	190	187	189
	Corte Lateral N° 2 - Corte Lateral N° 3	148	146	148
	Corte Lateral N° 3 - Fondo de Vacío	100	98	101
Punto de Corte	Corte Lateral N° 3 - Fondo de Vacío	976	979	976

4.4 Evaluación Hidráulica

A continuación se presenta la evaluación hidráulica realizada en todas las secciones de la torre, a carga máxima, de operación y mínima. Los datos para realizar las evaluaciones en el programa Toolkit, son tomados del Apéndice E, en donde se encuentran las tablas con la información correspondiente a los flujos de líquido y vapor de los platos evaluados, para cada crudo y carga. Estos datos se obtienen del reporte dado por el simulador PRO-II with PROVISION.

4.4.1 Zona de despojamiento

En la Tabla N° 46 se observan los resultados de la evaluación hidráulica de la zona de despojamiento, para todas las cargas estudiadas. En éste análisis se evalúan los platos N° 1 y N° 4 ya que son los límites de dicha zona.

➤ Crudo TJM 26

En la zona de despojamiento, el flujo de vapor aumenta a medida que se aumenta el número del plato; es decir, a medida que se asciende en los platos de la zona; el vapor aumenta de 9500 lb/h, correspondiente al flujo de vapor de despojamiento, hasta 83792 lb/h, el cual es el flujo de vapor que sale del plato N° 4. De igual forma, el flujo de líquido aumenta del plato N° 1 al plato N° 4, de 381583 lb/h a 437271 lb/h, para la carga operacional (ver Tabla N° 111, Apéndice E).

En términos generales, las variables hidráulicas para el plato N° 1 se encuentran dentro de los rangos establecidos para la carga máxima, de operación y mínima; sin embargo, la caída de presión sobrepasa los 0,15 psi máximos permitidos para todas las cargas.

Para el plato N° 4, el cual posee los valores mas altos de flujo de líquido y vapor, la caída de presión es muy alta con respecto al plato N° 1 (0,43 psi vs. 0,26 psi

respectivamente) a carga máxima. Igualmente, a carga mínima, la caída de presión también se considera alta (0,27 psi). Estas altas caídas de presión se deben a una velocidad lineal del vapor demasiado alta, a través de los orificios del plato o del área libre de la torre. Las altas caídas de presión ocasionan el llenado excesivo del bajante, el cual sobrepasa el 50 % máximo establecido para la carga operacional y máxima, alcanzándose valores de 57 % y 61 % respectivamente.

El elevado flujo de vapor ocasiona arrastre en el plato N° 4 a carga operacional y máxima. El acarreo de las gotas de líquido del plato inferior al plato superior es causado por la excesiva velocidad de vapor a través de los orificios del plato, para una carga de líquido relativamente baja. Esto es debido a una carga de vapor alta o a un bajo porcentaje de área abierta en el plato. El arrastre ocasiona una considerable disminución de la eficiencia del plato, ya que se mezcla el líquido de un plato inferior con el líquido del plato superior.

Debido a los altos porcentajes de arrastre, el plato N° 4 sufre de inundación por arrastre. Adicionalmente, el llenado excesivo del bajante, causa un aumento de líquido en el bajante y la inundación del plato, esto puede ocurrir a cualquier flujo de líquido si el espacio libre del bajante, el área del bajante o el espacio entre los platos es inadecuado.

Como puede observarse, se debe revisar en el nuevo diseño la capacidad de estos platos, la cual parece ser insuficiente para los flujos de líquido y vapor manejados en la zona. Para lograr este objetivo, se deben revisar la fracción de área abierta de los platos, el espacio libre del bajante, el área del mismo y el espaciamiento entre los platos. Igualmente, el diámetro de la zona debe chequearse pues este debe ser lo suficientemente grande como para evitar el arrastre y la inundación.

➤ **Crudo CPG**

El plato N° 1 presenta una operación satisfactoria, a excepción de una caída de presión alta a carga máxima y de operación. En el plato N° 4, se observa una alta caída de presión, de 0,31, 0,27 y 0,2 psi para la carga máxima, de operación y mínima, respectivamente; sin embargo, a diferencia de la evaluación hidráulica realizada para esta zona al procesarse el crudo TJM 26, no se supera el 50 % límite de llenado en el bajante ni se produce la inundación del plato N° 4 a las cargas máxima y de operación. En éste caso, sólo se supera el 20 % de arrastre en el plato N° 4 y a la carga máxima, llegándose al 38 % de arrastre.

➤ **Crudo LRM**

En términos generales, las variables hidráulicas para el plato N° 1 se encuentran dentro de los rangos establecidos; sin embargo, la caída de presión es un poco alta a las tres cargas (0,26, 0,24 y 0,17 psi), posiblemente debido a una alta carga de líquido, ya que el porcentaje de llenado en el bajante es alto (44 %, 40 % y 32 % para carga máxima, de operación y mínima respectivamente); sin embargo, no se supera el valor límite establecido de 50%.

El flujo de vapor en el plato N° 4 es muy alto, lo que ocasiona el arrastre de gotas de líquido de un plato hacia el plato superior. Adicionalmente, debido a las altas velocidades del vapor, se produce una alta caída de presión (0,45 psi y 0,4 psi a carga máxima y de operación), lo que a su vez provoca el llenado excesivo del bajante a estas cargas (63 % y 57 %). Las condiciones de llenado excesivo del bajante y arrastre en el plato N° 4, provocan la inundación del mismo a la carga máxima, alcanzándose un 95 % de inundación.

Tabla N° 46: Resultados de la evaluación hidráulica realizada en la zona de despojamiento.
Una etapa teórica.

PARÁMETRO	Máximo	CRUDO TJM 26						CRUDO CPG						CRUDO LRM					
		PLATO N° 1			PLATO N° 4			PLATO N° 1			PLATO N° 4			PLATO N° 1			PLATO N° 4		
		Max	Op	Min	Max	Op	Min	Max	Op	Min	Max	Op	Min	Max	Op	Min	Max	Op	Min
Caída de presión total del plato, psi	0,15 psi máx	0,26	0,25	0,18	0,43	0,41	0,27	0,21	0,19	0,15	0,31	0,27	0,20	0,26	0,24	0,17	0,45	0,40	0,22
Llenado del bajante, %	50 %	45	42	33	61	57	41	38	35	29	46	42	33	44	40	32	63	57	35
Velocidad de entrada al bajante, pie/s	0,579 máx	0,153	0,136	0,116	0,176	0,158	0,134	0,138	0,130	0,105	0,154	0,145	0,117	0,140	0,115	0,106	0,166	0,139	0,102
Velocidad de salida del bajante, pie/s	0,6 máx	0,153	0,136	0,116	0,176	0,158	0,134	0,138	0,130	0,105	0,154	0,145	0,117	0,140	0,115	0,106	0,166	0,139	0,102
Ahogamiento a la entrada del bajante	1 máx	0,232	0,224	0,191	0,306	0,295	0,248	0,212	0,201	0,175	0,269	0,255	0,219	0,229	0,216	0,189	0,307	0,288	0,224
Sello del bajante, pulg	-0,25 min	3,62	3,00	2,65	1,82	1,42	1,11	3,16	2,93	2,36	1,49	1,33	0,95	3,14	2,35	2,36	1,54	0,99	1,43
Inundación, %	90 %	48	45	33	94	87	64	47	38	29	76	69	52	48	44	33	95	86	54
Capacidad Máxima, %	90 %	31	31	23	60	58	45	27	25	20	48	45	36	32	31	24	63	60	41
Goteo, %	20 %	1	1	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	5
Arrastre, %	20 %	2	2	0	206	154	11	1	0	0	38	17	2	2	2	0	226	142	4

4.4.2 Zona de fraccionamiento Corte Lateral N° 3 - Corte Lateral N° 2

En la Tabla N° 44 se observan las variables hidráulicas para los platos límites en la zona de fraccionamiento Corte Lateral N° 3 - Corte Lateral N° 2, evaluándose el plato N° 6A, del cual se retira el corte lateral N° 3 y el plato 6D, del cual se retira el corte lateral N° 2.

➤ Crudo TJM 26

Del plato N° 6A al plato N° 6D disminuye la carga de líquido y vapor; sin embargo, el gradiente de los flujos no es muy alto, razón por la cual se observa que las variables hidráulicas se mantienen en valores muy semejantes para ambos platos.

En estos platos se observa que existe una caída de presión muy alta, la cual es más notable para el plato 6D con bajante externo (0,7 psi, 0,5 psi y 0,2 psi a carga máxima, de operación y mínima), manteniéndose en buen rango para el plato 6A de bajante central, a pesar de que para carga máxima y operacional es un poco alta.

El problema hidráulico de importancia presentado en estos platos es el ahogamiento a la entrada del bajante, provocado por altos flujos de líquido, lo que genera que el vapor sea arrastrado con el líquido hacia el plato inferior, esta situación no se presenta en el plato N° 6A a carga mínima.

La segregación insuficiente en los bajantes es lo que provoca la excesiva caída de presión en los platos y el excesivo llenado del bajante. El llenado de los bajantes se encuentra en 76, 58 y 33 % aproximadamente para ambos platos y para carga máxima, de operación y mínima. Para este excesivo flujo de líquido, el ancho del bajante de 6 pulg parece resultar insuficiente, pues aparentemente el área de los bajantes es muy baja. Con respecto al bajante central, el área del mismo es menor que $0,068 \times \text{Área transversal de la torre}$.

Las altas cargas de líquido también provocan goteo, específicamente en el plato N° 6D, el cual posee la menor carga de líquido y vapor. Este problema hidráulico se observa a la carga mínima, pues aparentemente el flujo de vapor es muy bajo para la carga de líquido correspondiente.

➤ **Crudo CPG**

La segregación insuficiente de líquido en los bajantes provoca una elevada caída de presión, específicamente en el plato N° 6D a la carga máxima, de operación y mínima, de 0,40, 0,33 y 0,22 psi. Esto ocasiona el ahogamiento a la entrada del bajante. Al igual que para el crudo TJM 26, el ancho del bajante de 6 pulg puede resultar muy pequeño, pues el área del bajante no permite desalojar las altas cargas de líquido manejadas en estos platos. En el plato N° 6A solo se presenta alta caída de presión a carga máxima.

➤ **Crudo LRM**

En estos platos se observa una notable caída de presión para el bajante externo, manteniéndose en buen rango para el bajante central, a pesar de presentar 0,19 psi de caída de presión a carga máxima. Esto se debe a una segregación insuficiente de líquido en los bajantes, pues aparentemente al ancho del bajante resulta insuficiente para desalojar toda la carga de líquido manejada en los platos.

La alta caída de presión presentada a carga máxima y en ambos platos provoca a su vez el llenado excesivo del bajante (71 % para el plato N° 6A y 67 % para el plato N° 6D). Adicionalmente, se produce el ahogamiento a la entrada del bajante central a carga máxima y a todas las cargas para el plato N° 6D.

Tabla N° 47: Resultados de la evaluación hidráulica realizada en la zona de fraccionamiento Corte Lateral N° 3 - Corte Lateral N° 2.

PARÁMETRO	Máximo	CRUDO TJM 26						CRUDO CPG						CRUDO LRM					
		PLATO N° 6A			PLATO N° 6D			PLATO N° 6A			PLATO N° 6D			PLATO N° 6A			PLATO N° 6D		
		Max	Op	Min	Max	Op	Min	Max	Op	Min	Max	Op	Min	Max	Op	Min	Max	Op	Min
Caída de presión total del plato, psi	0,15 psi máx	0,22	0,19	0,14	0,70	0,50	0,20	0,16	0,14	0,10	0,40	0,33	0,22	0,19	0,15	0,12	0,59	0,36	0,25
Llenado del bajante, %	50 %	75	57	35	76	58	32	42	36	26	47	40	28	70	46	34	67	43	32
Velocidad de entrada al bajante, pie/s	0,579 máx	0,141	0,129	0,107	0,361	0,328	0,483	0,107	0,102	0,079	0,295	0,280	0,220	0,155	0,133	0,118	0,373	0,316	0,274
Velocidad de salida del bajante, pie/s	0,6 máx	0,141	0,129	0,107	0,361	0,328	0,483	0,107	0,102	0,079	0,295	0,280	0,220	0,155	0,133	0,118	0,373	0,316	0,274
Ahogamiento a la entrada del bajante	1 máx	1,095	1,024	0,870	6,529	4,762	1,866	0,913	0,864	0,671	3,669	2,961	1,872	1,111	0,981	0,871	5,558	3,232	2,154
Sello del bajante, pulg	-0,25 min	17,11	11,57	5,63	0,29	0,20	1,75	6,67	5,38	3,56	0,10	0,07	-0,10	15,03	8,25	5,14	0,37	0,21	0,17
Inundación, %	90 %	69	63	51	69	62	34	57	53	42	58	53	43	66	56	48	64	54	46
Capacidad Máxima, %	90 %	60	55	46	60	55	28	60	47	39	51	48	39	57	49	43	56	48	42
Goteo, %	20 %	18	15	12	18	15	43	12	11	16	13	12	14	17	14	12	17	13	12
Arrastre, %	20 %	17	8	1	19	8	0	3	1	0	4	2	0	8	2	0	7	2	0

4.4.3 Zona de fraccionamiento Corte Lateral N° 2 - Corte Lateral N° 1

La zona de fraccionamiento Corte lateral N° 2 - Corte Lateral N° 1, está formada por platos tipo jet de dos pasos, los cuales son usados en servicios de transferencia de calor.

➤ **Crudo TJM 26**

En la Tabla N° 48 se observa que la caída de presión de los platos N° 7 y 8 se encuentra dentro de un buen rango para todas las cargas manejadas, el llenado del bajante esta por debajo del 50 % máximo establecido y la velocidad de entrada y salida de los bajantes también, debido a que las cargas de líquido y vapor no son excesivas o muy bajas, en ninguno de los casos se presenta inundación de los platos.

➤ **Crudo CPG**

En la Tabla N° 48 se observa que al procesarse el crudo CPG y para todas las cargas, los platos N° 7 y 8 no presentan ningún tipo de problema hidráulico.

➤ **Crudo LRM**

En la Tabla N° 48 se observa que al procesarse el crudo CPG y para todas las cargas, los platos N° 7 y 8 no presentan ningún tipo de problema hidráulico.

Tabla N° 48: Resultados de la evaluación hidráulica realizada en la zona de fraccionamiento Corte Lateral N° 2- Corte Lateral N° 1.

PARÁMETRO	Máximo	CRUDO TJM 26						CRUDO CPG						CRUDO LRM					
		PLATO N° 7			PLATO N° 8			PLATO N° 7			PLATO N° 8			PLATO N° 7			PLATO N° 8		
		Max	Op	Min	Max	Op	Min	Max	Op	Min	Max	Op	Min	Max	Op	Min	Max	Op	Min
Caída de presión total del plato, psi	0,15 psi máx	0,11	0,10	0,08	0,08	0,08	0,06	0,09	0,08	0,07	0,07	0,07	0,06	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06
Llenado del bajante, %	50 %	17	15	13	13	12	11	14	13	12	12	12	11	15	13	11	13	10	10
Velocidad de entrada al bajante, pie/s	0,350 máx	0,140	0,125	0,106	0,127	0,113	0,096	0,130	0,121	0,113	0,121	0,112	0,108	0,122	0,101	0,085	0,101	0,083	0,077
Velocidad de salida del bajante, pie/s	0,6 máx	0,316	0,282	0,240	0,127	0,113	0,096	0,294	0,274	0,253	0,121	0,112	0,108	0,275	0,227	0,192	0,101	0,083	0,077
Inundación, %	90 %	50	46	39	51	48	40	44	52	33	46	42	35	48	41	26	49	42	37
Capacidad Máxima, %	90 %	45	41	35	44	41	34	40	50	31	39	36	31	40	34	21	39	33	30

4.4.4 Zona de fraccionamiento Corte Lateral N° 1 - Cabecera

En la Tabla N° 49 se observan los parámetros hidráulicos del plato N° 8A y del plato N° 8D. La caída de presión en los mismos es aceptable para carga máxima, de operación y mínima. Lo mismo sucede para el resto de las variables hidráulicas del bajante.

➤ **Crudo TJM 26**

En la zona de fraccionamiento Corte Lateral N° 1 - Cabecera, los flujos de líquido y vapor disminuyen a medida que se aumenta el número del plato; por lo tanto, el menor flujo de vapor y de líquido se encuentra en el plato N° 8D. Como puede observarse en la Tabla N° 49, el flujo de vapor es demasiado alto para el flujo de líquido correspondiente al plato N° 8D y se produce el arrastre del líquido del plato hacia los platos superiores. Este problema hidráulico se produce para la carga máxima, obteniéndose un porcentaje de arrastre de 43 %.

➤ **Crudo CPG**

Para la carga máxima y de operación, el plato N° 8A y 8D sobrepasan el 20 % de arrastre permitido. Estos porcentajes son ligeramente menores para el plato N° 8D (32 y 20 % vs. 38 y 21 % para el plato N° 8A), ya que este presenta los menores flujos de vapor y líquido; sin embargo, a pesar del arrastre observado a carga máxima y de operación; a la carga mínima de 38 KBD, el plato N° 8D presenta un lloriqueo de 26 %.

➤ **Crudo LRM**

A carga mínima, el flujo de vapor es insuficiente para soportar la carga de líquido en los platos, produciéndose lloriqueo en ambos platos. Este porcentaje es de 30 % en el plato N° 8D y de 25 % para el plato N° 8A.

Tabla N° 49: Resultados de la evaluación hidráulica realizada en la zona de fraccionamiento Cabecera - Corte lateral N° 1.

PARÁMETRO	Máximo	CRUDO TJM 26						CRUDO CPG						CRUDO LRM					
		PLATO N° 8A			PLATO N° 8D			PLATO N° 8A			PLATO N° 8D			PLATO N° 8A			PLATO N° 8D		
		Max	Op	Min	Max	Op	Min	Max	Op	Min	Max	Op	Min	Max	Op	Min	Max	Op	Min
Caída de presión total del plato, psi	0,15 psi máx	0,11	0,10	0,09	0,11	0,10	0,08	0,09	0,09	0,07	0,09	0,08	0,07	0,09	0,07	0,06	0,09	0,07	0,06
Llenado del bajante, %	50 %	22	21	18	20	20	17	20	19	18	19	17	16	19	17	16	18	16	15
Velocidad de entrada al bajante, pie/s	0,579 máx	0,056	0,051	0,042	0,044	0,044	0,033	0,047	0,046	0,038	0,036	0,035	0,029	0,043	0,035	0,032	0,034	0,028	0,026
Velocidad de salida del bajante, pie/s	0,6 máx	0,056	0,051	0,042	0,044	0,044	0,033	0,047	0,046	0,038	0,036	0,035	0,029	0,043	0,035	0,032	0,034	0,028	0,026
Ahogamiento a la entrada del bajante	1 máx	0,525	0,492	0,408	0,484	0,470	0,375	0,463	0,434	0,381	0,422	0,393	0,335	0,428	0,369	0,324	0,404	0,350	0,303
Sello del bajante, pulg	-0,25 min	0,56	0,55	0,44	-0,03	-0,06	-0,10	0,46	0,47	0,38	-0,10	-0,09	-0,16	0,44	0,35	0,33	-0,10	-0,16	-0,19
Inundación, %	90 %	57	53	43	53	51	40	51	45	41	47	43	37	46	40	35	45	39	34
Capacidad Máxima, %	90 %	50	46	38	45	44	34	44	41	36	40	36	33	40	35	31	38	33	28
Goteo, %	20 %	4	5	11	5	6	15	7	9	17	10	14	26	9	16	25	10	19	30
Arrastre, %	20 %	13	7	16	43	20	16	38	21	14	32	20	12	24	16	3	9	18	3

4.4.5 Zona de fraccionamiento Cabecera - Tope

En la Tabla N° 50 se encuentran las variables hidráulicas estudiadas para los platos N° 9 y N° 11.

➤ **Crudo TJM 26**

El flujo de líquido y vapor disminuyen a medida que se aumenta el número del plato; es decir, del plato N° 9 al plato N° 11; por lo que los menores flujos de vapor y líquido corresponden al plato N° 11. Para la carga mínima se presenta goteo o weeping en el plato N° 11; lo que significa que el flujo de vapor no es suficiente para soportar la carga de líquido en el plato, por lo tanto, el líquido pasa por los orificios del área de burbujeo, provocando una reducción en la eficiencia del plato. Como puede observarse en la Tabla N° 50, la caída de presión se encuentra entre 0,08 psi y 0,2 psi. Adicionalmente, el comportamiento hidráulico del bajante es satisfactorio.

➤ **Crudo CPG**

Con respecto al plato N° 11, se observa lloriqueo a carga máxima, de operación y mínima (21, 29 y 65 % respectivamente). Esto se debe a una baja carga de vapor en el plato, para el correspondiente flujo de líquido, ocasionando que el líquido pase a través de los orificios del plato en forma continua; por lo tanto, el flujo de líquido en el bajante disminuye y el vapor asciende por la parte inferior del bajante en lugar de pasar por el área de burbujeo, perdiéndose el sello en el bajante del plato N° 11.

➤ **Crudo LRM**

En términos generales, el plato N° 9 presenta un comportamiento satisfactorio en todas sus variables hidráulicas; sin embargo, en el plato N° 11, donde se presentan las menores cargas de líquido y vapor, se observa un lloriqueo de 24 % a la carga de operación y de 59 % para la carga mínima.

Tabla N° 50: Resultados de la evaluación hidráulica realizada en la zona de fraccionamiento Cabecera -Tope.

PARÁMETRO	Máximo	CRUDO TJM 26						CRUDO CPG						CRUDO LRM					
		PLATO N° 9			PLATO N° 11			PLATO N° 9			PLATO N° 11			PLATO N° 9			PLATO N° 11		
		Max	Op	Min	Max	Op	Min	Max	Op	Min	Max	Op	Min	Max	Op	Min	Max	Op	Min
Caída de presión total del plato, psi	0,15 psi máx	0,20	0,15	0,14	0,14	0,08	0,10	0,16	0,14	0,11	0,11	0,10	0,08	0,16	0,13	0,11	0,11	0,10	0,08
Llenado del bajante, %	50 %	44	39	31	32	23	24	36	32	27	27	25	21	36	30	26	28	24	21
Velocidad de entrada al bajante, pie/s	0,579 máx	0,376	0,335	0,286	0,308	0,255	0,234	0,314	0,289	0,240	0,252	0,233	0,192	0,328	0,269	0,249	0,270	0,221	0,206
Velocidad de salida del bajante, pie/s	0,6 máx	0,376	0,335	0,286	0,308	0,255	0,234	0,314	0,289	0,240	0,252	0,233	0,192	0,328	0,269	0,249	0,270	0,221	0,206
Ahogamiento a la entrada del bajante	1 máx	0,930	0,831	0,671	0,606	0,376	0,461	0,775	0,697	0,581	0,517	0,474	0,403	0,767	0,645	0,562	0,522	0,454	0,400
Sello del bajante, pulg	-0,25 min	1,22	0,65	0,30	0,72	0,39	0,06	0,53	0,31	-0,08	0,18	0,03	-0,28	0,71	0,16	0,01	0,37	-0,03	-0,15
Inundación, %	90 %	75	67	52	41	20	29	62	55	45	34	30	25	61	50	43	34	28	24
Capacidad Máxima, %	90 %	44	40	33	24	12	18	39	35	30	21	19	16	37	32	28	21	18	16
Goteo, %	20 %	1	1	2	13	16	40	1	2	2	21	29	65	1	2	3	18	24	59
Arrastre, %	20 %	11	5	1	0	0	0	3	1	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0

4.4.6 Aspectos más importantes de la Evaluación Hidráulica

Las Tablas N° 51, 52 y 53, resumen los problemas hidráulicos presentados en la torre T-100X, al procesarse los tres tipos de crudo, para las tres cargas.

Tabla N° 51: Resumen de limitaciones hidráulicas de la torre T-100X, al procesarse el crudo TJM 26.

PLATO	PROBLEMA HIDRÁULICO TJM 26		
	Carga Máxima	Carga Operacional	Carga Mínima
11	---	---	• Goteo (40 %)
9	• Alta caída de presión (0,2 psi)	---	---
8D	• Arrastre (43 %)	---	---
8A	---	---	---
8	---	---	---
7	---	---	---
6D	<ul style="list-style-type: none"> • Alta caída de presión (0,7 psi) • Alto llenado del bajante (76 %) • Ahogamiento a la entrada del bajante (6,5) 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta caída de presión (0,5 psi) • Alto llenado del bajante (58 %) • Ahogamiento a la entrada del bajante (4,8) 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta caída de presión (0,2 psi) • Ahogamiento a la entrada del bajante (1,9)
6A	<ul style="list-style-type: none"> • Alta caída de presión (0,22 psi) • Alto llenado del bajante (75 %) • Ahogamiento a la entrada del bajante (1,1) 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta caída de presión (0,19 psi) • Alto llenado del bajante (57 %) 	---
4	<ul style="list-style-type: none"> • Alta caída de presión (0,43 psi) • Alto llenado del bajante (61 %) • Arrastre (206 %) • Inundación (94 %) 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta caída de presión (0,41 psi) • Alto llenado del bajante (57 %) • Arrastre (154 %) 	• Alta caída de presión (0,27 psi)
1	• Alta caída de presión (0,26 psi)	• Alta caída de presión (0,25 psi)	• Alta caída de presión (0,18 psi)

En la Tabla N° 51 se observa que no es posible operar la torre a la carga máxima de 50 KBD. Los problemas hidráulicos de la zona de despojamiento se incrementan; además de la alta caída de presión del plato N° 4 y N° 1 y el arrastre y alto llenado del bajante del plato N° 4, se produce la inundación del mismo. En los platos de la N° 6A/B/C/D, se presenta ahogamiento a la entrada del bajante, alto llenado del mismo y alta caída de presión. Adicionalmente en los platos N° 8D y N° 9 se observa arrastre y alta caída de presión, respectivamente.

Con respecto a la carga operacional, en la zona de despojamiento se observa alta caída de presión en ambos platos límites y arrastre y alto llenado del bajante en el plato N° 4. Este arrastre de partículas no llega a afectar la calidad del corte lateral N° 3, la mayoría de estas partículas son llevadas nuevamente a la zona de despojamiento debido a la corriente líquida de alimentación, que se introduce en la zona de vaporización instantánea; adicionalmente, el espacio que existe entre el plato N° 4 y el plato de chimenea de retiro de overflash, es lo suficientemente grande como para que las partículas pierdan velocidad, provocando que al subir, vuelvan a caer.

