

Refino Petroquímico

Bloque II. Procesos de separación en refinería



Aurora Garea Vázquez

Departamento de Ingenierías
Química y Biomolecular

Este tema se publica bajo Licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Contenidos: Destilación

2.1 Objetivos y situación de la destilación en refinería

2.2 Desalado del crudo

2.3 Diagramas de proceso de la destilación en refinería

2.4 Estimación de costes y servicios

Bibliografía

- ✓ J-P. Wauquier, Petroleum Refining, 2. Separation processes. Technip, 2000.
- ✓ J. H. Gary, G.E. Handwerk, Refino de petróleo: tecnología y economía. Reverté, 1980. Reimpresión 2003.
- ✓ R. Dubois, Introducción a la refinación del petróleo. Eudeba, 2006.
- ✓ J. G. Speight, The chemistry and technology of petroleum. Taylor & Francis Group, 2007.
- ✓ M. A. Fahim, T. A. Alsahhaf, A. Elkilani, Fundamentals of petroleum refining. Recurso electrónico. Elsevier, 2010.

2.1 Objetivos y situación de la destilación en refinería

La unidad de destilación del crudo, también llamada *Topping*, opera con grandes caudales de alimentación al estar al inicio del procesado del crudo en refinería. Su tamaño y coste es el mayor en la refinería.

- La capacidad de esta unidad:

10.000 – 400.000 *barrels per stream day* (BPSD)

- El objetivo de esta unidad es separar el crudo en fracciones de acuerdo a su punto de ebullición, produciendo productos que a su vez son materias primas que tienen que ser procesados en otras unidades posteriores en la refinería para obtener productos de determinadas especificaciones, como son por ejemplo eliminar componentes indeseables como azufre, nitrógeno y metales.

- Se consiguen las mayores eficacias y los costes más bajos si la separación del crudo tiene lugar en dos etapas: 1º fraccionando la totalidad del crudo a presión atmosférica, y 2º alimentando la fracción de los residuos de punto de ebullición más alto de la 1ª columna a una segunda columna que opera a vacío.

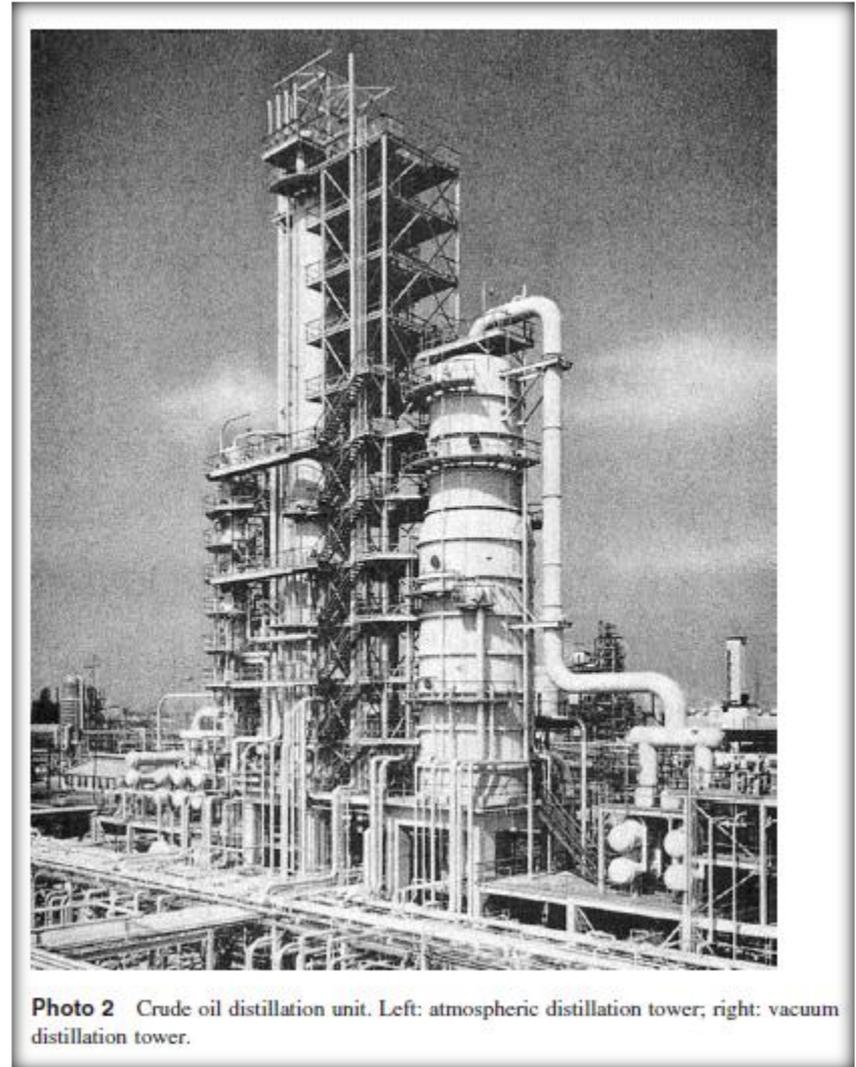