En los platos N° 6 A/B/C/D se presenta alta caída de presión y en el N° 6D específicamente, alto llenado del bajante y ahogamiento a la entrada del mismo, debido a las altas cargas de líquido manejadas en los mismos, ya que son los platos que se encuentran por debajo de la zona de pumparound. De acuerdo a una evaluación hidráulica realizada en la zona con el programa Toolkit, estos problemas hidráulicos de la zona se minimizan aumentando el ancho de los bajantes, de 6 pulg a 10 pulg (caída de presión: 0,24 psi; llenado del bajante: 30 %; ahogamiento a la entrada del bajante: 0,892); sin embargo aún se conserva la alta caída de presión. Este valor de 10 pulg sólo es un estimado, ya que para poder plantear un nuevo diseño, se debe estudiar la configuración para todas las cargas y todos los crudos manejados, pero sirve para verificar cual es la causa de los problemas hidráulicos de la zona. Desde el plato N° 11 al plato N° 8, la torre no presenta problemas hidráulicos.

En lo que respecta a la carga mínima, se observa una disminución de los problemas hidráulicos. En la zona de despojamiento solo se presenta alta caída de presión, en los platos N° 6A/B/C/D se observa alta caída de presión y ahogamiento a la entrada del bajante solo en el plato N° 6D y en la zona superior de la torre, lloriqueo en el plato N° 11.

En general, se puede decir que los problemas hidráulicos actuales de la torre T-100X, al procesar el crudo TJM 26, se deben principalmente al manejo de altas cargas de líquido y vapor; por tal razón, es recomendable operar la misma con cargas menores o iguales a 44 KBD, que es la carga operacional.

En la Tabla N° 52, se presenta un resumen de los problemas hidráulicos de la torre T-100X al procesarse el crudo CPG.

A la carga operacional, la zona de despojamiento sólo presenta alta caída de presión en los platos. En el resto de la torre se observa alta caída de presión y ahogamiento a la entrada del bajante en el plato N° 6D, un bajo porcentaje de arrastre (21 %) en el plato N° 8A y goteo en el plato N° 11 (29 %).

A carga máxima, al igual que con el crudo TJM 26, se incrementan las limitaciones hidráulicas de todas las zonas; a pesar de esto, en la zona de despojamiento solo se observa arrastre (38 %) y en el plato N° 6A y 6D se presenta alta caída de presión y ahogamiento a la entrada del bajante del plato N° 6D. En los platos N° 8 A/B/C/D, se presenta arrastre, lo que ocasionaría una alteración de la curva de destilación del corte de cabecera en la operación real de la torre; además de presentarse un ligero goteo en el plato N° 11 (21 %).

A carga mínima solo se observa alta caída de presión en el plato N° 4, en el plato N° 6D los problemas hidráulicos de la carga máxima y operacional se mantienen y en el plato N° 8D, a diferencia de la carga máxima, se observa goteo

(26 %). En lo que respecta al plato N° 11, que presentaba goteo a carga mínima y operacional, el lloriqueo a carga mínima es tan alto que provoca la pérdida de sello en el bajante.

Tabla N° 52: Resumen de limitaciones hidráulicas de la torre T-100X, al procesarse el crudo CPG.

PLATO	PROBLEMA HIDRÁULICO CPG		
	Carga Máxima	Carga Operacional	Carga Mínima
11	<ul style="list-style-type: none"> Goteo (21 %) 	<ul style="list-style-type: none"> Goteo (29 %) 	<ul style="list-style-type: none"> Goteo (65 %) Pérdida de sello del bajante (-0,28)
9	<ul style="list-style-type: none"> Alta caída de presión (0,16 psi) 	---	---
8D	<ul style="list-style-type: none"> Arrastre (32 %) 	---	<ul style="list-style-type: none"> Goteo (26 %)
8A	<ul style="list-style-type: none"> Arrastre (38 %) 	<ul style="list-style-type: none"> Arrastre (21 %) 	---
8	---	---	---
7	---	---	---
6D	<ul style="list-style-type: none"> Alta caída de presión (0,40 psi) Ahogamiento a la entrada del bajante (3,7) 	<ul style="list-style-type: none"> Alta caída de presión (0,33 psi) Ahogamiento a la entrada del bajante (3,0) 	<ul style="list-style-type: none"> Alta caída de presión (0,22 psi) Ahogamiento a la entrada del bajante (1,9)
6A	<ul style="list-style-type: none"> Alta caída de presión (0,16 psi) 	---	---
4	<ul style="list-style-type: none"> Alta caída de presión (0,31 psi) Arrastre (38 %) 	<ul style="list-style-type: none"> Alta caída de presión (0,27 psi) 	<ul style="list-style-type: none"> Alta caída de presión (0,2 psi)
1	<ul style="list-style-type: none"> Alta caída de presión (0,21 psi) 	<ul style="list-style-type: none"> Alta caída de presión (0,19 psi) 	---

En la Tabla N° 53, se resumen los problemas hidráulicos presentados con el crudo LRM, a carga máxima, mínima y operacional.

Tabla N° 53: Resumen de limitaciones hidráulicas de la torre T-100X, al procesarse el crudo LRM.

PLATO	PROBLEMA HIDRÁULICO LRM		
	Carga Máxima	Carga Operacional	Carga Mínima
11	---	• Goteo (24 %)	• Goteo (59 %)
9	• Alta caída de presión (0,16 psi)	---	---
8D	---	---	• Goteo (30 %)
8A	• Arrastre (24 %)	---	• Goteo (25 %)
8	---	---	---
7	---	---	---
6D	<ul style="list-style-type: none"> • Alta caída de presión (0,59 psi) • Ahogamiento a la entrada del bajante (5,5) 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta caída de presión (0,36 psi) • Ahogamiento a la entrada del bajante (3,2) 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta caída de presión (0,25 psi) • Ahogamiento a la entrada del bajante (2,1)
6A	<ul style="list-style-type: none"> • Alta caída de presión (0,19 psi) • Ahogamiento a la entrada del bajante (1,1) 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta caída de presión (0,15 psi) 	---
4	<ul style="list-style-type: none"> • Alta caída de presión (0,45 psi) • Alto llenado del bajante (63 %) • Arrastre (226 %) • Inundación (95 %) 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta caída de presión (0,4 psi) • Alto llenado del bajante (57 %) • Arrastre (142 %) 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta caída de presión (0,22 psi)
1	<ul style="list-style-type: none"> • Alta caída de presión (0,26 psi) 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta caída de presión (0,24 psi) 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta caída de presión (0,17 psi)

Para el crudo LRM, a la carga operacional, se observan los mismos problemas hidráulicos en la zona de despojamiento presentados con el crudo TJM 26, igual ocurre en los platos N° 6D y 6A; sin embargo, se observa un ligero lloriqueo en el plato N° 11 (24 %).

Para la carga máxima, además de la alta caída de presión en los platos N° 4 y N° 1, se observa alto llenado del bajante e inundación por arrastre en el plato N° 4. Los platos N° 6A y 6D presentan alta caída de presión y ahogamiento a la entrada del bajante. En el plato N° 8A se observa arrastre y en el plato N° 9 alta caída de presión.

A la carga mínima, en la zona de despojamiento solo se observa alta caída de presión. En el plato N° 6, alta caída de presión y ahogamiento a la entrada del bajante. En el tope de la torre, se presenta lloriqueo en los platos N° 11, 8D y 8A, lo que afectaría notablemente la calidad de los productos.

En general, no es recomendable operar la torre T-100X a la carga máxima porque los problemas hidráulicos se presentan en casi todas las secciones de la torre para los tres crudos. Las limitaciones hidráulicas relacionadas con las altas cargas de líquido y vapor, como la alta caída de presión, ahogamiento a la entrada del bajante, alto llenado del bajante y arrastre disminuyen a carga mínima para el crudo TJM 26 o a una carga entre la operacional y la mínima para los crudos CPG y LRM.

Es importante recalcar que PRO-II with PROVISION no simula platos reales y por tal razón, la influencia que tienen los problemas hidráulicos en la calidad de los productos no es reflejado por el mismo.

En las Tablas N° 32, 38 y 44, se observa que en la simulación a carga máxima y mínima logran obtener las especificaciones de calidad de los productos; sin embargo, es necesario realizar la evaluación hidráulica para garantizar la buena operación del plato y de la torre y que en la realidad se obtendrán las especificaciones de los productos.

4.5 CASO N° 4. Evaluación de la Planta de Destilación de Vacío PVAY-2, luego de incrementar el número de etapas teóricas en la zona de despojamiento

Al incrementar el número de etapas teóricas en la zona de despojamiento de uno a dos, se asume que se mejora la eficiencia de los platos de dicha zona. Para que esto ocurra en la realidad, se deben sustituir los platos por unos de mayor eficiencia o aumentar el número de ellos, evaluando en todo momento el comportamiento hidráulico de los mismos y considerando en el nuevo diseño las normas establecidas por el Manual de Diseño de PDVSA.

El criterio establecido para la validación de la simulación de la torre de vacío, fue obtener un porcentaje de desviación no mayor del 10 % para las temperaturas y flujos, mientras que las presiones se fijan en su valor exacto por especificación y un porcentaje de desviación menor al 5 %, para las temperaturas correspondientes a cada porcentaje de recuperación en las destilaciones TBP de los productos de la torre de vacío. En lo que respecta a la torre atmosférica, los porcentajes de desviación máximos son de 10 % para los flujos de retiro de los productos y 10 % para el 5 % y 95 % de recuperación en las destilaciones de los mismos. Con respecto al 95 % de la destilación TBP en peso de los productos, se establece un rango de temperaturas dentro del cual debe obtenerse el valor reportado en la simulación.

En el caso N° 4 se mantiene el número de etapas en todas las secciones de la torre, a excepción de la zona de despojamiento; por lo tanto, se espera un incremento en el rendimiento del corte lateral N° 3 y una disminución en la producción del fondo de vacío, manteniendo las especificaciones de calidad obtenidas en la simulación con una etapa teórica. Estas simulaciones son realizadas a la carga máxima de 50 KBD y a la carga mínima de 38 KBD.

4.5.1 Consideraciones importantes en la simulación

El esquema bajo el cual se realiza esta simulación para los tres crudos, es igual al planteado en las simulaciones anteriores, con un ligero cambio en las especificaciones. En los casos N° 1, 2 y 3, se especificaba el flujo de retiro del corte lateral N° 3; sin embargo, para este caso, se desea obtener una producción mayor del corte, manteniendo la especificación de calidad del mismo, como lo es la temperatura correspondiente al 95 % de recuperación de la destilación TBP en peso a 760 mmHg del corte lateral N° 3.

Si se considera que la eficiencia promedio de las zonas de despojamiento se encuentra entre 25 y 35 %, de acuerdo con el Manual de Prácticas de Diseño de PDVSA, entonces, a dos etapas teóricas de fraccionamiento corresponden seis (33 % de eficiencia), siete (28 % de eficiencia) u ocho platos (25 % de eficiencia), según la ecuación N° 9 del Apéndice C. Debido al espacio disponible de la zona, sólo es posible colocar seis platos. Esta eficiencia promedio se comprobará posteriormente con el programa de evaluaciones hidráulicas Toolkit.

Adicionalmente, se realiza un cambio en el perfil de presiones en la zona de despojamiento. Si se supone una caída de presión por plato de 0,1 psi, que es la caída de presión típica para platos perforados en torres de vacío, de acuerdo al Manual de Diseño de Procesos de PDVSA, y un total de seis platos en la zona de despojamiento, la presión en el fondo de la torre se calcula de acuerdo a la ecuación N° 12 del Apéndice C, partiendo de la presión de la zona de vaporización instantánea.

4.5.2 Simulación de la Torre de Vacío T-100X de PVAY-2

4.5.2.1 Crudo Tía Juana Medio 26

Al realizar la simulación con el crudo TJM 26, se cambia la especificación de flujo de retiro del corte lateral N° 3, de 3270 BD y 2485 BD para carga máxima y mínima respectivamente, por la temperatura correspondiente al 95 % de recuperación de la destilación TBP en peso igual a 1015 °F, el cual es un valor cercano al obtenido a las simulaciones previas y se encuentra dentro del rango establecido para el 95 % de la destilación TBP en peso de este producto. En las Tablas N° 54 y 55 se presentan las simulaciones para carga máxima y mínima, al incrementar el número de etapas teóricas en la zona de despojamiento.

Como puede observarse en las mismas, se especifica el flujo de retiro del corte de cabecera, del corte lateral N° 1, del corte lateral N° 2 y del overflash, así como la temperatura del tope de la torre igual a 150 °F. Con respecto al corte lateral N° 3, se observa un aumento considerable en la producción, de 3270 BD a 5823 BD y una disminución en el flujo de retiro del fondo de vacío de 29217 BD a 26573 BD para la carga máxima, lo que representa un incremento de 78,1 % en la producción del corte lateral N° 3 y una disminución de 9,1 % en la producción de fondo de vacío, esto quiere decir que se recuperan las colas ligeras presentes en el fondo de vacío y que anteriormente no era posible obtener en el corte lateral N° 3. Con respecto a la carga mínima, se observa el mismo comportamiento para el corte lateral N° 3 y el fondo de vacío.

Para la gravedad API de los productos, los valores se mantienen prácticamente igual a los de la simulación del caso N° 1 (ver Tablas N° 54 y 55), a excepción de la del fondo de vacío, la cual disminuye de 8,5 °API a 8 °API para carga máxima y a 8,2 °API para carga mínima. Esto se debe a que se separan las colas ligeras del fondo de vacío, provocando que este se vuelva mas pesado.

Con respecto al perfil de temperaturas, en ambas simulaciones se observa que el porcentaje de desviación se encuentra por debajo del 5 % máximo establecido.

Tabla N° 54: Resultados de la simulación para el crudo TJM 26.

(Carga Máxima: 50 KBD. Nueve etapas teóricas)

Variable	Operación	Simulación	Porcentaje de desviación, %
Flujo de retiro de Corte Lateral N° 3, BD	3270	5823	Aumento de 78,1 %
Flujo de retiro de Fondo de Vacío, BD	29217	26573	Disminución de 9,1 %
Gravedad API de Cabecera, °API	25,6	25,5	0,4
Gravedad API de Corte Lateral N° 1, °API	20,0	20,4	2,0
Gravedad API de Corte Lateral N° 2, °API	18,3	18,3	0,0
Gravedad API de Corte Lateral N° 3, °API	14,1	14,6	3,5
Gravedad API de Fondo de Vacío, °API	8,7	8,0	Disminución de 8,1 %
Temperatura del plato N° 8 (etapa 5), °F	575	563	2,1
Temperatura de la zona de vaporización instantánea (etapa 8), °F	754	732	2,9
Temperatura de la zona de lavado (etapa 7), °F	708	711	0,4

Tabla N° 55: Resultados de la simulación para el crudo TJM 26.

(Carga Mínima: 38 KBD. Nueve etapas teóricas)

Variable	Operación	Simulación	Porcentaje de desviación, %
Flujo de retiro de Corte Lateral N° 3, BD	2485	3494	Aumento de 40,6 %
Flujo de retiro de Fondo de Vacío, BD	22205	21126	Disminución de 4,8 %
Gravedad API de Cabecera, °API	25,6	25,5	0,4
Gravedad API de Corte Lateral N° 1, °API	20,0	20,4	2,0
Gravedad API de Corte Lateral N° 2, °API	18,3	18,4	0,5
Gravedad API de Corte Lateral N° 3, °API	14,1	14,7	4,2
Gravedad API de Fondo de Vacío, °API	8,7	8,2	Disminución de 5,7 %
Temperatura del plato N° 8 (etapa 5), °F	575	561	2,4
Temperatura de la zona de vaporización instantánea (etapa 8), °F	754	730	3,2
Temperatura de la zona de lavado (etapa 7), °F	708	706	0,3

En la Tabla N° 56 se presenta el 5 y 95 % de la destilación TBP en peso para cada uno de los cortes al procesarse TJM 26.

Tabla N° 56: Temperaturas correspondientes al 5 % y 95 % de recuperación.

Crudo TJM 26. Simulación con nueve etapas teóricas.

Porcentaje de recuperación Destilación TBP, peso		Temperatura, °F	
		Carga Máxima	Carga Mínima
Cabecera	5 %	492	492
	95 %	773	773
Corte Lateral N° 1	5 %	664	664
	95 %	887	884
Corte Lateral N° 2	5 %	698	697
	95 %	948	940
Corte Lateral N° 3	5 %	798	800
	95 %	1015	1015
Fondo de Vacío	5 %	896	897
	95 %	1261	1258

Como puede observarse, al comparar con la Tabla N° 32, las temperaturas correspondientes a ambos porcentajes de recuperación, son prácticamente iguales a las obtenidas en el caso N° 1. La mayor diferencia se presenta con el 5 % de fondo de vacío, el cual es mas alto en la simulación con dos etapas en la zona de despojamiento, lo que significa que se logra aumentar la producción de corte lateral N° 3, bajo las mismas especificaciones de calidad. En la Tabla N° 57 se presentan los resultados más importantes de la simulación con una y dos etapas teóricas en la zona de despojamiento.

Tabla N° 57: Resultados más importantes de la simulación con una y dos etapas teóricas de la zona de despojamiento. Crudo TJM 26.

Carga	Máxima		Mínima	
	Una	Dos	Una	Dos
Número de etapas				
Rendimiento del Corte Lateral N° 3, %	6,5	11,6	6,5	9,2
Rendimiento del Fondo de Vacío, %	58,2	53,1	58,2	55,6
Overlap entre el Corte Lateral N° 3 y el Fondo de Vacío, °F	138	119	140	118
Punto de Corte entre el Corte Lateral N° 3 y el Fondo de Vacío, °F	947	955	947	956

El rendimiento del corte lateral N° 3 aumentó de 6,5 % a 11,6 % para la carga máxima y a 9,2 % para la carga mínima. El rendimiento del fondo de vacío disminuye de 58,2 % a 53,1 % para la carga máxima y a 55,6 % para la carga mínima. A pesar de que el cambio no es muy notable, también el overlap disminuye, de 138 °F y 140 °F para la carga máxima y la carga mínima a 119 °F y 118 °F respectivamente, lo que evidencia una mejora en el fraccionamiento de ambos productos. En la Tabla N° 58 se presentan las especificaciones de los productos para la simulación con dos etapas en la zona de despojamiento.

Tabla N° 58: Especificaciones de los productos obtenidos de la torre T-100X, al simularse con el crudo TJM 26. Simulación con nueve etapas teóricas.

Producto	Especificación	Carga Máxima	Carga Mínima
Cabecera	<ul style="list-style-type: none"> Temperatura correspondiente al 95 % de la destilación ASTM D-86: 680 - 690 °F 	736	736
Corte N° 1 o Lube Liviano	<ul style="list-style-type: none"> Temperatura correspondiente al 5 % de la destilación ASTM D-1160 a 10 mmHg: 435 °F 	413	413
	<ul style="list-style-type: none"> Temperatura correspondiente al 95 % de recuperación de la destilación TBP en peso: 880 - 890 °F 	887	884
Corte N° 3 o Lube Pesado	<ul style="list-style-type: none"> Temperatura correspondiente al 95 % de recuperación de la destilación TBP en peso: 1010 - 1025 °F 	1015	1015

Como puede observarse en la Tabla N° 58, se presentan problemas en obtener las especificaciones de la cabecera y del corte lateral N° 1, tanto en la operación real como en la simulación. Con respecto al 95 % de la destilación TBP en peso del corte lateral N° 1, se logra la especificación y para el corte lateral N° 3 se especifica en la simulación.

4.5.2.2 Crudo de Propósitos Generales

Al realizar la simulación con el Crudo de Propósitos Generales, se cambia la especificación de flujo de retiro del corte lateral N° 3, de 3894 BD y 2959 BD para carga máxima y mínima respectivamente, por la temperatura correspondiente al 95 % de la destilación TBP en peso igual a 1035 °F, ya que es un valor cercano al obtenido en las destilaciones TBP en peso del corte lateral N° 3 en las simulaciones para todas las cargas, al procesarse el crudo CPG. En las Tablas N° 59 y 60, se presentan las simulaciones para carga máxima y mínima, al incrementar el número de etapas de la zona de despojamiento.

Tabla N° 59: Resultados de la simulación para el crudo CPG.

(Carga Máxima: 50 KBD. Nueve etapas teóricas)

Variable	Operación	Simulación	Porcentaje de desviación, %
Flujo de retiro del Corte Lateral N° 1, BD	6030	5700	5,5
Flujo de retiro del Corte Lateral N° 3, BD	3894	4743	Aumento de 21,8 %
Flujo de retiro de Overflash, BD	2854	2810	1,5
Flujo de retiro de Fondo de Vacío, BD	26604	26080	Disminución de 2,0 %
Temperatura del plato 8 (etapa 5), °F	588	560	4,8
Temperatura de la zona de vaporización instantánea (etapa 8), °F	760	750	1,3
Temperatura de la zona de lavado (etapa 7), °F	705	709	0,6

Tabla N° 60: Resultados de la simulación para el crudo CPG.

(Carga Mínima: 38 KBD. Nueve etapas teóricas)

Variable	Operación	Simulación	Porcentaje de desviación, %
Flujo de retiro del Corte Lateral N° 3, BD	2959	3573	Aumento de 20,7 %
Flujo de retiro de Overflash, BD	2169	1953	9,9
Flujo de retiro de Fondo de Vacío, BD	20628	19884	Disminución de 3,6 %
Temperatura del plato 8 (etapa 5), °F	588	560	4,8
Temperatura de la zona de vaporización instantánea (etapa 8), °F	760	750	1,3
Temperatura de la zona de lavado (etapa 7), °F	705	711	0,8

En las Tablas N° 59 y 60 se observa que en ambas simulaciones se especificó el flujo de retiro de cabecera, corte lateral N° 1 y corte lateral N° 2. Con respecto al corte lateral N° 3, se observó un incremento de 3894 BD a 4743 BD para la carga máxima y de 2959 BD a 3573 BD para la carga mínima, lo que significa un aumento de 21,8 % y 20,7 %, respectivamente. El flujo de retiro de fondo de vacío, disminuyó en ambas simulaciones. Los flujos y el perfil de temperaturas, se encuentran dentro de los valores establecidos y con porcentajes de desviación aceptables. En la Tabla N° 61 se presentan las temperaturas correspondientes al 5 y 95 % de recuperación de la destilación TBP en peso.

Tabla N° 61: Temperaturas correspondientes al 5 % y 95 % de recuperación.

Crudo CPG. Simulación con nueve etapas teóricas.

Porcentaje de recuperación Destilación TBP, peso		Temperatura, °F	
		Carga Máxima	Carga Mínima
Cabecera	5 %	479	480
	95 %	778	778
Corte Lateral N° 1	5 %	674	675
	95 %	878	880
Corte Lateral N° 2	5 %	699	702
	95 %	941	944
Corte Lateral N° 3	5 %	788	798
	95 %	1035	1035
Fondo de Vacío	5 %	962	962
	95 %	1476	1476

Con respecto a la simulación con dos etapas teóricas en la zona de despojamiento, se observa el cambio notable en el 5 % de la destilación TBP (peso) del fondo de vacío, el cual aumentó de 936 °F a 962 °F para la carga máxima y de 935 °F a 962 °F para la carga mínima. En la Tabla N° 62 se presentan los resultados más importantes de ambas simulaciones.

Tabla N° 62: Resultados más importantes de la simulación con una y dos etapas teóricas en la zona de despojamiento. Crudo CPG.

Carga	Máxima		Mínima	
	Una	Dos	Una	Dos
Número de etapas				
Rendimiento del Corte Lateral N° 3, %	7,8	9,5	7,1	9,4
Rendimiento del Fondo de Vacío, %	53,6	46,2	53,7	52,3
Overlap entre el Corte Lateral N° 3 y el Fondo de Vacío, °F	101	73	105	73
Punto de Corte entre el Corte Lateral N° 3 y el Fondo de Vacío, °F	986	998	987	998

El rendimiento del corte lateral N° 3 aumentó de 7,8 % y 7,1 % para la carga máxima y la carga mínima a 9,5 % y 9,4 %; el rendimiento del fondo de vacío disminuyó de 53,6 % y 53,7 % para la carga máxima y mínima respectivamente a 46,2 % y 52,3 %. Estos porcentajes evidencian el aumento de la recuperación de las colas ligeras del fondo de vacío. Adicionalmente, se observa una considerable

disminución del overlap, de 101 °F para la carga máxima y 105 °F para la carga mínima hasta 73 °F en ambas.

En la Tabla N° 63 se presenta un resumen de las especificaciones de los cortes, para carga máxima y mínima, al procesarse el crudo CPG

Tabla N° 63: Especificaciones de los productos obtenidos de la torre T-100X, al simularse con el crudo CPG. Dos etapas teóricas en la zona de despojamiento.

Producto	Especificación	Carga Máxima	Carga Mínima
Corte N° 1	<ul style="list-style-type: none"> Máximo contenido de vanadio: 1 ppm 	0,9	0,9
Corte N° 2	<ul style="list-style-type: none"> Máximo contenido de vanadio: 1,5 ppm 	1,4	1,5
Corte N° 3 o HVGO	<ul style="list-style-type: none"> Temperatura correspondiente al 95 % de recuperación de la destilación TBP en peso: 1020 - 1040 °F 	1035	1035
	<ul style="list-style-type: none"> Máximo contenido de vanadio: 6 ppm 	5,4	5,9

En la Tabla N° 63 se observa que las especificaciones del contenido de vanadio en todos los cortes se mantienen dentro del rango aceptable, así como la especificación del 95 % de la destilación TBP en peso del corte lateral N° 3, que se especifica en la simulación.

4.5.2.3 Crudo La Rosa Mediano

Al realizar la simulación con el crudo La Rosa Mediano, se cambia la especificación de flujo de retiro del corte lateral N° 3 de 4478 BD y 3403 BD para carga máxima y mínima respectivamente, por la temperatura correspondiente al 95 % de recuperación de la destilación TBP (peso) igual a 1030 °F, ya que es el valor obtenido en las destilaciones de este producto en las simulaciones del crudo LRM. En las Tablas N° 64 y 65, se presentan los resultados de las simulaciones, para carga máxima y mínima.

Tabla N° 64: Resultados de la simulación para el crudo LRM.

(Carga Máxima: 50 KBD. Nueve etapas teóricas)

Variable	Operación	Simulación	Porcentaje de desviación, %
Columna de Destilación Atmosférica			
Flujo de retiro de Nafta, BD	14516	14695	1,2
Flujo de retiro de Kerosén, BD	9238	9284	0,5
Flujo de retiro de Fondo de Atmosférico, BD	73118	71823	1,8
5% de la destilación D-86 de Kerosén, °F	359	329	8,3
95% de la destilación D-86 de Kerosén, °F	479	449	6,3
5% de la destilación D-86 de Heating Oil, °F	485	442	8,9
95% de la destilación D-86 de Heating Oil, °F	663	664	0,1
95% de la destilación D-1160 de Diesel °F	538	564	4,8
Columna de Destilación de Vacío			
Flujo de retiro de Corte Lateral N° 1, BD	5245	5243	0,0
Flujo de retiro de Corte Lateral N° 3, BD	4478	5394	Aumento de 20,4 %
Flujo de retiro de Fondo de Vacío, BD	26334	25291	Disminución de 4,0 %
Temperatura del plato 8 (etapa 5), °F	579	556	4,0
Temperatura de la zona de vaporización instantánea (etapa 8), °F	753	724	3,8
Temperatura de la zona de lavado (etapa 7), °F	708	705	0,4

Tabla N° 65: Resultados de la simulación para el crudo LRM.

(Carga Mínima: 38 KBD. Nueve etapas teóricas)

Variable	Operación	Simulación	Porcentaje de desviación, %
Columna de Destilación Atmosférica			
Flujo de retiro de Nafta, BD	7548	7814	3,5
Flujo de retiro de Kerosén, BD	4804	4926	2,5
Flujo de retiro de Fondo de Atmosférico, BD	38021	37104	2,4
5% de la destilación D-86 de Kerosén, °F	359	327	8,9
95% de la destilación D-86 de Kerosén, °F	479	451	5,8
5% de la destilación D-86 de Heating Oil, °F	485	451	7,0
95% de la destilación D-86 de Heating Oil, °F	663	668	0,7
95% de la destilación D-1160 de Diesel °F	538	567	5,4
Columna de Destilación de Vacío			
Flujo de retiro de Corte Lateral N° 1, BD	3986	3984	0,0
Flujo de retiro de Corte Lateral N° 3, BD	3403	4303	Aumento de 26,4 %
Flujo de retiro de Fondo de Vacío, BD	20013	19022	Disminución de 4,9 %
Temperatura del plato 8 (etapa 5), °F	579	559	3,4
Temperatura de la zona de vaporización instantánea (etapa 8), °F	753	725	3,7
Temperatura de la zona de lavado (etapa 7), °F	708	707	0,1

En lo que respecta a la torre de vacío, se especifica el flujo de retiro de cabecera, del corte lateral N° 1, del corte lateral N° 2 y del overflash. Se obtienen porcentajes de desviación muy bajos para el retiro del corte lateral N° 1 (0 %), igual a la simulación del caso N° 3. En lo que respecta al corte lateral N° 3, se incrementa la producción del mismo, de 4478 BD a carga máxima y 3403 BD a carga mínima a 5394 BD y 4303 BD, respectivamente, lo que significa un incremento de 20,4 % y 26,4 %. La producción de fondo de vacío disminuye al incrementar el número de etapas teóricas, observándose una disminución de la producción del mismo en 4,0 % y 4,9 % para carga máxima y mínima, respectivamente. Con respecto al perfil de temperaturas de ambas simulaciones, se obtienen bajos porcentajes de desviación.

En la siguiente tabla se presentan el 5 y 95 % de recuperación de la destilación TBP en peso a 760 mmHg, para cada uno de los cortes al procesarse LRM. Como puede observarse, al comparar con la Tabla N° 44, las temperaturas correspondientes a ambos porcentajes de recuperación, son prácticamente iguales a las obtenidas en el caso N° 3. La mayor diferencia se presenta con el 5 % de fondo de vacío, el cual aumenta de 926 °F a 952 °F aproximadamente. En la Tabla N° 58 se presentan los resultados más importantes de la simulación con una y dos etapas teóricas en la zona de despojamiento.

Tabla N° 66: Temperaturas correspondientes al 5 % y 95 % de recuperación.
Crudo LRM. Simulación con nueve etapas teóricas.

Porcentaje de recuperación Destilación TBP, peso		Temperatura, °F	
		Carga Máxima	Carga Mínima
Cabecera	5 %	472	474
	95 %	764	767
Corte Lateral N° 1	5 %	655	658
	95 %	874	877
Corte Lateral N° 2	5 %	685	688
	95 %	926	929
Corte Lateral N° 3	5 %	783	785
	95 %	1030	1030
Fondo de Vacío	5 %	952	953
	95 %	1428	1443

Tabla N° 67: Resultados más importantes de la simulación con una y dos etapas teóricas en la zona de despojamiento. Crudo LRM.

Carga	Máxima		Mínima	
	Una	Dos	Una	Dos
Número de etapas				
Rendimiento del Corte Lateral N° 3, %	8,9	10,8	8,9	11,3
Rendimiento del Fondo de Vacío, %	52,7	50,3	52,7	50,0
Overlap entre el Corte Lateral N° 3 y el Fondo de Vacío, °F	100	78	101	77
Punto de Corte entre el Corte Lateral N° 3 y el Fondo de Vacío, °F	976	991	976	991

En la Tabla N° 67 se presenta el esperado incremento en el rendimiento del corte lateral N° 3, de 8,9 % a carga máxima y mínima a 10,8 % y 11,3 % respectivamente. De igual forma, disminuye el rendimiento de fondo de vacío. El overlap sufre un ligero cambio de 100 °F y 101 °F a carga máxima y mínima a 77 °F y 78 °F respectivamente. Además, se observa el incremento del punto de corte, lo que evidencia la recuperación de las colas ligeras del fondo de vacío.

4.5.3 Evaluación Hidráulica

4.5.3.1 Configuraciones propuestas para la zona de despojamiento

Para la nueva configuración de la zona de despojamiento, se estudian los tipos de platos presentes en el mercado y las ventajas que ofrecen con respecto al tipo de servicio típico en la zona de despojamiento de una torre de vacío. Este nuevo diseño debe satisfacer todas las variables hidráulicas al procesarse los tres tipos de crudo.

El estudio se inicia con la evaluación del plato superior de la zona de despojamiento, al procesarse el crudo TJM 26 para la carga máxima. Inicialmente los platos de la sección presentaban problemas de arrastre e inundación (ver Tabla N° 46), condición que se torna crítica a las cargas mayores y en los platos superiores, por tal razón se inicia la evaluación en esta sección. Una vez que se logra un comportamiento hidráulico aceptable en el plato superior para la carga máxima del TJM 26, se procederá a evaluar la zona de despojamiento a carga mínima y posteriormente se realizará con los crudos CPG y LRM a ambas cargas, hasta conseguir una configuración que se adapte a todas las cargas para los tres tipos de crudo.

En el nuevo diseño se considera utilizar platos perforados y platos tipo válvula fija de Sulzer Chemtech, los cuales han sido recientemente muy utilizados en los servicios sucios como los son las torres de vacío. Adicionalmente, estos platos

presentan alta capacidad, buena eficiencia, son económicos y ofrecen una baja caída de presión, necesaria en dichas torres. A continuación se presentan una serie de premisas por las cuales no se selecciona otro tipo de plato:

- Los platos tipo casquete de burbujeo son muy costosos, la caída de presión es muy alta y presentan menor capacidad que otros platos.
- Los platos perforados sin bajante presentan una eficiencia muy baja.
- Los platos tipo válvula son costosos y no son adecuados para zonas que presentan alto ensuciamiento.
- El empaque estructurado no es utilizado en zonas de despojamiento de torres de vacío, ya que es un servicio muy sucio, que puede ocasionar taponamiento en las estructuras y aumentar la caída de presión progresivamente.

Un nuevo diseño con platos perforados se considerará si los cambios necesarios para minimizar los problemas de arrastre e inundación son viables. Estos cambios consisten en una modificación en la fracción de área abierta, tipo de bajante, claro y ancho del mismo o de la altura del vertedero de entrada o salida, ya que son modificaciones que son posibles realizar en los cuatro platos ya existentes y sólo sería necesario adquirir dos platos adicionales con las mismas características que los actuales.

Adicionalmente, el costo de los platos perforados y el de los platos de válvula fija es similar, y en caso de requerirse platos nuevos debido a un cambio en el número de pasos de los mismos o del diámetro de la torre, se seleccionarían platos de válvula fija ya que presentan ventajas en cuanto a capacidad, eficiencia y flexibilidad con respecto a los platos perforados.

4.5.3.2 Platos perforados

Al proponer nuevas configuraciones de la zona de despojamiento se consideran los siguientes aspectos, tomando en cuenta que se conservan los cuatro platos perforados existentes:

- Diámetro de la torre: El diámetro de la sección se conserva igual a 11 pies.
- Número de pasos: Los platos deben poseer un solo paso, como los actuales.
- Espaciamiento de los platos: Los espaciamientos pequeños resultan más económicos, pero debe tomarse en cuenta que es necesario un espacio adecuado para el mantenimiento posterior. Espaciamientos entre 18 y 24 pulg son los mas recomendados. Debido a que el espacio disponible de la torre es de 100 pulg, es posible colocar los seis platos perforados con un espaciamiento de 20 pulg.
- Tamaño del orificio: Se utilizan orificios de 3/4 pulg ya que es el tamaño recomendado para servicios con ensuciamiento y es el tamaño de los orificios de los platos actuales.
- Fracción de área abierta: Se define como la fracción entre el área de orificio y el área de burbujeo. Los valores recomendados para la misma se encuentran entre 5 y 15 %, y este porcentaje debe ser mayor para las mayores cargas de líquido y vapor, además de considerarse que para valores altos de la misma, la caída de presión es menor.
- Tipo de bajante: Los bajantes tipo segmental son usados en servicios con ensuciamiento. Para dar más área de burbujeo y alta capacidad, un bajante de arco modificado puede ser usado.
- Área del bajante: Para platos de un solo paso, el área de salida del bajante debe ser por lo menos $0.068 \times \text{Área transversal de la torre}$ o la longitud de la cuerda debe ser 65 % del diámetro de la torre para bajantes tipo cordal. Esto asegurará una buena distribución de líquido en el plato inferior. Para platos de dos pasos, la suma del área del bajante central y externo a la entrada y a la salida debe ser menor al 45 % del área transversal de la torre.

- Claro del bajante: Los valores recomendados se encuentran entre 1 pulg y 2,5 pulg.
- Sello del bajante: Si el sello del bajante no es obtenido, se debe considerar el uso de una mayor altura del vertedero de salida, una caja de entrada de receso o un menor espacio libre en el bajante o un bajante perfilado.
- Altura del vertedero de salida: La altura del vertedero de salida puede variar de 0 a 4 pulg, dependiendo del flujo de líquido, para producir un cabezal total de líquido en el plato en el rango de 2 a 4 pulg. Valores menores son recomendados para torres de vacío.

Es importante recalcar que no se considerará un posible cambio en la altura de la zona porque esto requiere un cambio significativo en el diseño, entre otras cosas cambiaría el NPSH de las bombas de la zona y sería necesario un nuevo diseño para las mismas.

Los cambios más significativos que contribuyen a la disminución del arrastre e inundación se realizan en la fracción de área abierta y en el ancho del bajante. A continuación se presentan las configuraciones utilizadas en la evaluación hidráulica con el programa Toolkit.

En la Tabla N° 68 se presentan las distintas configuraciones plantadas en el programa Toolkit, con un total de tres diferentes diseños. En la Tabla N° 69 se presentan los resultados más importantes de la evaluación hidráulica realizada al plato N° 6, el cual presentan los mayores flujos de vapor y líquido.

Tabla N° 68: Configuraciones planteadas en el diseño del plato N° 6 de la zona de despojamiento. Plato perforado.

PLATO N° 6			
	Diseño N° 1	Diseño N° 2	Diseño N° 3
Diámetro de la zona, pie; pulg	11	11	11
Área transversal de la torre, pie ²	95,03	95,03	95,03
65 % del diámetro de la torre, pulg	85,8	85,8	85,8
0,068*Área transversal de la torre,	6,46	6,46	6,46
Número de pasos	1	1	1
Espaciamiento de los platos, pulg	20	20	20
Área perforada, pie ²	3,761	3,761	12,4
Fracción de área abierta, %	6	6	15
Tamaño del orificio,	0,75	0,75	0,75
Tipo de bajante	Cordal	Cordal	Cordal
Área del bajante, pie ²	16,2	6,5	6,5
Longitud de la cuerda del bajante, pulg	110,7	86,3	86,3
Claro del bajante, pulg	1,5	1,5	1,5
Ancho del bajante a la entrada, pulg	30	16	16
Ancho del bajante a la salida, pulg	30	16	16
Altura del vertedero a la entrada, pulg	1,5	1,5	1,5

Tabla N° 69: Resultados de la evaluación hidráulica realizada en las distintas configuraciones del plato N° 6.

Parámetro Hidráulico	Diseño N° 1	Diseño N° 2	Diseño N° 3
Inundación, 90 % máx	149	152	152
Capacidad Máxima, 90 % máx	67	59	59
Goteo, 20 % máx	0	0	0
Arrastre, 20 % máx	1544	961	313

En la Tabla N° 68, se observa que el diseño N° 1 conserva las características de los platos que actualmente se encuentran en la zona de despojamiento. Este diseño se consideró con la finalidad de conocer sólo el comportamiento hidráulico de los platos si se varía el espaciamiento entre ellos, de 33 pulg a 20 pulg. Como puede observarse, el arrastre y la inundación poseen valores inaceptables, ocasionados por el menor espaciamiento entre los platos.

En el diseño N° 2, la modificación se plantea en el ancho de los bajantes, ya que en el diseño original, el área ocupada por los mismos era mucho mayor a la establecida en las normas de diseño ($16,2 \text{ pie}^2$ vs. $6,46 \text{ pie}^2$, correspondiente a 0,068 veces el área transversal de la torre), adicionalmente, la longitud de la cuerda del bajante es de 86,3 pie, cercano al 65 % del diámetro de la torre. La disminución del ancho de los bajantes no permite obtener valores de arrastre e inundación dentro del rango aceptable, por lo tanto no es considerado este diseño.

En el diseño N° 3, se realiza un cambio en la fracción de área abierta, aumentando de 6,2 % a 15 %. Al realizar este cambio en la configuración, se observa que los porcentajes de arrastre e inundación continúan siendo demasiado altos.

En las Tablas N° 68 y 69 se observa que a pesar de los cambios realizados, se requiere un aumento de capacidad en la zona de despojamiento, lo que implica un aumento de diámetro o la utilización de platos de mas de un paso, pues los cambios en el diseño de platos perforados no permitieron obtener los parámetros hidráulicos dentro del rango establecido.

El cambio planteado en la zona requiere la sustitución de los platos perforados existentes por otros platos. Debido a esto, se plantea sustituir los mismos por platos de válvula fija, ya que proveen mayor capacidad, eficiencia y son económicos al igual que los platos perforados.

4.5.3.3 Platos de válvula fija

En la evaluación realizada con el programa Sultray, se consiguió una configuración con los platos SVG de Sulzer Chemtech, aumentando el diámetro de la zona de despojamiento y cambiando el número de pasos de uno a dos. En la siguiente

tabla se muestra la configuración de dichos platos y en la Tabla N° 71, 72 y 73, las variables hidráulicas evaluadas para dicho plato, al procesarse los tres tipos de crudo.

Tabla N° 70: Configuración de la zona de despojamiento con platos de válvula fija SVG, de Sulzer Chemtech.

	Plato N° 1 y 2	Plato N° 3	Plato N° 4, 5 y 6
Diámetro de la zona, pie; pulg	13,2; 158	13,2; 158	13,2; 158
Área transversal de la torre, pie²	136,16	136,16	136,16
45 % Área transversal de la torre, pie²	61,27	61,27	61,27
Número de pasos	2	2	2
Espaciamiento de los platos, pulg	20	20	20
Fracción de área abierta, %	4	6	10
Tamaño del orificio,	0,75	0,75	0,75
Tipo de bajante	Mod Arc	Mod Arc	Mod Arc
Área del bajante central a la entrada y a la salida, pie²	15,34	15,34	15,34
Área del bajante externo a la entrada y a la salida, pie²	5,93	5,93	5,93
Claro del bajante, pulg	1,5	1,5	1,5
Ancho del bajante a la entrada, pulg	14	14	14
Ancho del bajante a la salida, pulg	14	14	14
Altura del vertedero a la entrada, pulg	0	0	0
Altura del vertedero a la salida, pulg	1,5	1,5	1,5

En la Tabla N° 70 se observa el incremento de diámetro de 11 pulg a 13,2 pulg. Debido al cambio de diámetro, se debe modificar el ancho de los bajantes. En los platos de dos pasos, la suma del área de entrada y salida del bajante central y externo no debe sobrepasa el 45 % del área transversal de la torre, el cual es de 61, 27 pie². De la tabla se toman estos valores y su suma resulta 40,54 pie², valor menor a 61,27 pie², por lo que se satisface esta condición.

Adicionalmente, la fracción de área abierta se aumenta de 4 %, para los platos N° 1 y 2, 6 % para el plato N °3 y 10 % para los platos N° 4, 5 y 6, ya que el flujo de vapor aumenta del plato N° 1 al N° 6 y los cambios se tornan necesarios para mantener la caída de presión de los mismos.

En las Tablas N° 71, 72 y 73 se reportan los resultados de esta configuración, obtenidos para cada uno de los crudos y para carga máxima y mínima.

Tabla N° 71: Resultados de los platos tipo válvula fija SVG, para el crudo TJM 26. Carga Máxima y Mínima.

Carga Máxima	PLATO N° 1	PLATO N° 2	PLATO N° 3	PLATO N° 4	PLATO N° 5	PLATO N° 6
Inundación, %	44	55	63	70	76	81
Goteo, %	0	0	0	0	0	0
Velocidad del bajante, %	42	52	56	58	60	62
Líquido claro en el bajante, in liq	6,85	8,09	7,28	6,54	6,87	7,24
Caída de presión seca, in H ₂ O	1,4	2,56	1,86	1,07	1,34	1,6
Caída de presión, psi	0,09	0,13	0,10	0,08	0,08	0,09
Carga Mínima	PLATO N° 1	PLATO N° 2	PLATO N° 3	PLATO N° 4	PLATO N° 5	PLATO N° 6
Inundación, %	33	41	47	53	57	61
Goteo, %	0	0	0	0	0	0
Velocidad del bajante, %	32	39	44	45	47	48
Líquido claro en el bajante, in liq	5,84	6,34	5,92	5,63	5,75	5,92
Caída de presión seca, in H ₂ O	0,81	1,48	1,09	0,63	0,78	0,94
Caída de presión, psi	0,07	0,09	0,08	0,06	0,07	0,07

Tabla N° 72: Resultados de los platos tipo válvula fija SVG, para el crudo CPG. Carga Máxima y Mínima.

Carga Máxima	PLATO N° 1	PLATO N° 2	PLATO N° 3	PLATO N° 4	PLATO N° 5	PLATO N° 6
Inundación, %	37	45	52	57	61	66
Goteo, %	0	0	0	0	0	0
Velocidad del bajante, %	41	49	55	50	62	62
Líquido claro en el bajante, in liq	6,5	7,04	6,52	6,18	6,29	6,45
Caída de presión seca, in H ₂ O	0,98	1,66	1,17	0,67	0,82	0,97
Caída de presión, psi	0,08	0,10	0,08	0,07	0,07	0,07
Carga Mínima	PLATO N° 1	PLATO N° 2	PLATO N° 3	PLATO N° 4	PLATO N° 5	PLATO N° 6
Inundación, %	27	33	38	42	45	48
Goteo, %	0	0	0	0	0	0
Velocidad del bajante, %	31	37	41	45	47	48
Líquido claro en el bajante, in liq	5,6	5,73	5,5	5,45	5,45	5,48
Caída de presión seca, in H ₂ O	0,54	0,91	0,65	0,37	0,45	0,54
Caída de presión, psi	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06

Tabla N° 73: Resultados de los platos tipo válvula fija SVG, para el crudo LRM.

Carga Máxima y Mínima.

Carga Máxima	PLATO N° 1	PLATO N° 2	PLATO N° 3	PLATO N° 4	PLATO N° 5	PLATO N° 6
Inundación, %	41	52	61	67	73	79
Goteo, %	0	0	0	0	0	0
Velocidad del bajante, %	41	51	55	57	59	61
Líquido claro en el bajante, in liq	6,7	7,99	7,21	6,5	6,86	7,27
Caída de presión seca, in H ₂ O	1,33	2,47	1,81	1,05	1,31	1,57
Caída de presión, psi	0,09	0,12	0,10	0,08	0,08	0,09
Carga Mínima	PLATO N° 1	PLATO N° 2	PLATO N° 3	PLATO N° 4	PLATO N° 5	PLATO N° 6
Inundación, %	30	38	44	49	54	58
Goteo, %	0	0	0	0	0	0
Velocidad del bajante, %	31	38	41	43	45	46
Líquido claro en el bajante, in liq	5,57	6,05	5,68	5,43	5,56	5,74
Caída de presión seca, in H ₂ O	0,73	1,35	0,99	0,57	0,71	0,86
Caída de presión, psi	0,07	0,08	0,07	0,06	0,06	0,07

Como puede observarse en las Tablas N° 71, 72 y 73, las variables hidráulicas calculadas por el programa Sultray se mantienen dentro de los rangos establecidos (ver tabla N° 10). El goteo es mínimo para los tres casos, ya que una de las características principales de estos platos es la minimización de esta limitación hidráulica.

Con respecto a la inundación, los valores se obtienen por debajo del 85 %; sin embargo, para la carga máxima y procesando el crudo TJM 26, en el plato N° 6 se observa un alto porcentaje de 81 %; a pesar de esto, se acepta el diseño, pues se considera que la carga máxima de 50 KBD constituye un límite del sistema.

En la Figura N° 14 se observa un diagrama de la zona, al colocarse los seis platos de válvula fija. Además del diseño de los platos, se debe completar el diseño total de la zona, ya que se cambió el diámetro de la misma hasta satisfacer las variables hidráulicas de la zona de despojamiento, entre ellos, se debe diseñar el

distribuidor de vapor, el plato de chimenea que se recomienda colocar por encima de la zona para la buena distribución de la alimentación líquida, calcular el nuevo ángulo de la torre en la zona de cambio de diámetro, señalar la ubicación y dimensión de las bocas de visita y de las tomas de instrumentos, así como el diámetro de las boquillas de alimentación y retiro.

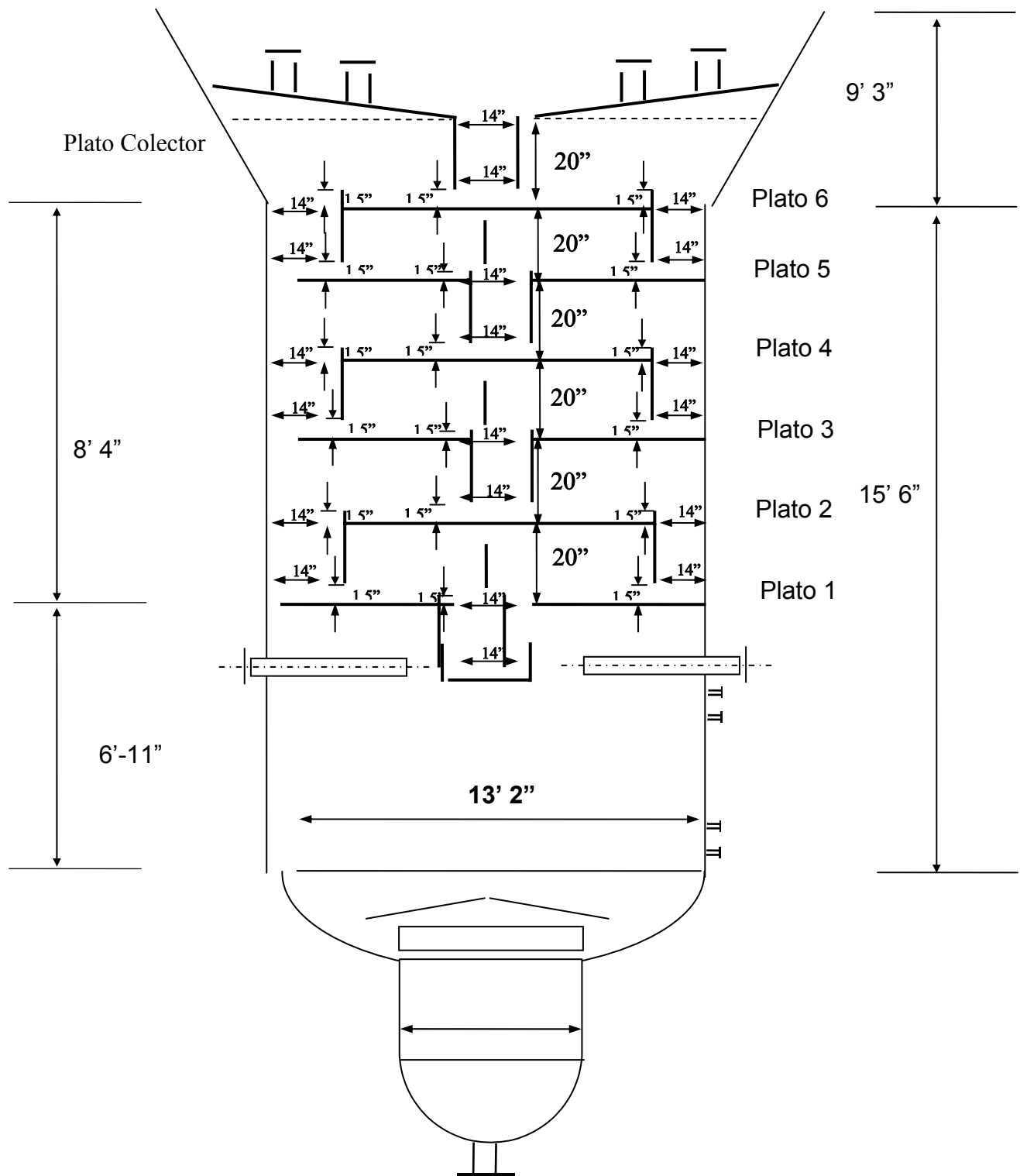


Figura N° 14: Diagrama descriptivo de la zona de despojamiento de la torre de vacío T-100X de PVAY-2, al colocar seis platos tipo válvula fija.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

Simulación del sistema

- La torre T-100X está representada en la simulación por un total de ocho etapas teóricas.
- La eficiencia promedio de la zona de fraccionamiento Tope - Cabecera es de 66 %, de la zona Cabecera - Corte Lateral N° 1 y Corte Lateral N ° 2 - Corte Lateral N° 3 es de 50 % y de la zona Corte Lateral N° 2 - Corte Lateral N° 3 y la zona de despojamiento es 25 %.
- El modelo termodinámico de Grayson - Streed y los métodos seleccionados para el cálculo de propiedades empleados en la simulación, relacionados directamente con el método termodinámico, son adecuados para predecir el comportamiento de la torre, bajo las condiciones de operación del sistema.
- En todas las simulaciones se obtienen muy bajos porcentajes de desviación en el flujo de retiro de fondo de vacío (< 1 %), ya que los otros productos por lo general se especificaban en la simulación, lo que significa que el balance de masa hecho por el simulador aporta resultados confiables.
- Los mayores porcentajes de desviación (entre 0,3 % y 5,5 %), se obtuvieron en las temperaturas de las etapas de la torre, hecho debido posiblemente a que la temperatura de una etapa en la simulación, corresponde a la de varios platos en la operación real de la torre.
- El overlap entre los distintos cortes y al procesarse los tres crudos, es mayor a 100 °F, lo que evidencia el pobre fraccionamiento entre los cortes en la actualidad.

- El simulador PRO - II with PROVISION, reproduce satisfactoriamente la operación real de la torre T-100X, al procesarse los crudos TJM 26, CPG y LRM, y es una herramienta confiable para realizar evaluaciones del sistema.

Evaluación Hidráulica

- El problema hidráulico presentado en la zona de despojamiento es la alta caída de presión en todos los platos, para todas las cargas y al procesarse los tres crudos; además de arrastre a carga máxima en el plato N° 4 e inundación para el crudo TJM 26 y LRM.
- La capacidad actual de los platos de la zona de despojamiento no es suficiente para manejar las cargas de líquido y vapor a la zona.
- En los platos de la zona de fraccionamiento Corte Lateral N° 3 - Corte Lateral N° 2, se presenta ahogamiento a la entrada del bajante y alta caída de presión en el plato N° 6D para todos los crudos y cargas. El plato N° 6A suele presentar los mismos problemas a carga máxima.
- El bajante central y externo de la zona de fraccionamiento Corte Lateral N° 3 - Corte Lateral N° 2, presenta un área de salida insuficiente para los altos flujos de líquido manejados a todas las cargas y para todos los crudos.
- Los platos tipo jet del pumparound principal no presentan ningún tipo de problema hidráulico para todas las cargas y al procesarse los tres tipos de crudo.
- En los platos de la zona de fraccionamiento Corte Lateral N° 1 - Cabecera, se observa un ligero porcentaje de arrastre carga máxima y lloriqueo carga mínima, para todos los crudos.

- En los platos de la zona Cabecera - Tope se presenta lloriqueo en el plato N° 11 a carga mínima para todos los crudos y a carga operacional para el CPG y LRM.
- Los crudos TJM 26, CPG y LRM no presentan las mismas limitaciones hidráulicas a las mismas cargas, debido a que las propiedades de los mismos son diferentes, así como los flujos de líquido y vapor por plato.

Diseño de la nueva configuración para la zona de despojamiento

- El incremento de una a dos etapas en la zona de despojamiento, al procesarse los tres tipos de crudo y a carga máxima y mínima, ocasiona una mayor producción del corte lateral N° 3, manteniendo las especificaciones de calidad del mismo, así como una menor producción del fondo de vacío y una disminución de la gravedad API del mismo.
- Al colocar dos etapas en la zona de despojamiento en la simulación, se observa una disminución en el overlap entre el corte lateral N° 3 y el fondo de vacío, así como un incremento en el punto de corte entre estos dos productos.
- No es posible realizar un nuevo diseño en la zona de despojamiento con seis platos perforados, debido a los problemas de arrastre e inundación.
- El nuevo diseño de la zona de despojamiento involucra un aumento de diámetro, así como la utilización de platos de dos pasos tipo válvula fija SVG de Sulzer, el cual permite mantener todas las variables hidráulicas dentro del rango, para carga máxima y mínima y al procesarse los tres tipos de crudo.

CAPÍTULO VI. RECOMENDACIONES

- Inspeccionar los manómetros y los medidores de flujo, a la entrada de la corriente de vapor a los despojadores laterales de la torre T-100X. Sustituir los que se encuentran en mal estado.
- Instalar indicadores de temperatura en la corriente de vapor de despojamiento de los despojadores laterales.
- Revisar los medidores de flujo de los pumparound superior y principal, debido a que presentan mal calibrado.
- Realizar las evaluaciones hidráulicas de la torre T-100X antes de cada parada programada de planta, con la finalidad de realizar las modificaciones necesarias a los internos de la torre y así evitar problemas hidráulicos.
- Solicitar a INTEVEP la realización de las curvas de viscosidad de los productos de la torre T-100X, con el propósito de simular la unidad con esta información, pues la viscosidad es una de las propiedades más importantes de los cortes con propósito lubricantes.
- Realizar la simulación de la torre T-100X con la curva de destilación de los productos, al procesarse el crudo CPG y LRM, de manera similar a la realizada con el crudo TJM 26.
- Realizar un estudio que permita obtener una correlación para calcular el flujo de vapor de despojamiento para los cortes laterales de la torre T-100X, con la finalidad de evitar en la simulación, la iteración con éste valor.

- Realizar las modificaciones necesarias a los internos de la torre T-100X con la finalidad de minimizar las limitaciones hidráulicas observadas en la evaluación realizada recientemente.
- Realizar la validación del número de etapas teóricas de la torre de destilación atmosférica ya que se obtienen porcentajes de desviación ligeramente altos entre las curvas de destilación de laboratorio y las curvas de destilación generadas por PRO- II para los productos de la torre atmosférica.
- Terminar el diseño de la zona de despojamiento, el cual implica diseñar el distribuidor de vapor, el plato de chimenea que se recomienda colocar por encima de la zona, calcular el nuevo ángulo de la torre en la zona de cambio de diámetro, señalar la ubicación y dimensión de las bocas de visita y de las tomas de instrumentos, así como el diámetro de las boquillas de alimentación y retiro.
- Evitar la operación de la torre T-100X a cargas cercanas a la máxima, ya que las limitaciones hidráulicas observadas en la evaluación a altas cargas de vapor y líquido, pueden provocar problemas para alcanzar las especificaciones de calidad de los productos, al procesarse los tres tipos de crudo.
- Realizar la evaluación hidráulica de la zona de lavado para verificar su correcta operación a todas la cargas manejadas y al procesarse los tres crudos.

CAPÍTULO VII. BIBLIOGRAFÍA

CHINCA, J. “Informe post-reparación de PSAY- y PVAY-2 (Agosto 2000)”. Nota técnica de PDVSA N° AMGIP – 00 – 2355. Amuay. 2000

GARCÍA, L. "Modificaciones de la torre de vacío T-100X de PVAY-2 (Enero 2001)". Nota técnica de PDVSA N° AMGIP – 01 – 0461. Amuay. 2001

GARY, J y Glenn E. “Petroleum Refining: Technology and Economics”. Marcel Decker Inc. New York. 1980

GOMEZ, A. “Modificaciones de la sección de despojamiento de las torres de vacío T-101/T-151 de las plantas PVAY 3/4 del Centro de Refinación Paraguaná Amuay” Universidad Metropolitana. Área de pregrado. Escuela de Ingeniería Química. Caracas. 2001

GRUSE, W. “Tecnología química del petróleo”. Editorial Omega. Capítulo 4. Barcelona. 1964

HERRERA, F. “Estudio de restricciones de las torres absorbadora, desbutanizadora y despropanizadora de la Planta de Gas 2 (PG-2) del Complejo de Desintegración Catalítica del Centro de Refinación Paraguaná – Cardón”. Universidad Central de Venezuela. Área de pregrado. Caracas. 2000

HINES, Antony y Robert Maddox. “Transferencia de masa”. Editorial Prentice Hall. México. 1987

INFANTE, H. y Marling Guedez “Evaluación hidráulica de las torres de fraccionamiento PSAY-1 y PSAY/PVAY-2”. Nota técnica de PDVSA N° AMGIP – 00 – 2208. Amuay. 2000

INFANTE H. “Determinación de las limitaciones de la refraccionadora de nafta (NRAY) de la Refinería de Amuay a máxima carga. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. Área de Postgrado. Dirección de postgrado del área de tecnología. Paraguaná. 1997.

KING, J. “Procesos de separación”. Editorial REPLA S. A. Capítulo 1. México. 1998

KISTER, H. “Distillation Design”. Editorial Mc Graw Hill. USA. 1992

LIEBERMAN, N y Elizabeth Lieberman. “A Working Guide to Process Equipment”. Editorial Mc Graw Hill. Capítulos 1, 2 y 3. San Francisco. 1987

NELSON, W. “Petroleum Refinery Engineering”. Editorial Mc Graw Hill. Capítulo 3, 4 y 7, USA, 1958

OROPEZA, A. “Evaluación del sistema de desechos de las plantas del PARC en el Centro de Refinación Paraguaná”. Universidad Central de Venezuela. Área de pregrado. Caracas. 2000

PALACIOS, E. “Recuperación de butano en las plantas fraccionadoras de nafta NFAY 1/2 del Centro de Refinación Paraguaná. Universidad Simón Bolívar. Área de pregrado. Caracas. 2001.

PAREDES, Luis y Plinio Arana. “Diagrama de restricciones de la torre Absorbedora (C-1) de la Planta de Gas 2 de la Refinería Cardón. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda, Área de postgrado, Dirección de postgrado del área de Tecnología. Punto Fijo. 1994.

PDVSA, “Ensayo de productos combustibles, crudo CPG”. Prueba de Laboratorio N° AM-LAB-80-0062. Refinería de Amuay. 1980

PDVSA, “Ensayo de productos combustibles, crudo La Rosa Mediano”. Prueba de Laboratorio N° AM-LAB-98-1827. Refinería de Amuay. 1998

PDVSA, “Ensayo de productos combustibles, mezcla TJM26/TJL/TJ102”. Prueba de Laboratorio N° AM-LAB-95-0064. Refinería de Amuay. 1995

PDVSA, “Manual de Diseño de Procesos: Torres Fraccionadoras”. Los Teques. 1995

PDVSA, “Manual de Operaciones de las Plantas de Destilación N° 1 y N° 2 de la Refinería de Amuay”. Punto Fijo. 1995

PDVSA CIED. “Manual de Control de Calidad de Producto”. Escuela Corporativa de Ingeniería de Procesos”. 1995

PDVSA, “Tecnología del Petróleo”. Punto Fijo. 1995

PDVSA, CIED, “Química del petróleo y fuentes de información”. Punto Fijo. 1992

RINCÓN, Carlos y Meriño Francisco. “Estudio de factibilidad técnica para usar gasolina de recontacto como aceite pobre en la columna absorbadora para incrementar la recuperación de propano/propileno del Complejo de Craqueo Catalítico de la Refinería Cardón”. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda, Área de postgrado. Dirección de postgrado del área de Tecnología. Coro. Diciembre.1995

SIMSCI Inc. “Hydrocarbon Distillation (versión 5.1)”. USA. 1996

SIMSCI Inc. "Keyword Input Manual Simulation (versión 5.1)". USA. 1996

SIMSCI Inc. "Getting Started (versión 5.1)". USA. 1996

Sulzer Chemtech, "Manual de productos Sulzer". USA. 2000

TREYBAL, R "Operaciones de Transferencia de Masa". Editorial Mc Graw Hill. México. 1980

TROMPIZ, C " Modificaciones de la torre T-100X de PVAY-2" Especificación de procesos N° 49-93. Amuay. 1993

TROMPIZ, C " Modificaciones de los platos 6A, 6B, 6C y 6D de la torre T-100X de PVAY-2" Especificación de procesos N° 82-89. Amuay. 1989

TROMPIZ, C " Informe post-reparación de PVAY-2 (Junio 1996 - Enero 1997)"
Nota técnica N° 43-51. Amuay. 1997

WATKINS, R. "Petroleum Refinery Distillation". Editorial Mc Graw Hill. Capítulo 2 y 3. USA, 1978

CAPÍTULO VIII. APÉNDICES

Apéndice A. Esquemas de la distribución de las etapas teóricas de la torre de vacío T-100X, de la Planta de Destilación de Vacío PVAY-2.

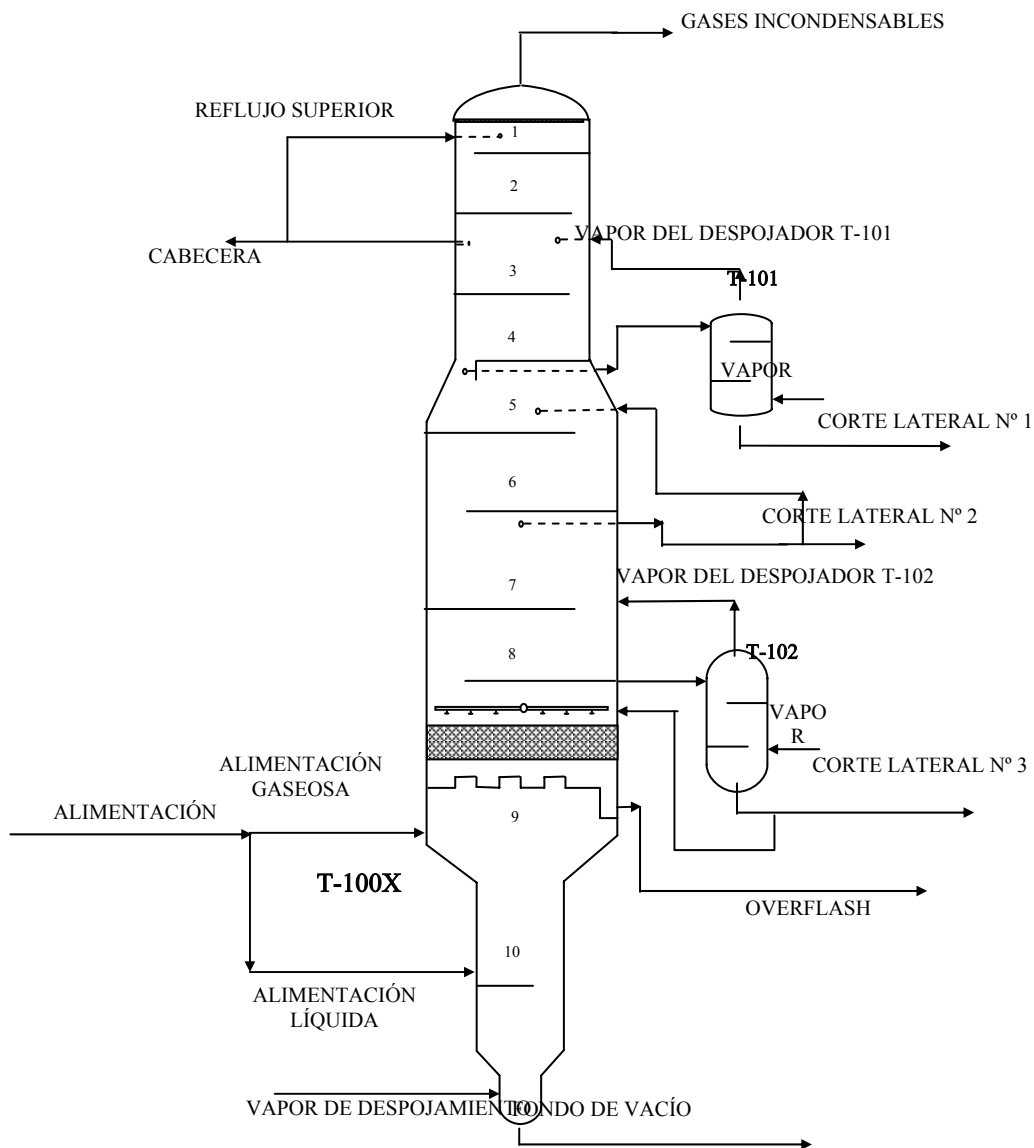


Figura N° 15: Distribución de las diez etapas teóricas para la simulación de la torre T-100X en PRO-II with PROVISION.

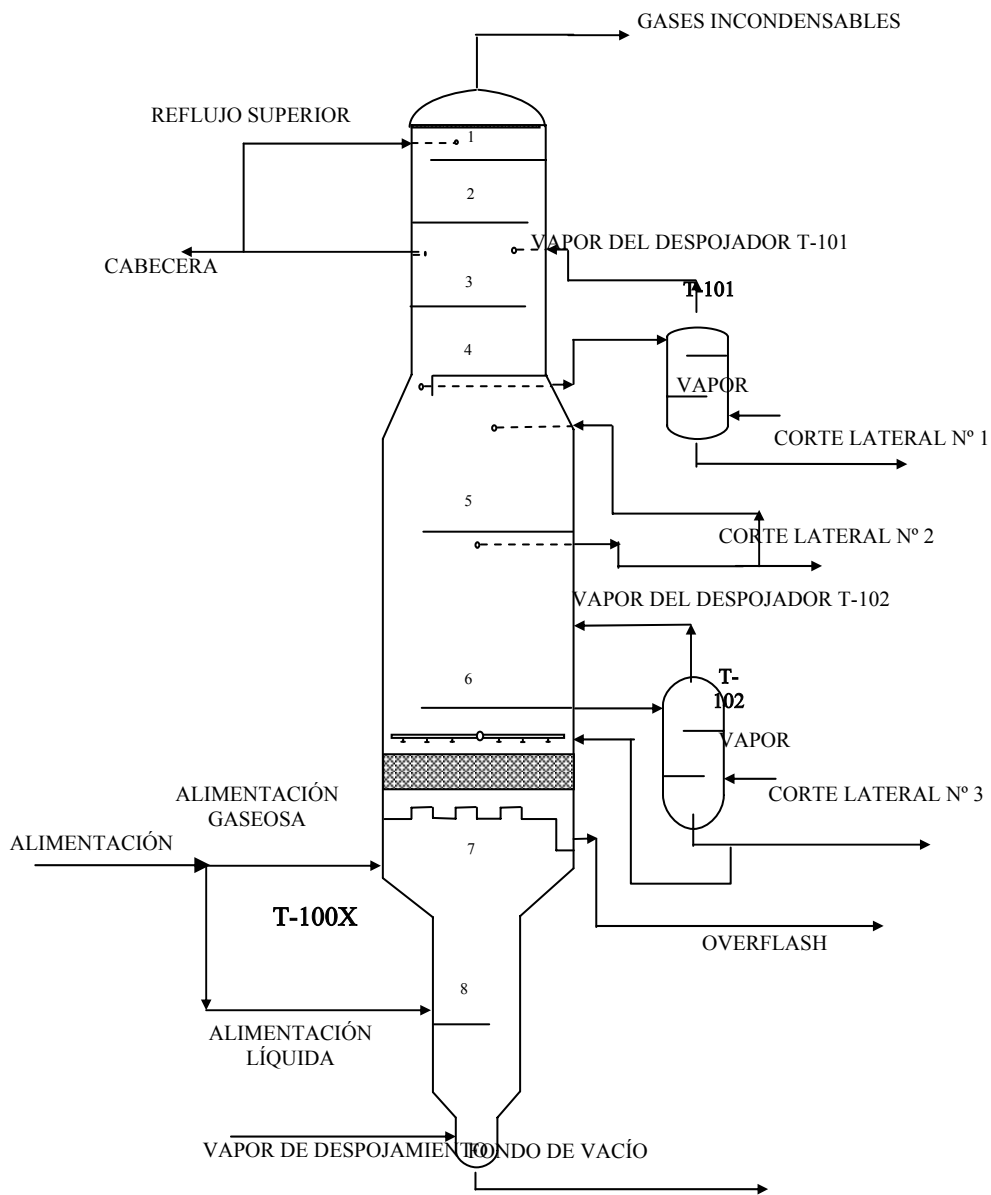


Figura N° 16: Distribución de las ocho etapas teóricas para la simulación de la torre T-100X en PRO-II with PROVISION.

Apéndice B. Datos operacionales utilizados para la simulación de la torre T-100X, de la Planta de Destilación de Vacío PVAY-2.

1. DATOS DE LAS CORRIENTES

➤ **Corrientes de alimentación a la unidad**

Crudo Tía Juana Medio 26: La alimentación es definida como una serie de corrientes alimentadas a un mezclador, como se observa en la Figura 27. Se caracteriza la alimentación de la unidad de Destilación de vacío como *Petroleum Assay*, ya que se trata de corrientes de hidrocarburos.

Tabla N° 74: Resultados de las destilaciones ASTM D-2887 realizadas a los distintos productos obtenidos de PVAY-2, al procesarse el crudo TJM 26.

Porcentaje Recuperado, %	Temperatura, °F				
	Cabecera	Corte Lateral N°1	Corte Lateral N°2	Corte Lateral N°3	Fondo de Vacío
5	476	665	691	780	853
10	521	695	728	817	902
20	566	730	769	861	954
30	603	755	795	888	989
40	630	775	817	909	-----
50	653	793	838	926	-----
60	675	810	857	941	-----
70	697	829	876	958	-----
80	722	851	895	978	-----
90	755	877	920	1003	-----
95	778	895	937	1022	-----

Tabla N° 75: Datos necesarios para la caracterización de la alimentación a PVAY-2. Crudo TJM 26.

	Cabecera	Corte Lateral N°1	Corte Lateral N°2	Corte Lateral N°3	Fondo de Vacío
Presión, psia	10	10	10	10	10
Temperatura, °F	100	100	100	100	100
Flujo, BD	5298	6058	4210	2906	25968
Flujo max, BD	5961	6816	4737	3270	29217
Flujo min, BD	4500	5180	3600	2485	22205
° API	25.6	20.0	18.3	14.2	8.7

Crudo de Propósitos Generales: La alimentación es definida con la curva de destilación del fondo atmosférico de PSAY-2. En la Figura N° 28 se observa el esquema de la simulación para este crudo.

Tabla N° 76: Datos necesarios para la caracterización de la alimentación a la Unidad de Destilación de Vacío PVAY-2. Crudo CPG.

Temperatura. °F	100
Presión, psia	10
Flujo (op/max/min), BD	46340/50000/38000
Gravedad API, °API	14.7
Curva de destilación, TBP peso	
Porcentaje destilado, % peso	Temperatura, °F
5	650
10	720
20	780
30	860
40	940
50	1030
60	1120
70	1205
80	1290
90	1370
95	1420
Curva de Vanadio, ppm	
Porcentaje destilado, % peso	Contenido de Vanadio, ppm
0.0	0.000
35.5	0.370
44.8	0.515
52.6	4,000
58.0	15,00
62.5	37,00
100	426,0

Crudo La Rosa Mediano: La alimentación es definida con la curva de destilación del crudo LRM. Los datos presentados en la Tabla N° 77 se especifican en la corriente de alimentación de la torre atmosférica. En la Figura N° 29 y 30 se observa el esquema de la simulación para este crudo.

Tabla N° 77: Datos necesarios para la caracterización de la alimentación a la unidad de Destilación de vacío PVAY-2. Crudo LRM.

Temperatura, °F	100
Presión, psia	10
Flujo (op/max/min), BD	70010/125000/65000
Gravedad API, °API	23.6
Destilación TBP, peso	
Porcentaje destilado, % peso	Temperatura, °F
5	196
10	318
20	461
30	568
40	680
50	780
60	861
70	930
80	1003
Ligeros	
Porcentaje de la muestra, % peso	0.910
Metano	0.002
Etano	0.107
Propano	0.400
Isobutano	0.120
Butano	0.228
Isopentano	0.032
Pentano	0.013
Hexano	0.010
Neopentano	0.001

- Flujos de vapor de despojamiento y de gases craqueados alimentados a la torre de vacío T-100X.

Tabla N° 78: Corriente de vapor alimentada a los pases del horno F-100 (en la simulación se alimenta al separador flash).

Crudo	TJM 26	CPG	LRM
Temperatura, °F	480	480	480
Presión, psia	154.7	154.7	154.7
Flujo (op/max/min), lb/h	1688/1899/1443	1523/1643/1249	1374/1679/1276
Composición en peso	100 % Agua	100 % Agua	100 % Agua

Tabla N° 79: Corriente de los gases productos del craqueo en el horno F-100, alimentada al separador flash de la torre T-100X.

Crudo	TJM 26	CPG	LRM
Temperatura, °F	100	100	100
Presión, psia	10	10	10
Flujo(op/max/min), lb/h	620/698/530	764/824/626	555/679/516
Composición, fracción molar			
Etano	0.75		
Propano	0.25		

Tabla N° 80: Corriente de vapor de despojamiento alimentado a la torre T-100X.

Crudo	TJM 26	CPG	LRM
Temperatura, °F	556	576	532
Presión, psia	32.7	32.7	32.7
Flujo(op/max/min), lb/h	9500/9500/7000	8706/9500/7000	9500/9500/7000
Composición en peso	100 % Agua	100 % Agua	100 % Agua

Tabla N° 81: Corriente de vapor de despojamiento alimentado a los despojadores laterales T-101 y T-102.

Crudo	TJM 26		CPG		LRM	
	T-101	T-102	T-101	T-102	T-101	T-102
Despojador						
Temperatura, °F	556	556	576	576	532	532
Presión, psia	32.7	32.7	32.7	32.7	32.7	32.7
Flujo(op/max/min), lb/h	0.01	1500	0.01	1500	0.1	0.1
Composición en peso	100 % Agua	100 % Agua	100 % Agua	100 % Agua	100% Agua	100 % Agua

Tabla N° 82: Corriente de vapor de despojamiento alimentado a la torre atmosférica T-1X, al procesarse el crudo LRM.

Temperatura, °F	465
Presión, psia	44.696
Flujo (op/max/min), lb/h	10500/18000/9700
Composición en peso	100 % Agua

Tabla N° 83: Corriente de vapor de despojamiento alimentado a los despojadores laterales de la torre atmosférica T-1X, al procesarse el crudo LRM.

Despojador	T2-X	T3-X	T4-X
Temperatura, °F	465	465	465
Presión, psia	44.696	44.696	44.696
Flujo (op/max/min), lb/h	2500	2000	50
Composición en peso	100 % Agua	100 % Agua	100 % Agua

2. DATOS DE LAS UNIDADES

➤ Separador Flash de la torre de vacío T-100X

Tabla N° 84: Datos del separador flash de la torre de vacío T-100X.

Crudo	TJM 26	CPG	LRM
Presión, psia	2.397	2.520	2.720
Temperatura, °F	754	760	753
Fase de las corrientes de salida			
AGPV2 (Corriente gaseosa a la salida del despojador)	Vapor		
ALPV2 (Corriente líquida a la salida del despojador)	Líquido		

➤ Torre de Destilación de Vacío T-100X

a. Datos Generales

Tabla N° 85: Datos generales para la simulación de la torre de vacío T-100X.

Número de Etapas teóricas	8
Número de Iteraciones	30
Algoritmo de cálculo	Inside-Out
Fases calculadas	Líquido-vapor
Factor de damping	0.8

b. Perfil de presiones

Tabla N° 86: Perfil de presión en la torre T-100X.

Etapa Teórica	Presión, psia		
	Crudo TJM 26	Crudo CPG	Crudo LRM
1	1.449	1.65	1.35
7	2.397	2.520	2.720
8	2.680	2.665	2.900

c. Alimentaciones y productos

Corrientes de alimentación

Tabla N° 87: Etapas de alimentación en la simulación de la torre T-100X.

Alimentación	Etapa teórica
Líquido del separador flash	8
Vapor del separador flash	7
Vapor de despojamiento a la torre de vacío	8
Vapor del despojador lateral T-101	3
Vapor del despojador lateral T-102	6

Corrientes de producto

Tabla N° 88: Alimentaciones y productos de la torre T-100X.

Producto	Etapa teórica	Flujo (op/max/min), BD		
		Crudo TJM 26	Crudo CPG	Crudo LRM
Gases del tope	1	-----	-----	-----
Cabecera	2	5298/5961/4530	5507/5942/4516	4424/5405/4108
Corte Lateral N°1	4	6058/6816/5180	5589/5700 ¹ /4583	4293/5245/3986
Corte Lateral N°2	5	4210/4737/3600	4334/4676/3554	5215/6371/4842
Corte Lateral N°3	6	2906/3270/2485	3609/3894/2700 ²	3665/4478/3403
Overflash	7	1569/1765/1342	2645/2854/2169	1775/2169/1648
Fondo de Vacío	8	25968/29217/22205	25155/26604/20628	21554/26334/20013

d. Estimados Iniciales

Tabla N° 89: Estimados iniciales para la simulación de la torre T-100X.

Crudo	TJM 26	CPG	LRM
Método de estimados iniciales	Refinería	Refinería	Refinería
Temperatura de la etapa de tope, °F	150	137	132
Temperatura de la etapa de fondo, °F	754	760	753
Temperatura de la etapa 4, °F	575	588	579

e. Pumpharounds

Tabla N° 90: Pumpharounds de la torre T-100X.

Pumpharound N°	Etapa de salida	Etapa de entrada	Flujo (op/max/min), BD		
			Crudo TJM 26	Crudo CPG	Crudo LRM
1	2	1	35000/39379/29928	29557/31891/24238	28550/34881/26509
2	5	5	29504/33195/25228	30013/32383/24611	19726/24100/18316

¹ El valor correspondiente a carga máxima es de 6030 BD; sin embargo, se especificó este valor ya que para el anterior, el plato de retiro del mismo se secaba y en esta situación, la simulación no converge.

² El valor correspondiente a carga mínima es de 2959 BD; sin embargo, se especificó este valor ya que para el anterior, el plato de retiro del mismo se secaba y en esta situación, la simulación no converge.

f. Especificaciones

Tabla N° 91: Especificaciones y variables en la simulación de la torre T-100X.
Carga operacional. Crudo TJM 26*

Especificación	Variable
Temperatura de la etapa 1 de la torre T-100X, = 150 °F	Calor del pumparound N° 1
Flujo del producto Corte Lateral N° 3 (de todos los componentes y en base húmeda) = 2906 BD	Flujo de retiro de la corriente de Corte Lateral N° 3
Flujo de Overflash (de todos los componentes y en base húmeda) = 1569 BD	Flujo de retiro de la corriente de Overflash
Flujo del producto Corte Lateral N° 2 (de todos los componentes y en base húmeda) = 4210 BD	Flujo de retiro de la corriente de Corte Lateral N° 2
Flujo del producto de Cabecera (de todos los componentes y en base húmeda) = 5298 BD	Flujo de retiro de la corriente de Cabecera
Flujo del producto Corte Lateral N° 1 (de todos los componentes y en base húmeda) = 6058 BD	Flujo de retiro de la corriente de Corte Lateral N° 1
Flujo de líquido de la etapa 4 de la columna T-100X (de todos los componentes y en base húmeda) = 1 BD	Calor del pumparound N° 2

Tabla N° 92: Especificaciones y variables en la simulación de la torre T-100X.
Carga Operacional. Crudo CPG.

Especificación	Variable
Temperatura de la etapa 1 de la torre T-100X, = 150 °F	Calor del pumparound N° 1
Flujo del producto Corte Lateral N° 3 (de todos los componentes y en base húmeda) = 3609 BD	Flujo de retiro de la corriente de Corte Lateral N° 3
Flujo de líquido de la etapa 7 de la columna T-100X (de todos los componentes y en base húmeda) = 1 BD	Flujo de retiro de la corriente de Overflash
Flujo del producto Corte Lateral N° 2 (de todos los componentes y en base húmeda) = 4334 BD	Flujo de retiro de la corriente de Corte Lateral N° 2
Flujo del producto de Cabecera (de todos los componentes y en base húmeda) = 5007 BD	Flujo de retiro de la corriente de Cabecera
Flujo del producto Corte Lateral N° 1 (de todos los componentes y en base húmeda) = 5589 BD	Flujo de retiro de la corriente de Corte Lateral N° 1
Flujo de líquido de la etapa 4 de la columna T-100X (de todos los componentes y en base húmeda) = 1 BD	Calor del pumparound N° 2

* Para carga máxima y carga mínima y para todos los crudos, los flujos especificados corresponden a los dados en la Tabla N° 88.

Tabla N° 93: Especificaciones y variables en la simulación de la torre T-100X. Crudo LRM.

Especificación	Variable
Temperatura de la etapa 1 de la torre T-100X, = 132 °F	Calor del pumparound N° 1
Flujo de retiro de Corte Lateral N° 3 (de todos los componentes y en base húmeda) = 3665 BD	Flujo de retiro de la corriente de Corte Lateral N° 3
Flujo de retiro de Overflash (de todos los componentes y en base húmeda) = 1775 BD	Flujo de retiro de la corriente de Overflash
Flujo de retiro de Corte Lateral N° 2 (de todos los componentes y en base húmeda) = 5215 BD	Flujo de retiro de la corriente de Corte Lateral N° 2
Flujo de retiro de Cabecera (de todos los componentes y en base húmeda) = 4424 BD	Flujo de retiro de la corriente de Cabecera
Flujo de líquido de la etapa 4 de la columna T-100X (de todos los componentes y en base húmeda) = 1 BD	Calor del pumparound N° 2

➤ **Despojadores laterales T-101 y T-102 de la torre de vacío T-100X**

a. Datos Generales

Tabla N° 94: Número de etapas de los despojadores laterales T-101 y T-102.

Número de Etapas	2
Factor de damping	0.8
Método de estimados iniciales	Refinería

b. Perfil de presiones

Tabla N° 95: Perfil de presiones de los despojadores laterales T-101 y T-102.

Crudo	TJM 26		CPG		LRM	
	T-101	T-102	T-101	T-102	T-101	T-102
Presión de la etapa del tope, psia	1.860	2.408	1.795	2.375	1.570	2.460

c. Alimentaciones y productos

Corrientes de alimentación

Tabla N° 96: Etapas de alimentación en los despojadores laterales T-101 y T-102.

DESPOJADOR T-101		DESPOJADOR T-102	
Alimentación	Etapas teóricas	Alimentación	Etapas teóricas
Corte Lateral N°1	1	Corte Lateral N°3	1
Vapor de despojamiento T-101	2	Vapor de despojamiento T-102	2

Corrientes de producto

Tabla N° 97: Flujos de los productos de los despojadores laterales T-101 y T-102.

DESPOJADOR T-101				
Producto	Etap teórica	Flujo op/max/min), BD		
		TJM 26	CPG	LRM
Corte Lateral N°1	2	6058/6816/5180	5589/5700/4583	4293/5245/3986
Vapor a la torre T-100X	1	-----	-----	-----
DESPOJADOR T-102				
Producto	Etap teórica	Flujo (op/max/min), BD		
		TJM 26	CPG	LRM
Corte Lateral N°3	2	2906/3270/2485	3609/3894/2700	3665/4478/3403
Vapor a la torre T-100X	1	-----	-----	-----

d. Especificaciones

Las especificaciones para las columnas laterales son las mismas que las de la torre principal.

➤ **Separador Flash de la torre atmosférica T-1X**

Tabla N° 98: Datos del separador flash de la torre atmosférica T-1X.

Presión, psia	26.94
Temperatura, °F	650
Fase de las corrientes de salida	
AGPV2 (Corriente gaseosa a la salida del despojador)	Vapor
ALPV2 (Corriente líquida a la salida del despojador)	Líquido

➤ **Torre de destilación atmosférica T-1X**

a. Datos Generales

Tabla N° 99: Datos de la torre de destilación atmosférica T-1X.

Número de Etapas	16
Número de Iteraciones	50
Algoritmo	Inside-Out
Fases calculadas	Líquido-vapor
Factor de damping	0.8

b. Perfil de presiones

Tabla N° 100: Perfil de presión en la torre T-1X.

Etapas Teóricas	Presión, psia
1	24.200
2	26.900
16	30.000

c. Alimentaciones y productos

Corrientes de alimentación

Tabla N° 101: Etapas de alimentación en la simulación de la torre T-1X.

Alimentación	Etapas teóricas
Líquido del separador flash	16
Vapor del separador flash	15
Vapor de despojamiento a la torre atmosférica	16
Vapor del despojador lateral T-101	13
Vapor del despojador lateral T-102	10
Vapor del despojador lateral T-102	5

Corrientes de producto

Tabla N° 102: Alimentaciones y productos de la torre T-1X.

Producto	Etapas teóricas	Flujo (op/max/min), BD
Gases de tope	1	---
Nafta	1	8130/14516/7548
Corte lateral N°3	14	2187/3905/2030
Corte lateral N°2	11	13036/23275/12103
Corte lateral N°1	6	5174/9238/4804
Agua	1	---
Fondo atmosférico	16	40952/73118/38021
Pseudoproducto	2	---

d. Condensador

Tabla N° 103: Datos del condensador de tope de la torre atmosférica T-1X.

Tipo de condensador	Parcial
Presión, psia	24.2
Temperatura estimada, °F	77.7

e. Estimados Iniciales

Tabla N° 104: Estimados iniciales para la simulación de la torre T-1X.

Método de estimados iniciales	Refinería
Temperatura del condensador, °F	77.7
Temperatura de la etapa de tope, °F	284
Temperatura de la etapa de fondo, °F	650
Temperatura de la etapa 5, °F	353
Temperatura de la etapa 10, °F	522
Temperatura de la etapa 14, °F	621

f. Pumparounds

Tabla N° 105: Pumparounds de la torre T-1X.

Pumparound N°	Etapas de salida	Etapas de entrada	Flujo (op/max/min), BD	Temperatura de retorno, °F
1	8	7	28270/50475/26247	-----
2	12	12	24237/43274/22503	455

g. Especificaciones

Tabla N° 106: Especificaciones y variables en la simulación de la torre T-1X.

Especificación	Variable
Flujo de líquido de la etapa 6 de la columna T-1X (de todos los componentes y en base húmeda) = 1 BD	Flujo de retiro de la corriente de Corte lateral N° 1
Temperatura de la etapa 1 de la torre T-1X = 77.7 °F	Calor del condensador de la columna T-1X
Temperatura de la etapa 7 de la torre T-1X = 340 °F	Flujo de retiro de la corriente de Corte Lateral N°2
Flujo de retiro de Heating Oil (de todos los componentes y en base húmeda) = 13036 BD	Flujo de retiro de la corriente de Corte Lateral N°3
Flujo de retiro de Diesel (de todos los componentes y en base húmeda) = 2187 BD	Calor del pumparound N° 2
Temperatura correspondiente al 95 % en volumen de la destilación D86 para la corriente de Nafta = 340 °F	Flujo de retiro de la corriente de Nafta

➤ Despojadores laterales T-2X, T-3X y T4X, de la torre atmosférica T-1X

a. Datos Generales

Tabla N° 107: Número de etapas de los despojadores laterales T-101 y T-102.

Número de Etapas	2
Factor de damping	0.8
Método de estimados iniciales	Refinería

b. Perfil de presiones

Tabla N° 108: Perfil de presiones de los despojadores laterales T-101 y T-102.

Despojador	T-2X	T-3X	T-4X
Presión de la etapa del tope, psia	26.40	26.72	26.98

c. Alimentaciones y productos

Corrientes de alimentación

Tabla N° 109: Etapas de alimentación en los despojadores T-2X, T-3X y T-4X.

DESPOJADOR T-2X		DESPOJADOR T-3X		DESPOJADOR T-4X	
Alimentación	Etapas teóricas	Alimentación	Etapas teóricas	Alimentación	Etapas teóricas
Corte lateral N° 1	1	Corte lateral N° 2	1	Corte lateral N° 3	1
Vapor de despojamiento T-2X	2	Vapor de despojamiento T-3X	2	Vapor de despojamiento T-4X	2

Corrientes de producto

Tabla N° 110: Etapas de alimentación en los despojadores laterales T-2X, T-3X y T-4X.

Producto	Etapas teóricas	Flujo, BD
DESPOJADOR T-2X		
Vapor a la torre T-100X	1	-----
Kerosén	2	5174
DESPOJADOR T-3X		
Vapor a la torre T-100X	1	-----
Heating Oil	2	13036
DESPOJADOR T-4X		
Vapor a la torre T-100X	1	-----
Diesel	2	2187

d. Especificaciones

Las especificaciones para las columnas laterales son las mismas que las de la torre principal.

➤ Splitter

La especificación dada al separador SP1 es que 40925 BD de la corriente FAP2, que representa el fondo de vacío total de la torre, se envíe como alimentación a la torre de vacío. En la operación real de la planta, el resto del fondo es enviado al tambor de compensación D-101 o a las plantas de desintegración catalítica o al flexicoquer.

Apéndice C. Cálculos Tipo.

1. **Flujo de vapor de los gases craqueados producto de las altas temperaturas en el horno.**

$$F_C = \frac{0,5 * \text{Exp}[0,0277 * (T_{ZVI} - 725)] * F_A}{24} \quad (6)$$

Donde:

F_C : Flujo de gases craqueados producto de las altas temperaturas en el horno, BD

T_{ZVI} : Temperatura de la zona de vaporización instantánea, °F

F_A : Flujo de alimentación a la torre de destilación de vacío, BD

2. **Overlap entre dos cortes consecutivos.**

$$O_V = T_{5\%} - T_{95\%} \quad (7)$$

Donde:

O_V : Overlap entre dos cortes consecutivos, °F

$T_{5\%}$: Temperatura correspondiente al 5% de recuperación del corte más pesado, °F

$T_{95\%}$: Temperatura correspondiente al 95% de recuperación del corte más liviano, °F

3. **Punto de corte.**

$$P_C = \frac{T_{5\%} + T_{95\%}}{2} \quad (8)$$

Donde:

P_C : Punto de corte, °F

4. **Eficiencia del plato.**

$$E_f = \frac{ER}{ET} * 100 \quad (9)$$

Donde:

E_f : Eficiencia del plato, %

ER : Número de etapas reales, adimensional.

ET : Número de etapas teóricas, adimensional.

5. Porcentaje de desviación.

$$\%D = \frac{(VR - VC)}{VR} * 100 \quad (10)$$

Donde:

%D: Porcentaje de desviación entre el valor real (operacional) y el valor calculado u obtenido por alguna simulación o cálculo, %

VR: Valor real u operacional.

VC: Valor calculado u obtenido por alguna simulación o cálculo.

6. Rendimiento de los productos.

$$R = \frac{F_P}{F_A} \quad (11)$$

Donde:

R: Rendimiento del producto, %

F_P: Flujo de retiro del producto de la torre, BD

7. Presión en el fondo de la torre T-100X, en la simulación con dos etapas teóricas en la zona de despojamiento.

$$P_9 = P_{ZVI} + 0,6 \quad (12)$$

Donde:

P₉: Presión de la etapa nueve, psi.

P_{ZVI}: Presión de la zona de vaporización instantánea.

Apéndice D. Curvas de destilación de los productos de la Planta de Destilación de Vacío PVA Y-2, al procesarse el crudo TJM 26.

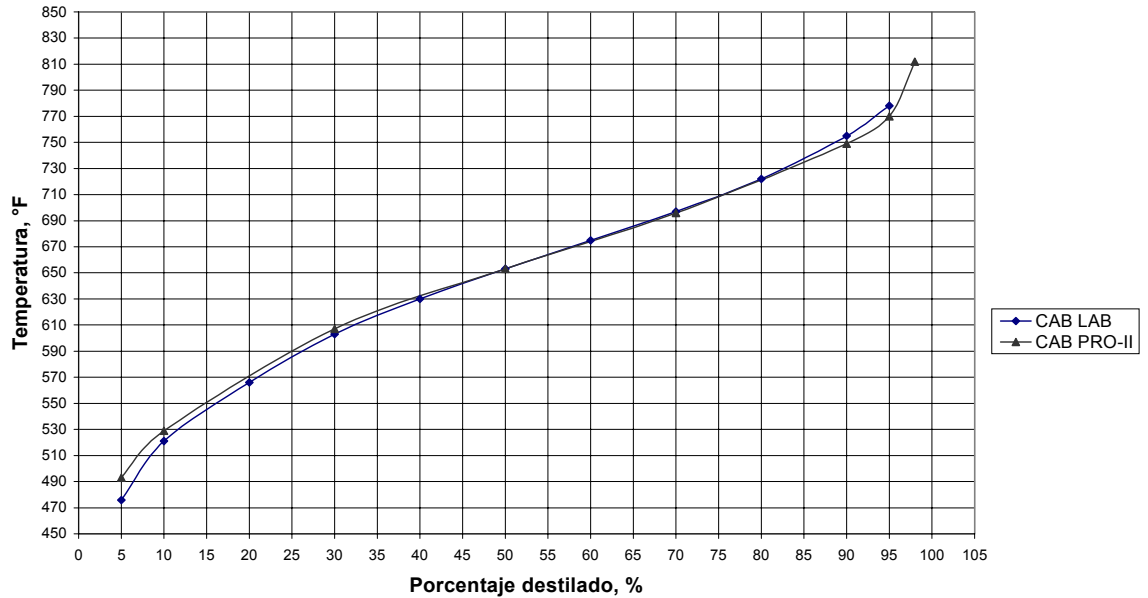


Figura N° 17: Curva de destilación de la Cabecera.
Simulación con diez etapas teóricas.

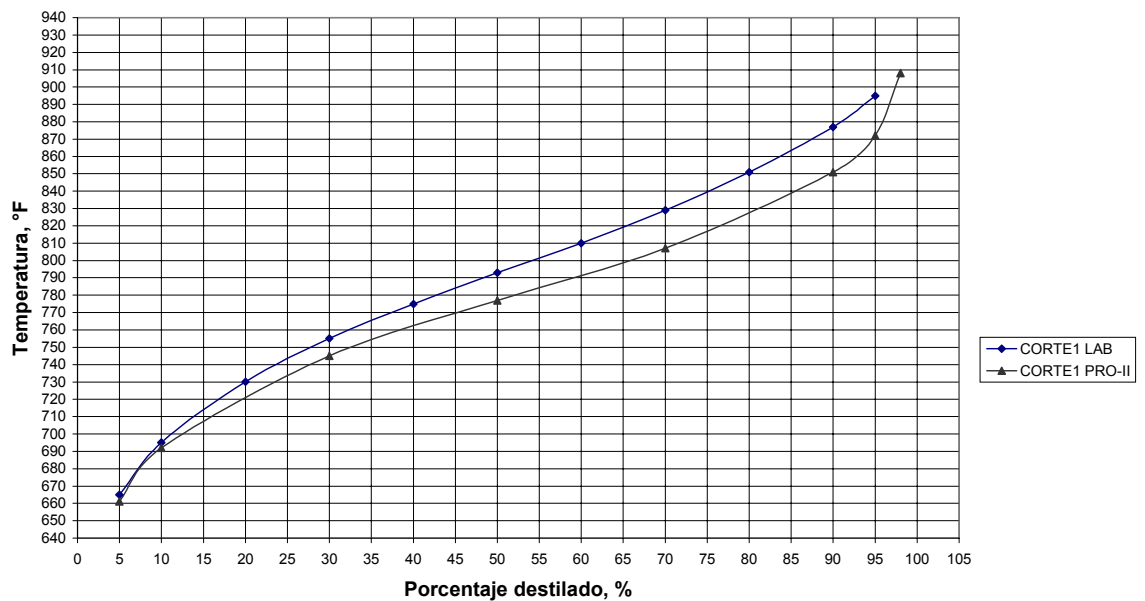


Figura N° 18: Curva de destilación del Corte Lateral N° 1.
Simulación con diez etapas teóricas.

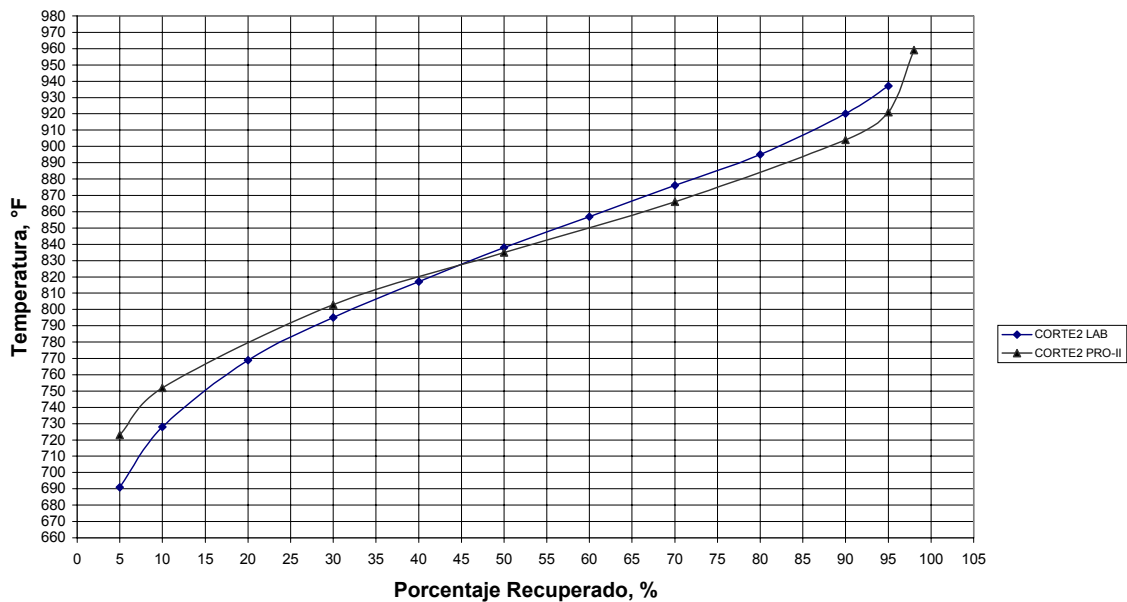


Figura N° 19: Curva de destilación del Corte Lateral N° 2.
Simulación con diez etapas teóricas.

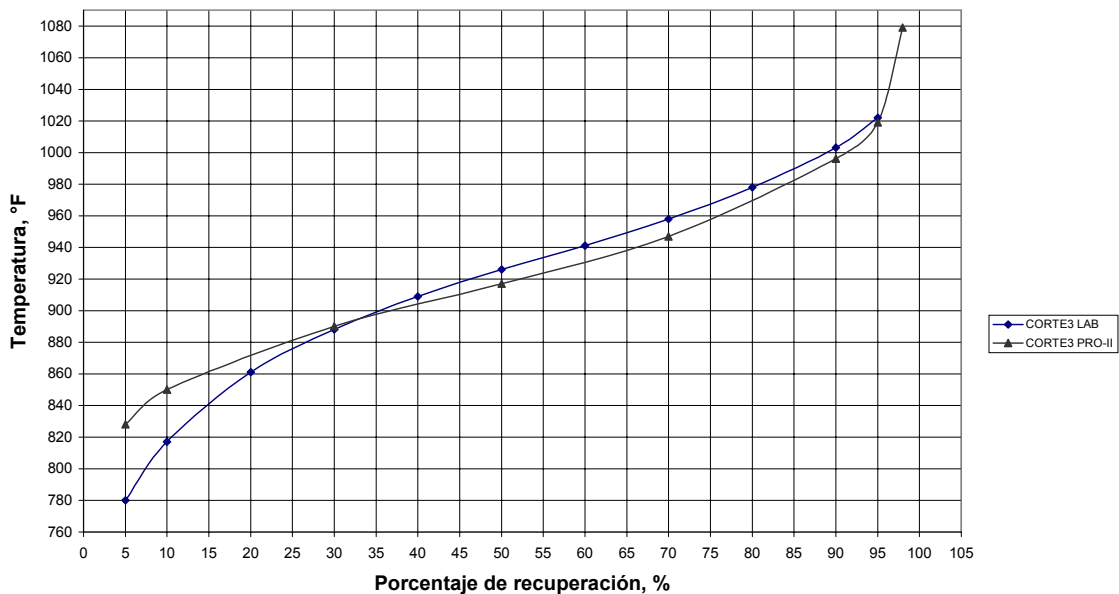


Figura N° 20: Curva de destilación del Corte Lateral N° 3.
Simulación con diez etapas teóricas.

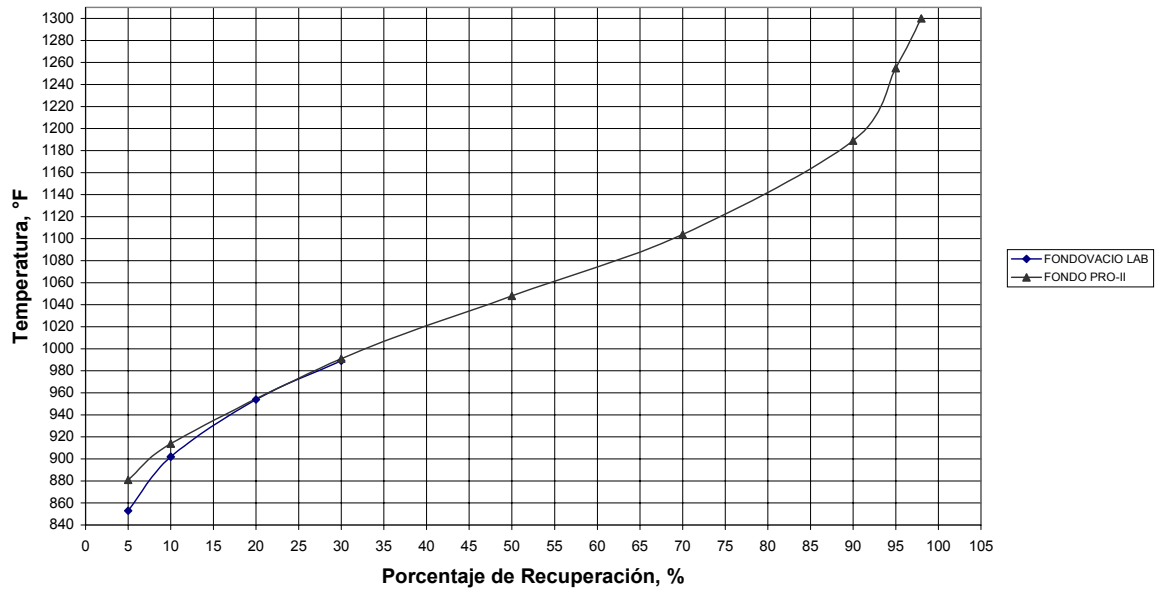


Figura N° 21: Curva de destilación del Fondo de Vacío.
 Simulación con diez etapas teóricas

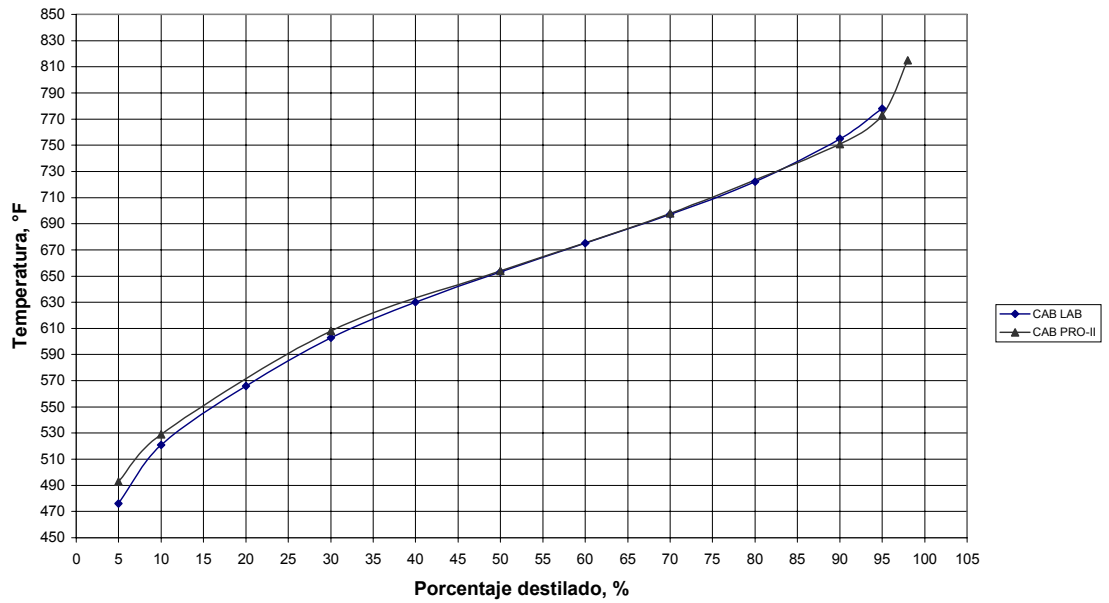


Figura N° 22: Curva de destilación de la Cabecera.
Simulación con ocho etapas teóricas

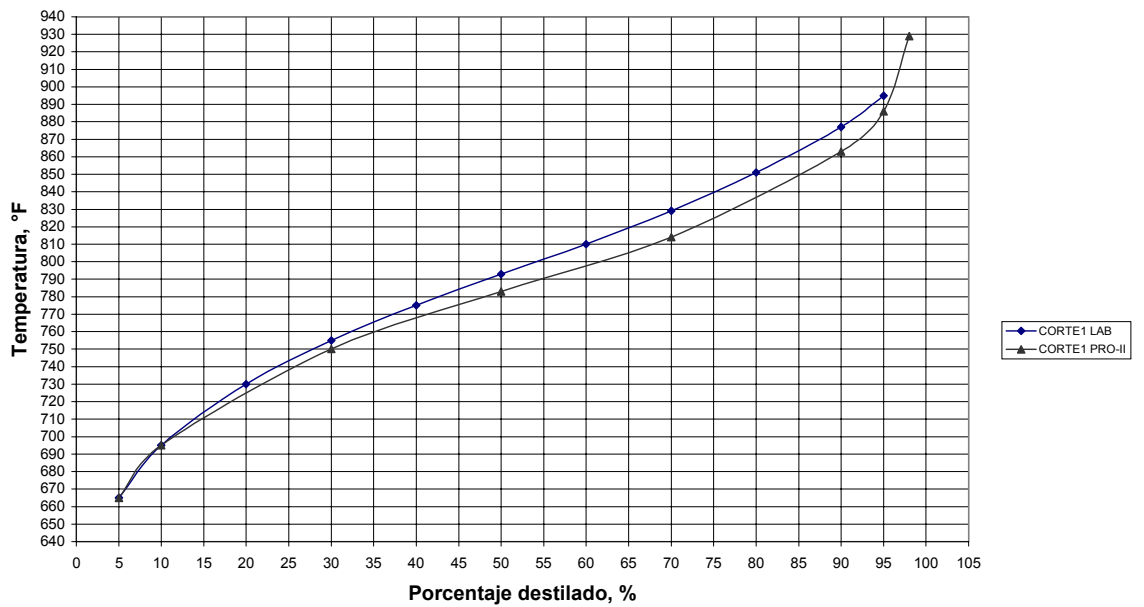


Figura N° 23: Curva de destilación del Corte Lateral N° 1.
Simulación con ocho etapas teóricas.

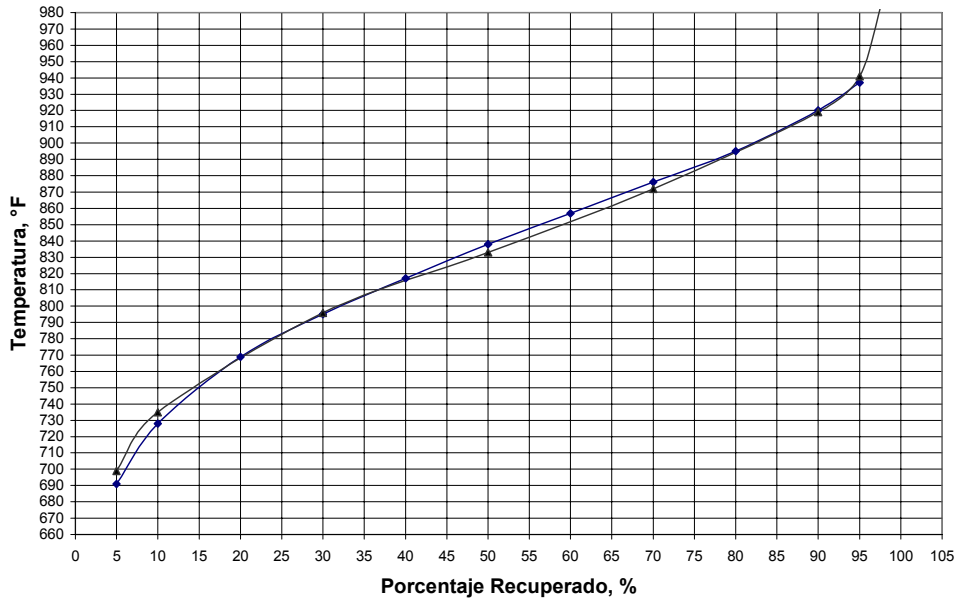


Figura N° 24: Curva de destilación del Corte Lateral N° 2.
Simulación con ocho etapas teóricas.

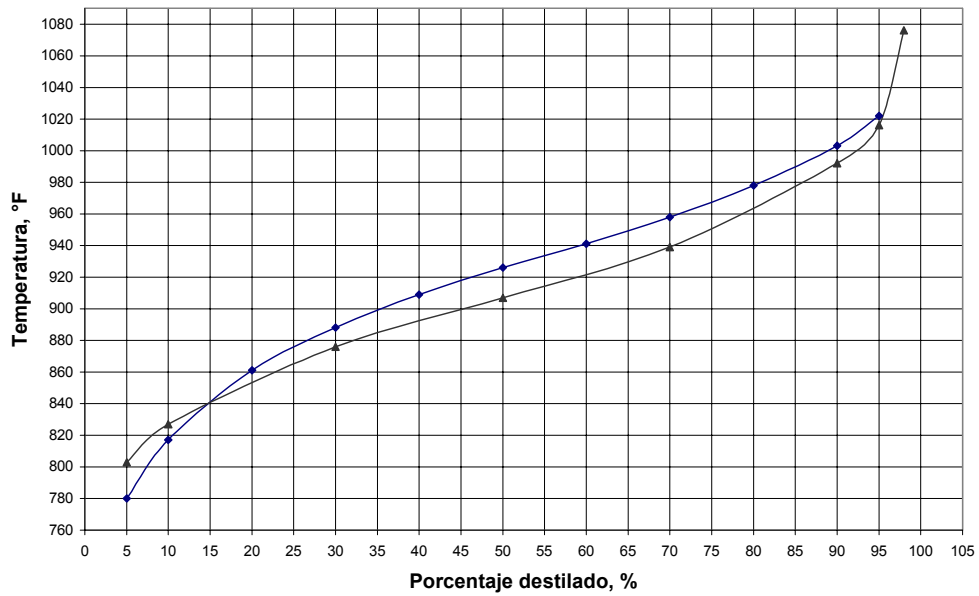


Figura N° 25: Curva de destilación del Corte Lateral N° 3.
Simulación con ocho etapas teóricas.

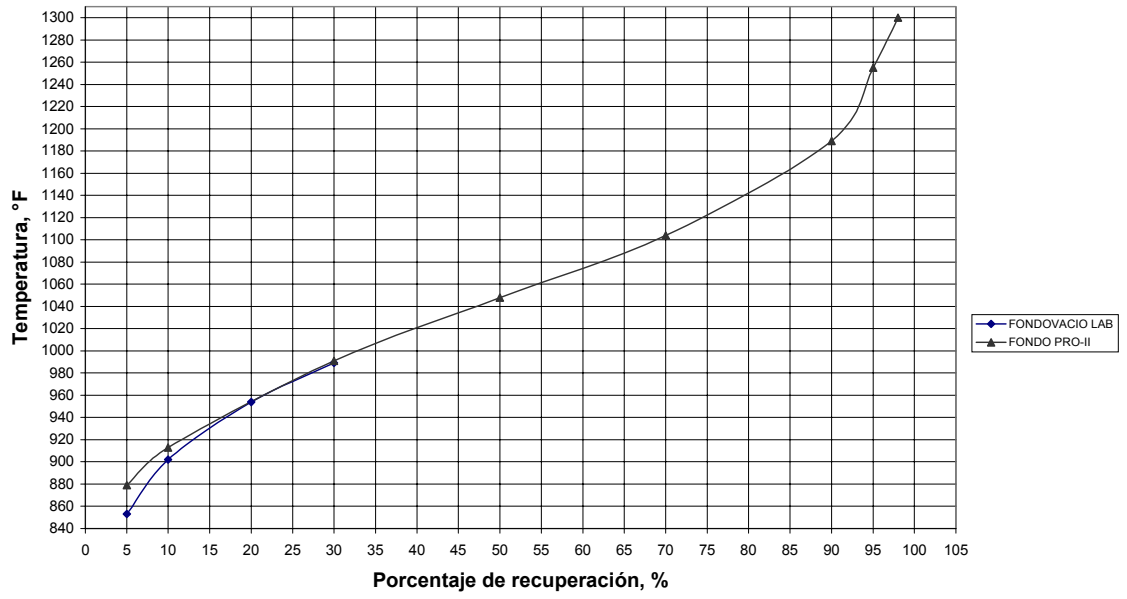


Figura N° 26: Curva de destilación del Fondo de Vacío.
Simulación con ocho etapas teóricas.

Apéndice E. Flujos de líquido y vapor en los platos de la torre T-100X, al procesarse los crudos TJM 26, CPG y LRM.

Tabla N° 111: Flujos de líquido y vapor correspondientes a los platos de la torre T-100X, al procesarse el crudo TJM 26. Carga Operacional.

Plato N° 1							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	18	228	9,500	0,00445	---	0,01568	---
Líquido del plato	520	9158	381,583	50,56	283,9	0,791	16,80
Vapor del plato	43	673	28,072	0,00964	---	0,01496	---
Líquido al plato	515	9603	400,146	50,26	282,2	0,735	16,46
Plato N° 4							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	94	1565	65,216	0,02002	---	0,01352	---
Líquido del plato	505	10494	437,271	49,66	278,8	0,678	15,77
Vapor del plato	119	2011	83,792	0,02521	---	0,01281	---
Líquido al plato	500	10940	455,833	49,35	277,1	0,641	15,42
Plato N° 6A							
	Peso Mol	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	236	10893	453,875	0,04575	---	0,01044	---
Líquido del plato	420	5506	229,417	48,16	270,4	0,525	15,61
Vapor del plato	234	10865	452,729	0,04509	---	0,01034	---
Líquido al plato	411	5479	228,279	48,34	271,4	0,536	16,08
Plato N° 6D							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	230	10810	450,437	0,04378	---	0,01015	---
Líquido del plato	392	5424	226,008	48,71	273,5	0,559	17,02
Vapor del plato	228	10783	449,292	0,04312	---	0,01005	---
Líquido al plato	382	5397	224,875	48,89	274,5	0,570	17,49
Plato N° 7							
	Peso Mol	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	288	10783	449,292	0,04312	---	0,01005	---
Líquido del plato	382	16545	689,375	48,89	274,5	0,570	17,49
Vapor del plato	212	7389	307,875	0,03451	---	0,01024	---
Líquido al plato	382	13150	547,917	51,15	287,2	1,253	21,52

Continuación de la Tabla N° 111

Plato N° 8							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	212	7389	307,875	0,03410	---	0,01024	---
Líquido del plato	382	13150	547,917	51,15	287,2	1,253	21,52
Vapor del plato	136	3995	166,458	0,02591	---	0,01043	---
Líquido al plato	382	9756	406,500	53,41	299,9	1,937	25,55
Plato N° 8A							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	136	3995	166,458	0,02591	---	0,01043	---
Líquido del plato	350	1977	82,375	48,66	273,2	0,530	17,75
Vapor del plato	136	4058	169,083	0,02536	---	0,01023	---
Líquido al plato	335	2039	84,980	48,80	274,0	0,536	18,23
Plato N° 8D							
	Peso Mol	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	128	3838	159,937	0,02303	---	0,00988	---
Líquido del plato	294	1820	75,833	50,31	282,5	0,797	21,76
Vapor del plato	120	3556	148,167	0,02125	---	0,00974	---
Líquido al plato	266	1538	64,083	51,69	290,2	1,053	24,81
Plato N° 9							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	120	3556	148,167	0,02125	---	0,00974	---
Líquido del plato	266	14259	594,125	51,69	290,2	1,053	24,81
Vapor del plato	78	2115	88,125	0,01419	---	0,00973	---
Líquido al plato	266	12818	534,104	52,95	297,3	2,151	27,46
Plato N° 11							
	Peso Mol	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	35	674	28,083	0,00713	---	0,00973	---
Líquido del plato	266	11378	474,083	54,21	304,4	3,249	30,11
Vapor del plato	20	346	14,417	0,00438	---	0,00919	---
Líquido al plato	266	11049	460,375	54,64	306,8	4,328	30,95

Tabla N° 112: Flujos de líquido y vapor correspondientes a los platos de la torre T-100X, al procesarse el crudo TJM 26. Carga Máxima.

Plato N° 1							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	18	228	9,500	0,00445	---	0,01568	---
Líquido del plato	520	10306	429,417	50,51	283,6	0,784	16,73
Vapor del plato	44	700	29,167	0,00986	---	0,01494	---
Líquido al plato	515	10778	449,083	50,23	282,0	0,748	16,40
Plato N° 4							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	97	1645	68,542	0,02068	---	0,01346	---
Líquido del plato	505	11723	488,458	49,64	278,7	0,677	15,74
Vapor del plato	123	2117	88,208	0,02609	---	0,01272	---
Líquido al plato	501	12195	508,125	49,35	277,1	0,641	15,41
Plato N° 6A							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	243	12047	501,958	0,04695	---	0,01037	---
Líquido del plato	421	6021	250,875	48,12	270,2	0,522	15,54
Vapor del plato	241	12026	501,083	0,04628	---	0,01027	---
Líquido al plato	411	6000	250,000	48,30	271,2	0,532	15,99
Plato N° 6D							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	237	11985	499,375	0,04495	---	0,01008	---
Líquido del plato	392	5959	248,292	48,64	273,1	0,553	16,91
Vapor del plato	235	11964	498,500	0,04428	---	0,00999	---
Líquido al plato	382	5939	247,458	48,82	274,1	0,563	17,37
Plato N° 7							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	235	11964	498,500	0,04428	---	0,00999	---
Líquido del plato	382	18483	770,125	48,82	274,1	0,563	17,37
Vapor del plato	189	8211	342,125	0,03571	---	0,01017	---
Líquido al plato	382	14730	613,750	50,94	286,0	1,184	22,80

Continuación de la Tabla N° 112

Plato N° 8							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	189	8211	342,125	0,03571	---	0,01017	---
Líquido del plato	382	14730	613,750	50,94	286,0	1,184	22,80
Vapor del plato	143	4459	185,792	0,02714	---	0,01035	---
Líquido al plato	382	10977	457,375	53,24	298,9	1,805	25,20
Plato N° 8A							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	143	4459	185,792	0,02714	---	0,01035	---
Líquido del plato	350	2244	93,500	48,59	272,8	0,523	17,63
Vapor del plato	138	4329	180,375	0,02589	---	0,01018	---
Líquido al plato	329	2109	87,875	49,35	277,1	0,655	19,42
Plato N° 8D							
	Peso Mol	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	130	4070	169,583	0,02340	---	0,00985	---
Líquido del plato	287	1840	76,667	50,90	285,8	0,918	23,00
Vapor del plato	126	3941	164,208	0,02216	---	0,00968	---
Líquido al plato	266	1706	71,083	51,67	290,1	1,050	24,79
Plato N° 9							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	126	3941	164,208	0,02216	---	0,00968	---
Líquido del plato	266	16019	667,458	51,67	290,1	1,050	24,79
Vapor del plato	90	2745	114,375	0,01624	---	0,00951	---
Líquido al plato	266	14823	617,625	52,65	295,6	2,104	26,82
Plato N° 11							
	Peso Mol	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	55	1549	64,542	0,01031	---	0,00935	---
Líquido del plato	266	13627	567,792	53,63	301,1	3,157	28,85
Vapor del plato	20	353	14,708	0,00439	---	0,00918	---
Líquido al plato	266	12431	517,958	54,61	306,6	4,211	30,87

Tabla N° 113: Flujos de líquido y vapor correspondientes a los platos de la torre T-100X, al procesarse el crudo TJM 26. Carga Mínima.

Plato N° 1							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	18	168	7,000	0,00445	---	0,01568	---
Líquido del plato	520	7832	326,333	50,49	283,5	0,782	16,71
Vapor del plato	45	521	21,716	0,00992	---	0,01493	---
Líquido al plato	515	8185	341,042	50,21	281,9	0,747	16,39
Plato N° 4							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	98	1227	51,125	0,02086	---	0,01343	---
Líquido del plato	505	8892	370,500	49,64	278,7	0,676	15,74
Vapor del plato	124	1581	65,875	0,02633	---	0,01269	---
Líquido al plato	501	9245	385,208	49,35	277,1	0,641	15,41
Plato N° 6A							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	241	9167	381,958	0,04675	---	0,01038	---
Líquido del plato	420	4585	191,042	48,12	270,2	0,522	15,55
Vapor del plato	240	8008	333,667	0,04609	---	0,01028	---
Líquido al plato	411	5717	238,208	48,30	271,2	0,532	16,01
Plato N° 6D							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	236	5689	237,042	0,04477	---	0,01009	---
Líquido del plato	392	7981	332,542	48,64	273,1	0,553	16,93
Vapor del plato	234	4530	188,750	0,04412	---	0,00999	---
Líquido al plato	382	9113	379,708	48,82	274,1	0,563	17,39
Plato N° 7							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	142	9113	379,708	0,04412	---	0,00999	---
Líquido del plato	382	14062	585,917	48,82	274,1	0,563	17,39
Vapor del plato	188	6252	260,500	0,03556	---	0,01017	---
Líquido al plato	382	11202	466,750	51,03	286,5	1,192	21,31

Continuación de la Tabla N° 113

Plato N° 8							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	188	6252	260,500	0,03556	---	0,01017	---
Líquido del plato	382	11202	466,750	51,03	286,5	1,192	21,31
Vapor del plato	234	3392	141,333	0,02700	---	0,01036	---
Líquido al plato	382	8342	347,583	53,25	299,0	1,821	25,24
Plato N° 8A							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	142	3392	141,333	0,02697	---	0,01036	---
Líquido del plato	350	1690	70,417	48,59	272,8	0,524	17,65
Vapor del plato	138	3294	137,250	0,02573	---	0,01019	---
Líquido al plato	329	1592	66,333	49,35	277,1	0,656	19,44
Plato N° 8D							
	Peso Mol	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	129	3097	129,042	0,02325	---	0,00986	---
Líquido del plato	287	1395	58,125	50,90	285,8	0,919	23,01
Vapor del plato	125	2999	124,958	0,02202	---	0,00969	---
Líquido al plato	266	1297	54,042	51,69	290,2	1,051	24,80
Plato N° 9							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	125	2999	124,958	0,02202	---	0,00969	---
Líquido del plato	266	12174	507,250	51,69	290,2	1,051	24,80
Vapor del plato	90	2090	87,083	0,01614	---	0,00952	---
Líquido al plato	266	11265	469,375	52,67	295,7	2,108	26,83
Plato N° 11							
	Peso Mol	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	55	1181	49,208	0,01027	---	0,00935	---
Líquido del plato	266	10356	431,500	53,63	301,1	3,165	28,85
Vapor del plato	20	272	11,333	0,00439	---	0,00918	---
Líquido al plato	266	9447	393,625	54,61	306,6	4,222	30,88

Tabla N° 114: Flujos de líquido y vapor correspondientes a los platos de la torre T-100X, al procesarse el crudo CPG. Carga Operacional.

Plato N° 1							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	18	209	8,708	0,00434	---	0,01599	---
Líquido del plato	700	8873	369,708	50,78	285,1	1,561	17,25
Vapor del plato	38	505	21,042	0,00828	---	0,01536	---
Líquido al plato	688	9169	382,042	50,47	283,4	1,438	16,91
Plato N° 4							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	77	1098	45,750	0,01614	---	0,01409	---
Líquido del plato	664	9761	406,708	49,89	280,1	1,193	16,22
Vapor del plato	97	1394	58,083	0,02008	---	0,01346	---
Líquido al plato	652	10057	419,042	49,60	278,5	1,071	15,88
Plato N° 6A							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	231	9250	385,417	0,04693	---	0,01036	---
Líquido del plato	436	4202	175,083	47,02	264,0	0,520	15,00
Vapor del plato	230	9333	388,875	0,04662	---	0,01024	---
Líquido al plato	424	4286	178,583	47,20	265,0	0,524	15,45
Plato N° 6D							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	228	9500	395,833	0,04600	---	0,00999	---
Líquido del plato	399	4453	185,542	47,55	267,0	0,533	16,35
Vapor del plato	227	9584	399,333	0,04570	---	0,00987	---
Líquido al plato	387	4537	189,042	47,73	268,0	0,538	16,80
Plato N° 7							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	227	9584	399,333	0,04567	---	0,00987	---
Líquido del plato	387	15652	652,167	47,73	268,0	0,538	16,80
Vapor del plato	181	6614	275,583	0,03678	---	0,01005	---
Líquido al plato	387	12682	528,417	49,69	279,0	0,978	20,20

Continuación de la Tabla N° 114

Plato N° 8							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	181	6614	275,583	0,03678	---	0,01005	---
Líquido del plato	387	12682	528,417	49,69	279,0	0,978	20,20
Vapor del plato	136	3644	151,833	0,02789	---	0,01023	---
Líquido al plato	387	9713	404,708	51,65	290,0	1,419	23,60
Plato N° 8A							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	136	3644	151,833	0,02789	---	0,01023	---
Líquido del plato	356	1787	74,458	47,48	266,6	0,500	16,96
Vapor del plato	132	3523	146,792	0,02665	---	0,01009	---
Líquido al plato	336	1665	69,375	48,19	270,6	0,621	18,64
Plato N° 8D							
	Peso Mol	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	123	3280	136,667	0,02418	---	0,00982	---
Líquido del plato	296	1422	59,250	49,60	278,5	0,863	22,00
Vapor del plato	119	3159	131,625	0,02295	---	0,00969	---
Líquido al plato	276	1301	54,208	50,31	282,5	0,984	23,68
Plato N° 9							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	119	3159	131,625	0,02295	---	0,00969	---
Líquido del plato	276	11961	498,375	50,23	282,0	0,984	23,68
Vapor del plato	86	2211	92,125	0,01692	---	0,00954	---
Líquido al plato	276	11012	458,833	51,29	288,0	2,026	25,79
Plato N° 11							
	Peso Mol	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	53	1262	52,583	0,01090	---	0,00938	---
Líquido del plato	276	10064	419,333	52,36	294,0	3,068	27,89
Vapor del plato	19	314	13,083	0,00488	---	0,00923	---
Líquido al plato	276	9115	379,792	53,43	300,0	4,110	30,00

Tabla N° 115: Flujos de líquido y vapor correspondientes a los platos de la torre

T-100X, al procesarse el crudo CPG. Carga Máxima.

Plato N° 1							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	18	228	9,500	0,00434	---	0,01599	---
Líquido del plato	703	9479	394,958	50,80	285,2	1,579	17,27
Vapor del plato	37	544	22,667	0,00820	---	0,01537	---
Líquido al plato	691	9795	408,125	50,51	283,6	1,454	16,93
Plato N° 4							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	76	1177	49,042	0,01592	---	0,01413	---
Líquido del plato	667	10428	434,500	49,92	280,3	1,204	16,24
Vapor del plato	96	1493	62,208	0,01978	---	0,01351	---
Líquido al plato	654	10744	447,667	49,64	278,7	1,079	15,90
Plato N° 6A							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	230	9892	412,167	0,04672	---	0,01039	---
Líquido del plato	440	4379	182,458	47,04	264,1	0,525	15,00
Vapor del plato	229	9994	416,417	0,04644	---	0,01027	---
Líquido al plato	426	4481	186,708	47,22	265,1	0,529	15,44
Plato N° 6D							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	228	10197	424,875	0,04587	---	0,01002	---
Líquido del plato	401	4684	195,167	47,55	267,0	0,536	16,32
Vapor del plato	227	10299	429,125	0,04559	---	0,00990	---
Líquido al plato	389	4786	199,417	47,73	268,0	0,540	16,77
Plato N° 7							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	227	10299	429,125	0,04559	---	0,00990	---
Líquido del plato	389	16788	699,500	47,73	268,0	0,540	16,77
Vapor del plato	182	7149	297,875	0,03686	---	0,01007	---
Líquido al plato	389	13638	568,250	49,66	278,8	0,966	20,10

Continuación de la Tabla N° 115

Plato N° 8							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	182	7149	297,875	0,03686	---	0,01007	---
Líquido del plato	389	13638	568,250	49,66	278,8	0,966	20,10
Vapor del plato	137	3999	166,625	0,02814	---	0,01024	---
Líquido al plato	389	10488	437,000	51,60	289,7	1,392	23,44
Plato N° 8A							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	137	3999	166,625	0,02814	---	0,01024	---
Líquido del plato	359	1824	76,000	47,48	266,6	0,501	18,58
Vapor del plato	133	3876	161,500	0,02693	---	0,01011	---
Líquido al plato	340	1702	70,917	48,20	270,6	0,623	16,89
Plato N° 8D							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	126	3631	151,292	0,02451	---	0,00985	---
Líquido del plato	300	1457	60,708	49,64	278,7	0,868	21,95
Vapor del plato	122	3509	146,208	0,02331	---	0,00972	---
Líquido al plato	281	1335	55,625	50,37	282,8	0,990	23,64
Plato N° 9							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	122	3509	146,208	0,02331	---	0,00972	---
Líquido del plato	281	13030	542,917	50,37	282,8	0,990	23,65
Vapor del plato	88	2452	102,167	0,01716	---	0,00956	---
Líquido al plato	281	11973	498,875	51,42	288,7	2,139	25,81
Plato N° 11							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	53	1394	58,083	0,01101	---	0,00940	---
Líquido del plato	281	10915	454,792	52,47	294,6	3,288	27,98
Vapor del plato	19	337	14,042	0,00486	---	0,00924	---
Líquido al plato	281	9858	410,750	53,52	300,5	4,437	30,14

Tabla N° 116: Flujos de líquido y vapor correspondientes a los platos de la torre

T-100X, al procesarse el crudo CPG. Carga Mínima.

Plato N° 1							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	18	168	7,000	0,00434	---	0,01599	---
Líquido del plato	702	7216	300,667	50,80	285,2	1,571	17,25
Vapor del plato	38	405	16,875	0,00826	---	0,01536	---
Líquido al plato	690	7453	310,542	50,51	283,6	1,448	16,91
Plato N° 4							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	77	880	36,667	0,01608	---	0,01411	---
Líquido del plato	666	7928	330,333	49,92	280,3	1,202	16,24
Vapor del plato	97	1117	46,542	0,02000	---	0,01348	---
Líquido al plato	654	8165	340,208	49,64	278,7	1,079	15,90
Plato N° 6A							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	229	7522	313,417	0,04650	---	0,01041	---
Líquido del plato	441	3247	135,292	47,05	264,2	0,527	15,00
Vapor del plato	228	7602	316,750	0,04623	---	0,01029	---
Líquido al plato	428	3328	138,667	47,22	265,1	0,530	15,43
Plato N° 6D							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	227	7763	323,458	0,04568	---	0,01004	---
Líquido del plato	403	3489	145,375	47,55	267,0	0,537	16,29
Vapor del plato	227	7844	326,833	0,04541	---	0,00992	---
Líquido al plato	391	3570	148,750	47,73	268,0	0,541	16,72
Plato N° 7							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	227	7844	326,833	0,04541	---	0,00992	---
Líquido del plato	391	14445	601,875	47,73	268,0	0,541	16,72
Vapor del plato	183	5483	228,458	0,03687	---	0,01008	---
Líquido al plato	391	12084	503,500	49,30	276,8	0,821	19,36

Continuación de la Tabla N° 116

Plato N° 8							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	183	5483	228,458	0,03687	---	0,01008	---
Líquido del plato	391	12084	503,500	49,30	276,8	0,821	19,36
Vapor del plato	139	3123	130,125	0,02833	---	0,01025	---
Líquido al plato	391	9724	405,167	50,87	285,6	1,101	22,00
Plato N° 8A							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	139	3210	133,750	0,02734	---	0,00991	---
Líquido del plato	360	1468	61,167	47,46	266,5	0,501	16,86
Vapor del plato	135	3091	128,797	0,02636	---	0,00986	---
Líquido al plato	340	1370	57,083	48,18	270,5	0,620	18,52
Plato N° 8D							
	Peso Mol	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	127	2852	118,833	0,02440	---	0,00976	---
Líquido del plato	301	1175	48,958	49,60	278,5	0,858	21,84
Vapor del plato	123	2733	113,875	0,02343	---	0,00971	---
Líquido al plato	281	1077	44,875	50,31	282,5	0,977	23,50
Plato N° 9							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	123	2733	113,875	0,02343	---	0,00971	---
Líquido del plato	281	9965	415,208	50,31	282,5	0,977	23,50
Vapor del plato	88	1909	79,542	0,01724	---	0,00955	---
Líquido al plato	281	9141	380,875	51,38	288,5	2,155	25,73
Plato N° 11							
	Peso Mol	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	54	1084	45,167	0,01105	---	0,00940	---
Líquido del plato	281	8317	346,542	52,47	294,6	3,332	27,96
Vapor del plato	19	260	10,833	0,00486	---	0,00924	---
Líquido al plato	281	7493	312,208	53,54	300,6	4,510	30,19

Tabla N° 117: Flujos de líquido y vapor correspondientes a los platos de la torre T-100X, al procesarse el crudo LRM. Carga Operacional.

Plato N° 1							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	18	230	9,583	0,00494	---	0,01933	---
Líquido del plato	565	7345	306,042	48,84	274,2	0,755	15,79
Vapor del plato	44	706	29,417	0,01087	---	0,01803	---
Líquido al plato	557	7821	325,875	48,50	272,3	0,702	15,40
Plato N° 4							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	97	1658	69,083	0,02274	---	0,01542	---
Líquido del plato	540	8772	365,500	47,80	268,4	0,596	14,62
Vapor del plato	124	2134	88,917	0,02867	---	0,01412	---
Líquido al plato	531	9248	385,333	47,46	266,5	0,543	14,23
Plato N° 6A							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	246	10301	429,208	0,05332	---	0,01049	---
Líquido del plato	427	5559	231,625	46,91	263,4	0,481	14,80
Vapor del plato	242	10160	423,333	0,05204	---	0,01042	---
Líquido al plato	417	5418	225,750	47,22	265,1	0,511	15,40
Plato N° 6D							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	236	9879	411,625	0,04949	---	0,01029	---
Líquido del plato	396	5137	214,042	47,80	268,4	0,571	16,59
Vapor del plato	233	9739	405,792	0,04821	---	0,01022	---
Líquido al plato	386	4997	208,208	48,11	270,1	0,601	17,19
Plato N° 7							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	233	9739	405,792	0,04821	---	0,01022	---
Líquido del plato	386	13095	545,625	48,11	270,1	0,601	17,19
Vapor del plato	178	6394	266,417	0,03699	---	0,01092	---
Líquido al plato	386	9750	406,250	51,58	289,6	4,460	23,70

Continuación de la Tabla N° 117

Plato N° 8							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	178	6394	266,417	0,03699	---	0,01092	---
Líquido del plato	386	9750	406,250	51,58	289,6	4,460	23,70
Vapor del plato	124	3049	127,042	0,02578	---	0,01162	---
Líquido al plato	386	6404	266,833	55,05	309,1	8,320	30,21
Plato N° 8A							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	124	3049	127,042	0,02578	---	0,01162	---
Líquido del plato	351	1376	57,333	47,91	269,0	0,575	17,48
Vapor del plato	121	2980	124,167	0,02442	---	0,01142	---
Líquido al plato	330	1306	54,417	48,62	273,0	0,724	19,27
Plato N° 8D							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	115	2840	118,333	0,02170	---	0,01102	---
Líquido del plato	288	1167	48,625	50,03	280,9	1,023	22,84
Vapor del plato	112	2771	115,458	0,02034	---	0,01083	---
Líquido al plato	267	1098	45,750	50,74	284,9	1,173	24,63
Plato N° 9							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	112	2771	115,458	0,02034	---	0,01083	---
Líquido del plato	267	11249	468,708	50,74	284,9	1,173	24,63
Vapor del plato	81	1951	81,292	0,01498	---	0,01061	---
Líquido al plato	267	10429	434,542	51,70	290,3	2,101	26,64
Plato N° 11							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	51	1131	47,125	0,00963	---	0,0104	---
Líquido del plato	267	9609	400,375	52,68	295,8	3,028	28,66
Vapor del plato	20	311	12,958	0,00427	---	0,01018	---
Líquido al plato	267	8789	366,208	53,64	301,2	3,956	30,67

Tabla N° 118: Flujos de líquido y vapor correspondientes a los platos de la torre T-100X, al procesarse el crudo LRM. Carga Máxima.

Plato N° 1							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	18	228	9,500	0,04936	---	0,01933	---
Líquido del plato	557	9028	376,167	49,03	275,3	0,725	15,83
Vapor del plato	47	755	31,458	0,04465	---	0,01795	---
Líquido al plato	549	9555	398,125	48,71	273,5	0,678	15,46
Plato N° 4							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	104	1809	75,375	0,03524	---	0,01519	---
Líquido del plato	533	10609	442,042	48,09	270,0	0,584	14,73
Vapor del plato	132	2336	97,333	0,03054	---	0,01381	---
Líquido al plato	525	11136	464,000	47,77	268,2	0,537	14,37
Plato N° 6A							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	256	12243	510,125	0,05551	---	0,01036	---
Líquido del plato	422	6484	270,167	47,14	264,7	0,471	14,86
Vapor del plato	253	12105	504,375	0,05423	---	0,01029	---
Líquido al plato	412	6346	264,417	47,41	266,2	0,497	15,42
Plato N° 6D							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	247	11828	492,833	0,05167	---	0,01015	---
Líquido del plato	392	6070	252,917	47,96	269,3	0,550	16,55
Vapor del plato	244	11690	487,083	0,05039	---	0,01008	---
Líquido al plato	382	5932	247,167	48,23	270,8	0,577	17,12
Plato N° 7							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	244	11690	487,083	0,05039	---	0,01008	---
Líquido del plato	382	15877	661,542	48,23	270,8	0,577	17,12
Vapor del plato	190	7684	320,167	0,03925	---	0,01069	---
Líquido al plato	382	11871	494,625	51,58	289,6	3,442	23,35

Continuación de la Tabla N° 118

Plato N° 8							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	190	7684	320,167	0,03925	---	0,01069	---
Líquido del plato	382	11871	494,625	51,58	289,6	3,442	23,35
Vapor del plato	136	3679	153,292	0,02811	---	0,01131	---
Líquido al plato	382	7866	327,750	54,95	308,5	6,307	29,58
Plato N° 8A							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	136	3679	153,292	0,02811	---	0,01131	---
Líquido del plato	351	1690	70,417	48,03	269,7	0,554	17,41
Vapor del plato	133	3587	149,458	0,02659	---	0,01113	---
Líquido al plato	330	1598	66,583	48,76	273,8	0,705	19,24
Plato N° 8D							
	Peso Mol	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	126	3404	141,833	0,02355	---	0,01076	---
Líquido del plato	287	1414	58,917	50,23	282,0	1,006	22,91
Vapor del plato	122	3313	138,042	0,02203	---	0,01058	---
Líquido al plato	265	1322	55,083	50,96	286,1	1,157	24,75
Plato N° 9							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	122	3313	138,042	0,02203	---	0,01058	---
Líquido del plato	265	13782	574,250	50,96	286,1	1,157	24,75
Vapor del plato	88	2315	96,458	0,01611	---	0,01044	---
Líquido al plato	265	12784	532,667	51,92	291,5	2,049	26,76
Plato N° 11							
	Peso Mol	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	54	1316	54,833	0,01020	---	0,01031	---
Líquido del plato	265	11786	491,083	52,90	297,0	2,941	28,80
Vapor del plato	20	318	13,250	0,00428	---	0,01017	---
Líquido al plato	265	10788	449,500	53,86	302,4	3,833	30,78

Tabla N° 119: Flujos de líquido y vapor correspondientes a los platos de la torre

T-100X, al procesarse el crudo LRM. Carga Mínima.

Plato N° 1							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	18	168	7,000	0,00494	---	0,01933	---
Líquido del plato	565	6818	284,083	48,68	273,3	0,736	15,61
Vapor del plato	47	562	23,417	0,01143	---	0,01793	---
Líquido al plato	557	7212	300,500	48,36	271,5	0,688	15,25
Plato N° 4							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	105	1351	56,292	0,02443	---	0,01513	---
Líquido del plato	542	6818	284,083	47,75	268,1	0,592	14,54
Vapor del plato	134	562	23,417	0,03093	---	0,01373	---
Líquido al plato	534	7212	300,500	47,43	266,3	0,544	14,18
Plato N° 6A							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	259	9248	385,333	0,05609	---	0,01030	---
Líquido del plato	656	4897	204,042	46,79	262,7	0,473	14,65
Vapor del plato	256	9141	380,875	0,05478	---	0,01023	---
Líquido al plato	589	4790	199,583	47,11	264,5	0,500	15,22
Plato N° 6D							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	249	8928	372,000	0,05217	---	0,01010	---
Líquido del plato	454	4577	190,708	47,77	268,2	0,554	16,35
Vapor del plato	246	8822	367,583	0,05087	---	0,01003	---
Líquido al plato	387	4471	186,292	48,09	270,0	0,581	16,92
Plato N° 7							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	246	8822	367,583	0,05087	---	0,01003	---
Líquido del plato	387	11985	499,375	47,91	269,0	0,581	16,92
Vapor del plato	192	5801	241,708	0,03961	---	0,01064	---
Líquido al plato	387	8964	373,500	51,22	287,6	3,431	23,05

Continuación de la Tabla N° 119

Plato N° 8							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	192	5801	241,708	0,03961	---	0,01064	---
Líquido del plato	387	8964	373,500	51,22	287,6	3,431	23,05
Vapor del plato	138	2780	115,833	0,02835	---	0,01126	---
Líquido al plato	387	5943	247,625	54,54	306,2	6,282	29,19
Plato N° 8A							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	138	2780	115,833	0,02835	---	0,01126	---
Líquido del plato	355	1277	53,208	47,71	267,9	0,557	17,22
Vapor del plato	134	2711	112,958	0,02681	---	0,01108	---
Líquido al plato	333	1208	50,333	48,11	270,1	0,708	19,06
Plato N° 8D							
	Peso Mol	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	127	2573	107,208	0,02374	---	0,01071	---
Líquido del plato	289	1069	44,542	49,94	280,4	1,011	22,72
Vapor del plato	123	2504	104,333	0,02221	---	0,01053	---
Líquido al plato	267	1000	41,667	50,69	284,6	1,162	24,56
Plato N° 9							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	123	2504	104,333	0,02221	---	0,01053	---
Líquido del plato	267	10419	434,125	50,69	284,6	1,162	24,56
Vapor del plato	89	1749	72,875	0,01624	---	0,01041	---
Líquido al plato	267	9664	402,667	51,65	290,0	2,057	26,56
Plato N° 11							
	Peso Mol	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	54	995	41,458	0,01028	---	0,01029	---
Líquido del plato	267	8910	371,250	52,59	295,3	2,953	28,55
Vapor del plato	20	240	10,000	0,00431	---	0,01017	---
Líquido al plato	267	8155	339,792	53,56	300,7	3,848	30,55

Tabla N° 120: Flujos de líquido y vapor correspondientes a los platos de la torre T-100X, al procesarse el crudo TJM 26, con dos etapas en la zona de despojamiento. Carga Máxima.

Plato N° 1							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	18	228	9,500	0,00498	---	0,01569	---
Líquido del plato	529	9439	393,292	50,94	286,0	0,845	17,18
Vapor del plato	38	603	25,125	0,00900	---	0,01516	---
Líquido al plato	525	9814	408,917	50,69	284,6	0,812	16,90
Plato N° 2							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	38	603	25,125	0,00900	---	0,01516	---
Líquido del plato	525	9814	408,917	50,69	284,6	0,812	16,90
Vapor del plato	58	979	40,792	0,01302	---	0,01463	---
Líquido al plato	521	10190	424,583	50,42	283,1	0,779	16,60
Plato N° 3							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	58	979	40,792	0,01302	---	0,01463	---
Líquido del plato	521	10190	424,583	50,42	283,1	0,779	16,60
Vapor del plato	78	1354	56,417	0,01704	---	0,01410	---
Líquido al plato	517	10565	440,208	50,17	281,7	0,746	16,31
Plato N° 4							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	78	1354	56,417	0,01704	---	0,01410	---
Líquido del plato	517	10565	440,208	50,17	281,7	0,746	16,31
Vapor del plato	98	1730	72,083	0,02106	---	0,01356	---
Líquido al plato	512	10941	455,875	49,92	280,3	0,713	16,01
Plato N° 5							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	98	1730	72,083	0,02106	---	0,01356	---
Líquido del plato	512	10941	455,875	49,92	280,3	0,713	16,01
Vapor del plato	118	2105	87,708	0,02508	---	0,01303	---
Líquido al plato	508	11316	471,500	49,66	278,8	0,680	15,72
Plato N° 6							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	118	2105	87,708	0,02508	---	0,01303	---
Líquido del plato	508	11316	471,500	49,66	278,8	0,680	15,72
Vapor del plato	138	2481	103,375	0,02910	---	0,01250	---
Líquido al plato	504	11692	487,167	49,41	277,4	0,647	15,43

Tabla N° 121: Flujos de líquido y vapor correspondientes a los platos de la torre T-100X, al procesarse el crudo TJM 26, con dos etapas en la zona de despojamiento.
Carga Mínima.

Plato N° 1							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	18	168	7,000	0,00498	---	0,01569	---
Líquido del plato	525	7493	312,208	50,85	285,5	0,834	17,13
Vapor del plato	39	462	19,262	0,00919	---	0,01513	---
Líquido al plato	521	7787	324,458	50,60	284,1	0,802	17,00
Plato N° 2							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	39	462	19,262	0,00919	---	0,01513	---
Líquido del plato	521	7787	324,458	50,60	284,1	0,802	17,00
Vapor del plato	60	756	31,525	0,01340	---	0,01458	---
Líquido al plato	517	8081	336,708	50,35	282,7	0,770	16,88
Plato N° 3							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	60	756	31,525	0,01340	---	0,01458	---
Líquido del plato	517	8081	336,708	50,35	282,7	0,770	16,88
Vapor del plato	80	1051	43,787	0,01760	---	0,01402	---
Líquido al plato	513	8375	348,958	50,10	281,3	0,737	16,75
Plato N° 4							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	80	1051	43,787	0,01760	---	0,01402	---
Líquido del plato	513	8375	348,958	50,10	281,3	0,737	16,75
Vapor del plato	101	1345	56,050	0,02181	---	0,01346	---
Líquido al plato	509	8669	361,208	49,85	279,9	0,705	16,62
Plato N° 5							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	101	1345	56,050	0,02181	---	0,01346	---
Líquido del plato	509	8669	361,208	49,85	279,9	0,705	16,62
Vapor del plato	122	1639	68,312	0,02601	---	0,01291	---
Líquido al plato	505	8964	373,500	49,60	278,5	0,673	16,50
Plato N° 6							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	122	1639	68,312	0,02601	---	0,01291	---
Líquido del plato	505	8964	373,500	49,60	278,5	0,673	16,50
Vapor del plato	143	1934	80,575	0,03022	---	0,01235	---
Líquido al plato	501	9258	385,750	49,35	277,1	0,641	16,37

Tabla N° 122: Flujos de líquido y vapor correspondientes a los platos de la torre T-100X, al procesarse el crudo CPG, con dos etapas en la zona de despojamiento.
Carga Máxima.

Plato N° 1							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	18	228	9,500	0,00508	---	0,01599	---
Líquido del plato	714	9236	384,833	51,06	286,7	1,743	17,60
Vapor del plato	33	479	19,971	0,00813	---	0,01553	---
Líquido al plato	704	9487	395,304	50,83	285,4	1,632	17,31
Plato N° 2							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	33	479	19,971	0,00813	---	0,01553	---
Líquido del plato	704	9487	395,304	50,83	285,4	1,632	17,31
Vapor del plato	48	731	30,446	0,01118	---	0,01507	---
Líquido al plato	694	9738	405,762	50,59	284,0	1,522	17,03
Plato N° 3							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	48	731	30,446	0,01118	---	0,01507	---
Líquido del plato	694	9738	405,762	50,59	284,0	1,522	17,03
Vapor del plato	63	982	40,917	0,01423	---	0,01461	---
Líquido al plato	684	9990	416,250	50,35	282,7	1,411	16,74
Plato N° 4							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	63	982	40,917	0,01423	---	0,01461	---
Líquido del plato	684	9990	416,250	50,35	282,7	1,411	16,74
Vapor del plato	78	1233	51,387	0,01729	---	0,01415	---
Líquido al plato	674	10241	426,721	50,12	281,4	1,300	16,46
Plato N° 5							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	78	1233	51,387	0,01729	---	0,01415	---
Líquido del plato	674	10241	426,721	50,12	281,4	1,300	16,46
Vapor del plato	93	1485	61,862	0,02034	---	0,01369	---
Líquido al plato	664	10493	437,196	49,87	280,0	1,190	16,18
Plato N° 6							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	93	1485	61,862	0,02034	---	0,01369	---
Líquido del plato	664	10493	437,196	49,87	280,0	1,190	16,18
Vapor del plato	107	1736	72,333	0,02339	---	0,01323	---
Líquido al plato	654	10744	447,667	49,64	278,7	1,079	15,90

Tabla N° 123: Flujos de líquido y vapor correspondientes a los platos de la torre T-100X, al procesarse el crudo CPG, con dos etapas en la zona de despojamiento.
Carga Mínima.

Plato N° 1							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	18	168	7,000	0,00508	---	0,01599	---
Líquido del plato	714	7041	293,375	51,04	286,6	1,735	17,57
Vapor del plato	33	356	14,842	0,00817	---	0,01552	---
Líquido al plato	704	7229	301,217	50,81	285,3	1,626	17,29
Plato N° 2							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	33	356	14,842	0,00817	---	0,01552	---
Líquido del plato	704	7229	301,217	50,81	285,3	1,626	17,29
Vapor del plato	48	544	22,683	0,01126	---	0,01506	---
Líquido al plato	694	7417	309,054	50,58	284,0	1,517	17,01
Plato N° 3							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	48	544	22,683	0,01126	---	0,01506	---
Líquido del plato	694	7417	309,054	50,58	284,0	1,517	17,01
Vapor del plato	63	733	30,525	0,01435	---	0,01460	---
Líquido al plato	684	7605	316,896	50,33	282,6	1,408	16,73
Plato N° 4							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	63	733	30,525	0,01435	---	0,01460	---
Líquido del plato	684	7605	316,896	50,33	282,6	1,408	16,73
Vapor del plato	78	921	38,367	0,01744	---	0,01413	---
Líquido al plato	674	7794	324,737	50,10	281,3	1,299	16,46
Plato N° 5							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	78	921	38,367	0,01744	---	0,01413	---
Líquido del plato	674	7794	324,737	50,10	281,3	1,299	16,46
Vapor del plato	93	1109	46,208	0,02053	---	0,01366	---
Líquido al plato	664	7982	332,575	49,87	280,0	1,190	16,18
Plato N° 6							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	93	1109	46,208	0,02053	---	0,01366	---
Líquido del plato	664	7982	332,575	49,87	280,0	1,190	16,18
Vapor del plato	109	1297	54,050	0,02362	---	0,01320	---
Líquido al plato	654	8170	340,417	49,64	278,7	1,081	15,90

Tabla N° 124: Flujos de líquido y vapor correspondientes a los platos de la torre T-100X, al procesarse el crudo LRM, con dos etapas en la zona de despojamiento.
Carga Máxima.

Plato N° 1							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	18	228	9,500	0,00596	---	0,01933	---
Líquido del plato	563	8722	363,417	49,35	277,1	0,786	16,21
Vapor del plato	40	656	27,333	0,01124	---	0,01832	---
Líquido al plato	556	9150	381,250	49,09	275,6	0,743	15,90
Plato N° 2							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	40	656	27,333	0,01124	---	0,01832	---
Líquido del plato	556	9150	381,250	49,09	275,6	0,743	15,90
Vapor del plato	62	1084	45,167	0,01653	---	0,01731	---
Líquido al plato	550	9578	399,083	48,80	274,0	0,701	15,58
Plato N° 3							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	62	1084	45,167	0,01653	---	0,01731	---
Líquido del plato	550	9578	399,083	48,80	274,0	0,701	15,58
Vapor del plato	83	1511	62,958	0,02182	---	0,01630	---
Líquido al plato	543	10006	416,917	48,53	272,5	0,658	15,27
Plato N° 4							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	83	1511	62,958	0,02182	---	0,01630	---
Líquido del plato	543	10006	416,917	48,53	272,5	0,658	15,27
Vapor del plato	105	1939	80,792	0,02711	---	0,01529	---
Líquido al plato	536	10434	434,750	48,27	271,0	0,615	14,95
Plato N° 5							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	105	1939	80,792	0,02711	---	0,01529	---
Líquido del plato	536	10434	434,750	48,27	271,0	0,615	14,95
Vapor del plato	127	2367	98,625	0,03240	---	0,01428	---
Líquido al plato	530	10862	452,583	47,98	269,4	0,573	14,63
Plato N° 6							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	127	2367	98,625	0,03240	---	0,01428	---
Líquido del plato	530	10862	452,583	47,98	269,4	0,573	14,63
Vapor del plato	149	2795	116,458	0,03768	---	0,01327	---
Líquido al plato	523	11290	470,417	47,71	267,9	0,53	14,32

Tabla N° 125: Flujos de líquido y vapor correspondientes a los platos de la torre T-100X, al procesarse el crudo LRM, con dos etapas en la zona de despojamiento.
Carga Mínima.

Plato N° 1							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	18	168	7,000	0,00596	---	0,01933	---
Líquido del plato	573	6523	271,792	49,00	275,1	0,801	15,99
Vapor del plato	40	486	20,250	0,01130	---	0,01831	---
Líquido al plato	567	6841	285,042	48,73	273,6	0,757	15,68
Plato N° 2							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	40	486	20,250	0,01130	---	0,01831	---
Líquido del plato	567	6841	285,042	48,73	273,6	0,757	15,68
Vapor del plato	62	804	33,500	0,01660	---	0,01729	---
Líquido al plato	560	7159	298,292	48,46	272,1	0,713	15,37
Plato N° 3							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	62	804	33,500	0,01660	---	0,01729	---
Líquido del plato	560	7159	298,292	48,46	272,1	0,713	15,37
Vapor del plato	84	1122	46,750	0,02200	---	0,01627	---
Líquido al plato	553	7477	311,542	48,18	270,5	0,669	15,06
Plato N° 4							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	84	1122	46,750	0,02200	---	0,01627	---
Líquido del plato	553	7477	311,542	48,18	270,5	0,669	15,06
Vapor del plato	106	1440	60,000	0,02730	---	0,01526	---
Líquido al plato	546	7795	324,792	47,91	269,0	0,626	14,75
Plato N° 5							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	106	1440	60,000	0,02730	---	0,01526	---
Líquido del plato	546	7795	324,792	47,91	269,0	0,626	14,75
Vapor del plato	128	1758	73,250	0,03270	---	0,01424	---
Líquido al plato	539	8113	338,042	47,64	267,5	0,582	14,44
Plato N° 6							
	Peso Mol.	Flujo, Klb/día	Flujo, Klb/h	Densidad Lb/pie ³	Densidad, Lb/bbl	Viscosidad, cp	Tensión Superficial, din/cm
Vapor al plato	128	1758	73,250	0,03270	---	0,01424	---
Líquido del plato	539	8113	338,042	47,64	267,5	0,582	14,44
Vapor del plato	151	2076	86,500	0,03800	---	0,01322	---
Líquido al plato	532	8431	351,292	47,38	266,0	0,538	14,12

CAPÍTULO VIII. APÉNDICES

Anexo A. Nombres de las corrientes y unidades en la simulación.

Tabla N° 126: Nombres de las corrientes utilizadas en el esquema de la simulación de PVAY-2 (ver figuras N° 27, 28 y 29 y 30)

<i>Descripción</i>	<i>TJM-26</i>	<i>CPG</i>	<i>LRM</i>
	<i>Unidad</i>		
Mezclador a la torre de vacío	M1	-----	-----
Mezclador a la torre atmosférica	-----	-----	M1
Separador Flash de la torre de vacío T-100X	FLASH	FLASH	F14
Separador Flash de la torre atmosférica T-1X	-----	-----	F2
Torre de destilación atmosférica T-1X	-----	-----	T1X2
Torre de destilación de vacío T-100X	T100	T100	T100
Despojador lateral T-101	T101	T101	SS1
Despojador lateral T-102	T102	T102	SS2
Despojador lateral T-2X	-----	-----	T12
Despojador lateral T-3X	-----	-----	T22
Despojador lateral T-4X	-----	-----	T32
Separador	-----	-----	SP1
Bomba de overflash	P1	P1	P2
	<i>Corrientes</i>		
Cabecera (alimentación)	CABECERA	-----	-----
Corte lateral N° 1 (alimentación)	CORTE1	-----	-----
Corte lateral N° 2 (alimentación)	CORTE2	-----	-----
Corte lateral N° 3 (alimentación)	CORTE3	-----	-----
Fondo de vacío (alimentación)	FONDOVACÍO	-----	-----
Alimentación al mezclador de la torre T-1X	-----	-----	LRM
Alimentación al separador flash de la torre T-100X	ALIMENTACIÓN	ALIMENTACIÓN	FONDOATM
Alimentación al separador flash de la torre T-1X	-----	-----	S2
Corriente líquida del separador flash a la torre T-1X	-----	-----	P2LF
Corriente gaseosa del separador flash a la torre T-1X	-----	-----	P2VF
Corriente líquida del separador flash a la torre T-100X	ALPV2	ALPV2	ALPV2
Corriente gaseosa del separador flash a la torre T-100X	AGPV2	AGPV2	AGPV2

Continuación de la Tabla N° 126

Vapor a los pases del horno (alimentado al separador flash de la torre de vacío T-100X)	VAPOR	VAPOR	S9
Vapor de despojamiento a la torre T-100X	VAPORTORRE	VAPORTORRE	S7
Vapor de despojamiento a la torre T-1X	-----	-----	VAPORT1X
Vapor de despojamiento al despojador T-101	VAPOR101	VAPOR101	S15
Vapor de despojamiento al despojador T-102	VAPOR102	VAPOR102	S11
Vapor de despojamiento al despojador T-2X	-----	-----	ST12
Vapor de despojamiento al despojador T-3X	-----	-----	ST22
Vapor de despojamiento al despojador T-4X	-----	-----	ST32
Flujo de gases craqueados al horno	CRAQUEADOS	CRAQUEFALTA	S3
Corriente de agua del condensador de la torre T-1X	-----	-----	WAT2
Corriente de gas del condensador de tope de la torre T-1X			GAS2
Corriente de nafta (producto)	-----	-----	NAF2
Corriente de kerosén (producto)	-----	-----	KERO2
Corriente de heating oil (producto)	-----	-----	HOIL2
Corriente de nafta (salida de la torre)	-----	-----	CORTE1
Corriente de kerosén (salida de la torre)	-----	-----	CORTE2
Corriente de heating oil (salida de la torre)	-----	-----	CORTE3
Corriente de diesel (producto)	-----	-----	DIESEL2
Corriente de gases del tope de la torre T-100X	TOPE	TOPE	TOPE
Cabecera (producto)	CAB	CAB	CAB
Corte lateral N°1 (producto)	CORTELAT1	CORTELAT1	CL1
Corte lateral N°2 (producto)	CL2	CL2	CL2
Corte lateral N°3 (producto)	CORTELAT3	CORTELAT3	CL3
Overflash (producto)	OV	OVER	S13
Overflash (salida de la torre)	-----	OV	OVER
Corte lateral N° 1 (salida de la torre)	CL1	CL1	CL112

Continuación de la Tabla N° 126

Corte lateral N° 3 (salida de la torre)	CL3	CL3	CL333
Fondo de vacío (producto)	FONDO	FONDO	FONDO
Vapor de retorno a la torre del despojador T-101	VT101	VT101	VT101
Vapor de retorno a la torre del despojador T-102	VT102	VT102	VT102
Vapor de retorno a la torre del despojador T-2X	-----	-----	SO12
Vapor de retorno a la torre del despojador T-3X	-----	-----	SO22
Vapor de retorno a la torre del despojador T-4X	-----	-----	SO32
Corriente de alimentación a la planta de vacío (salida del separador)	-----	-----	ALIMT100X
Corriente de exceso de fondo atmosférico (salida del separador)	-----	-----	S1

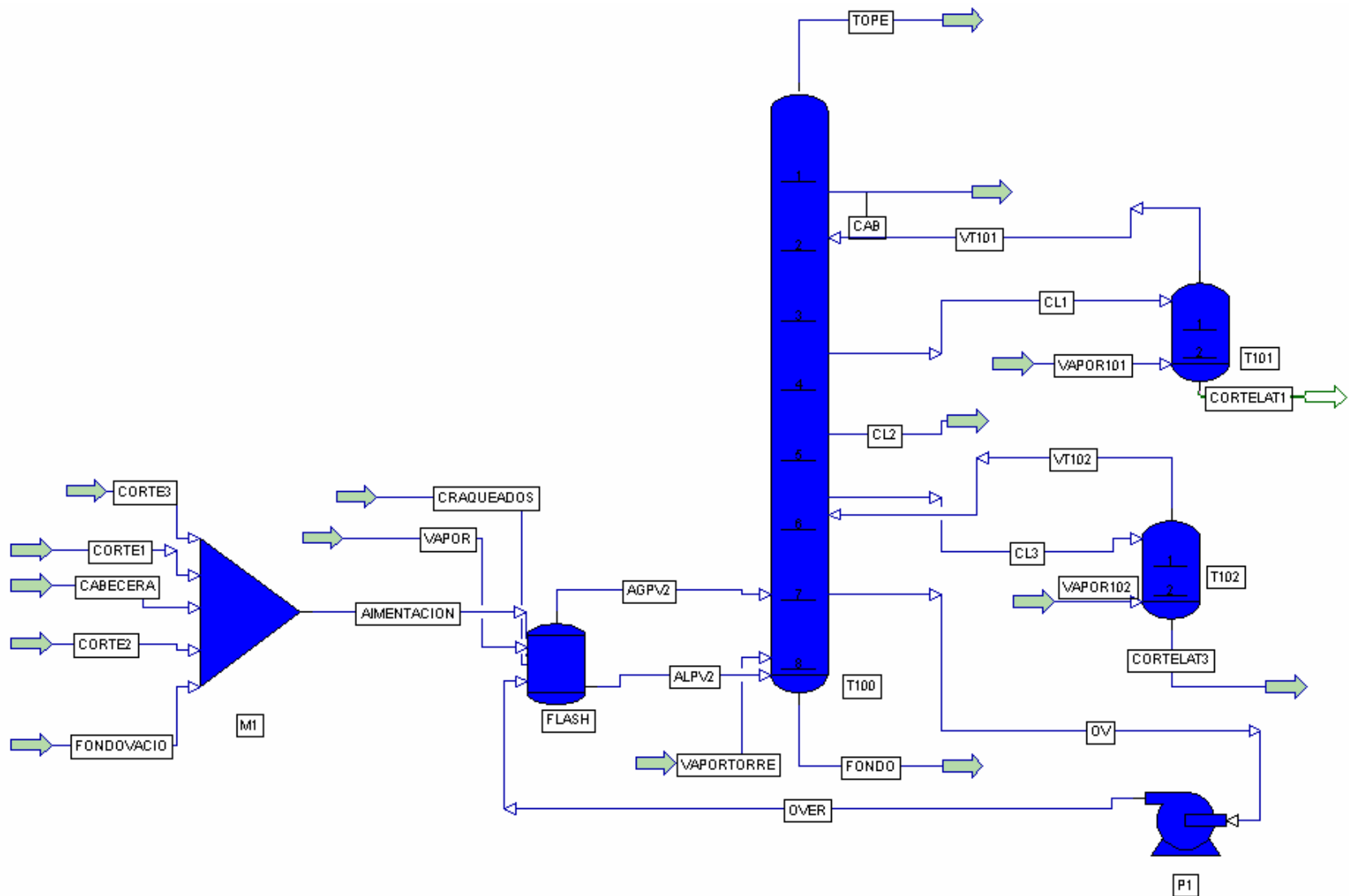


Figura N° 27: Diagrama de la simulación, al procesarse el crudo TJM 26

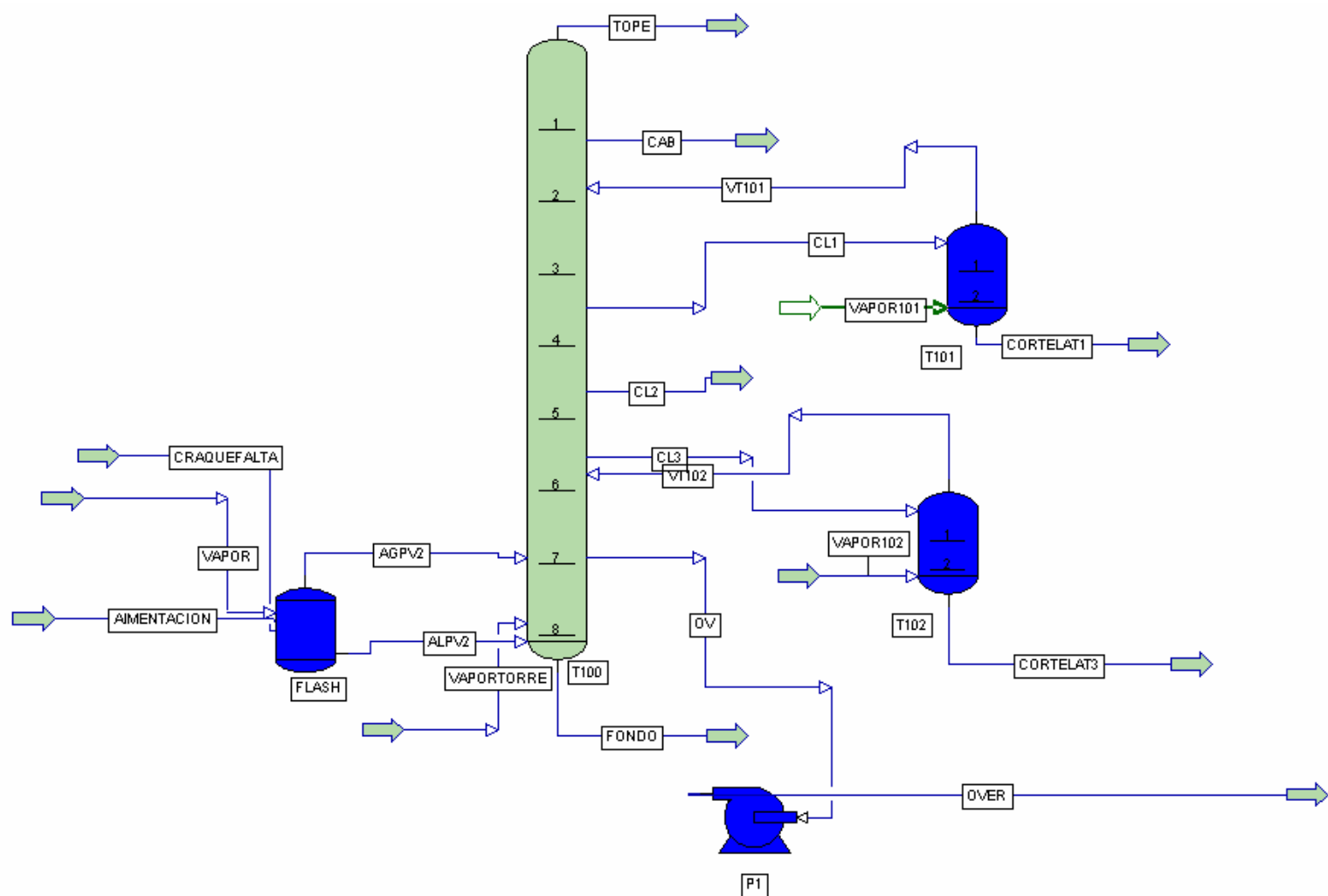


Figura N° 28: Diagrama de la simulación al procesarse el crudo CPG

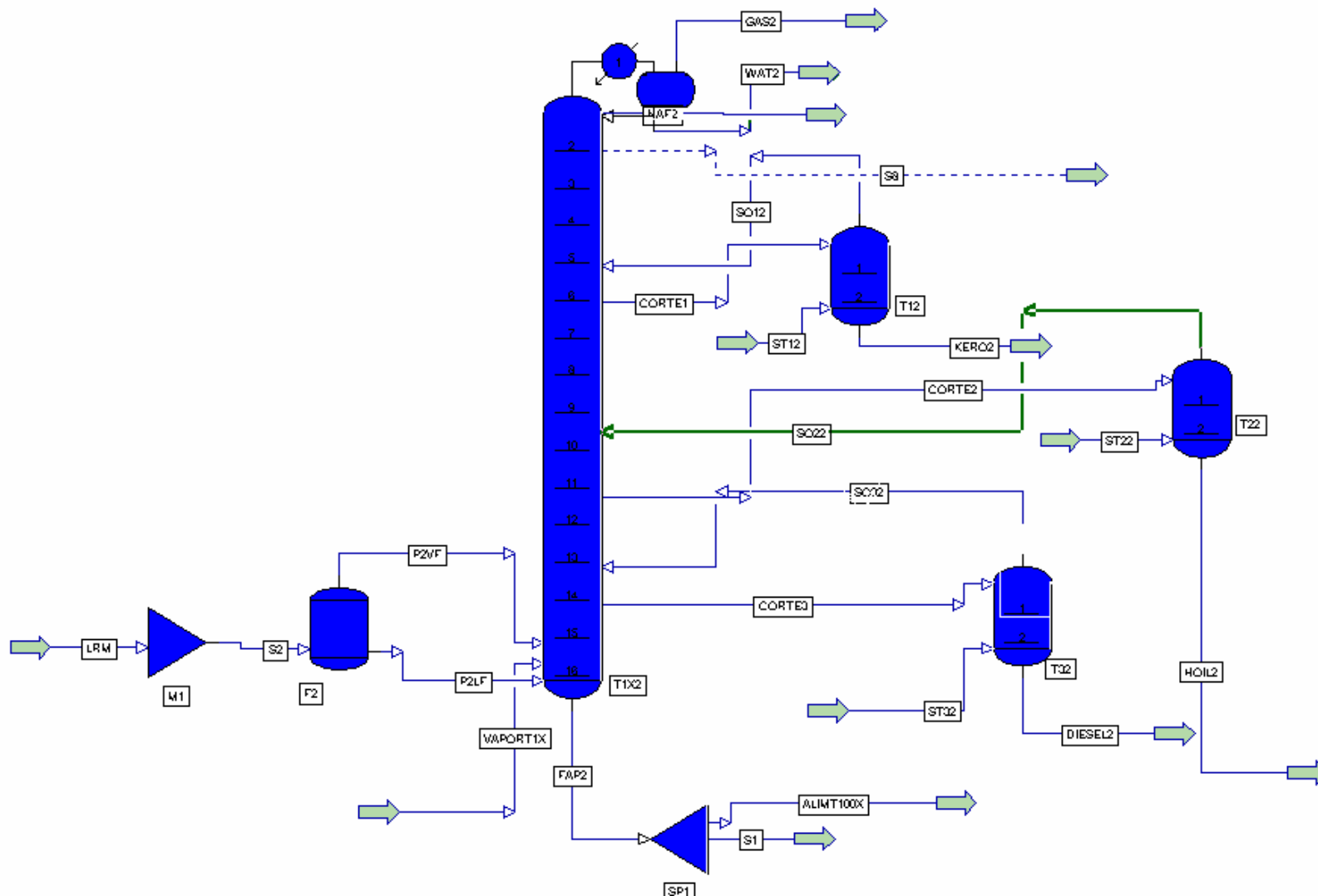


Figura N° 29: Diagrama de la simulación al procesarse el crudo LRM. Torre atmosférica

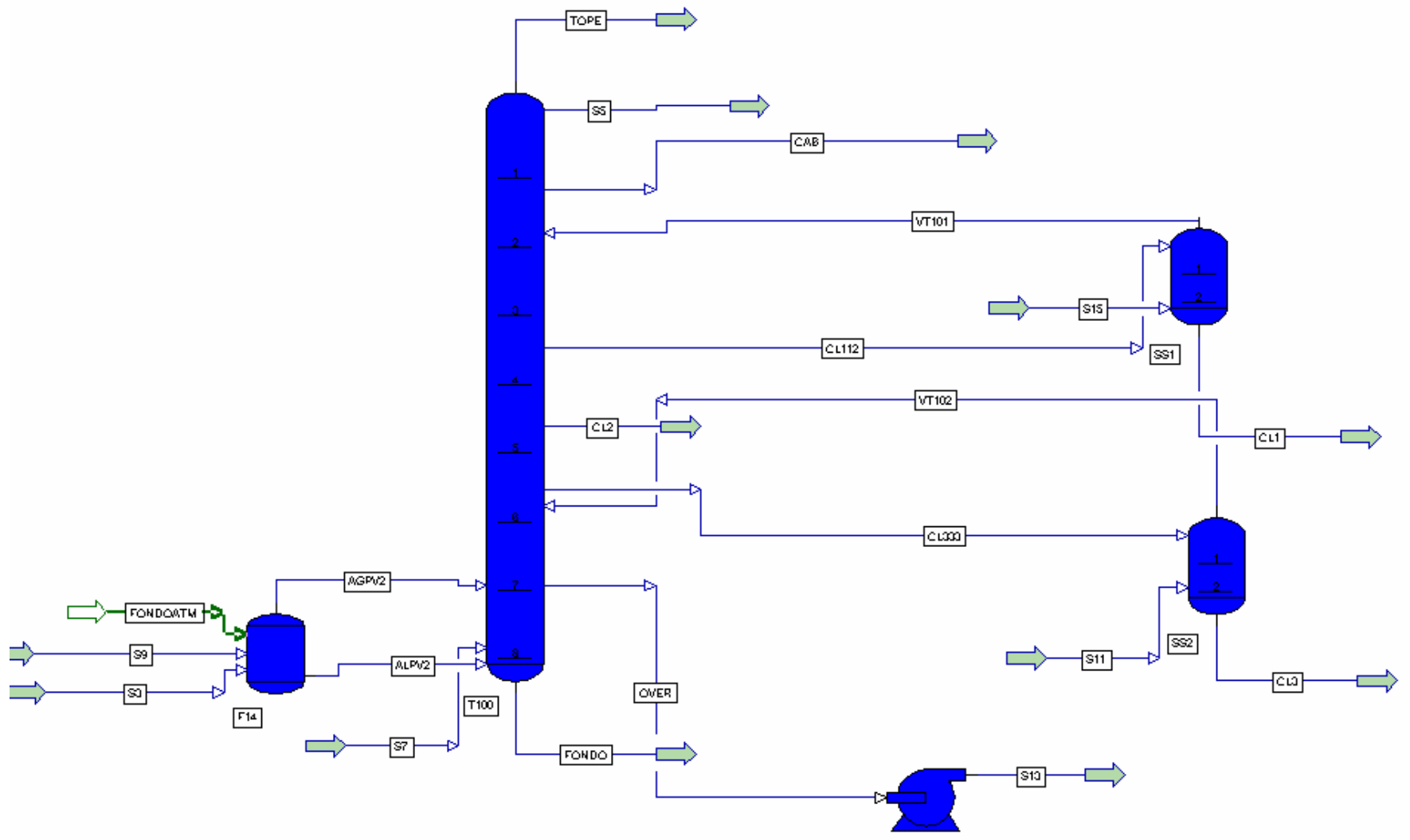


Figura N° 30: Diagrama de la simulación al procesarse el crudo LRM. Torre de vacío.

Anexo C. Diagramas de la torre de destilación atmosférica T-1X.

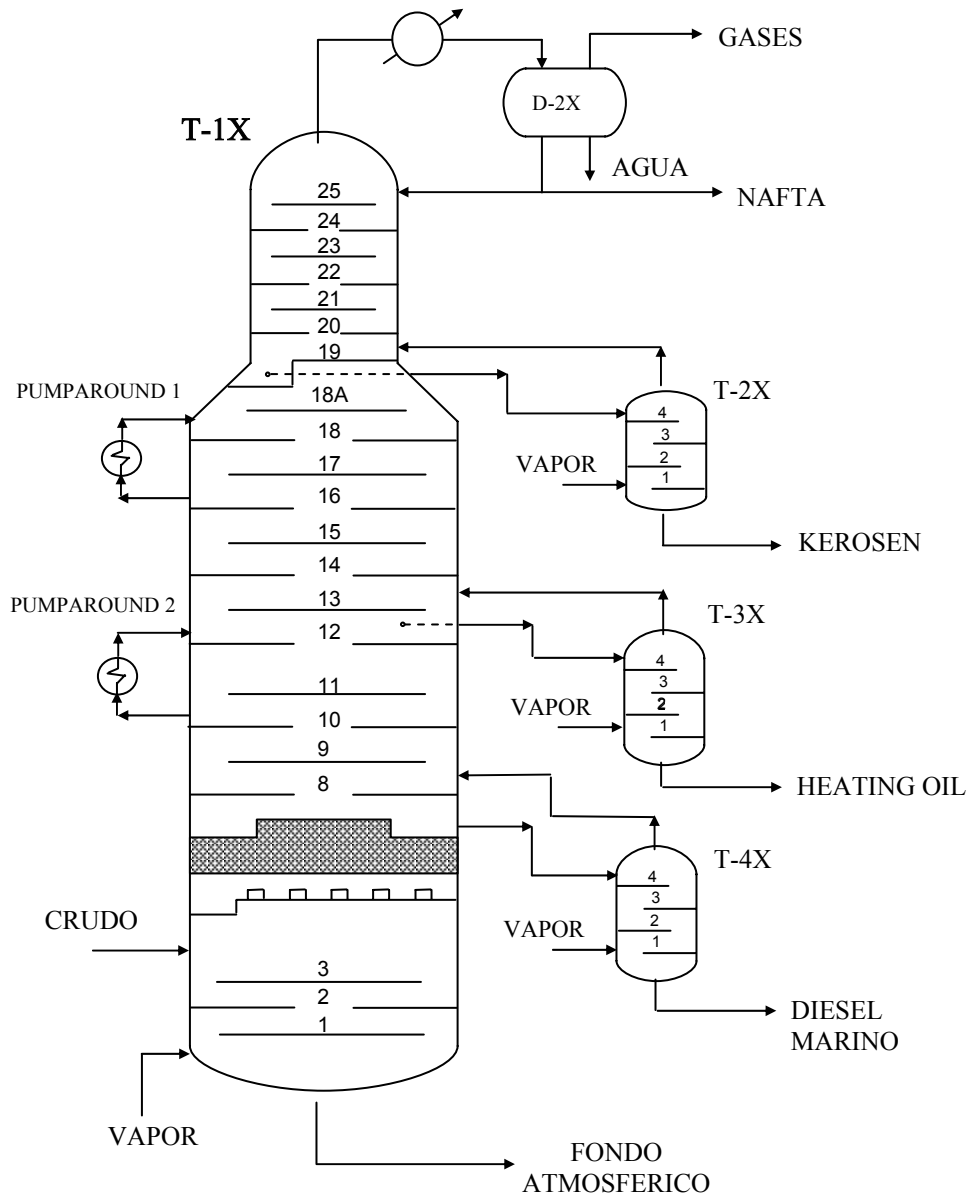


Figura N° 31. Diagrama de la torre de destilación atmosférica T-1X.

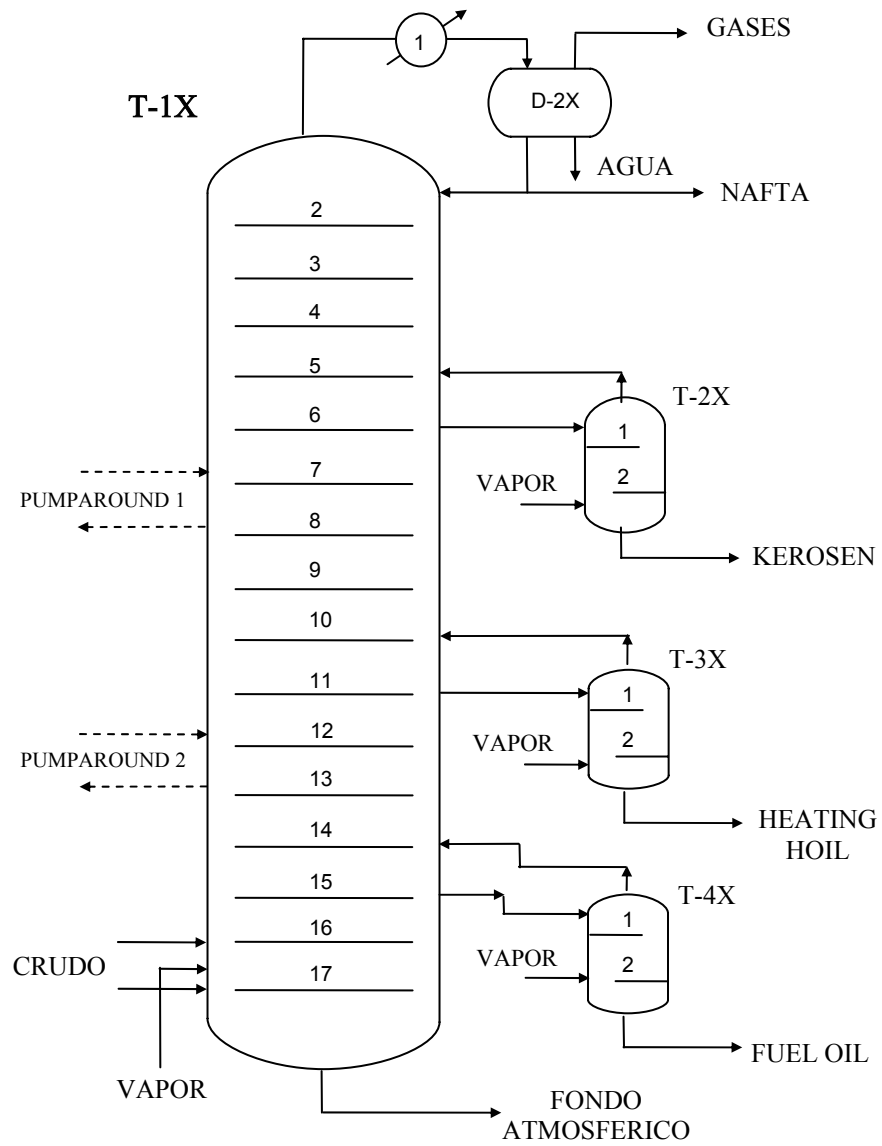


Figura N° 32. Distribución de las etapas teóricas para la simulación de la torre T-1X en PRO-II with PROVISION.

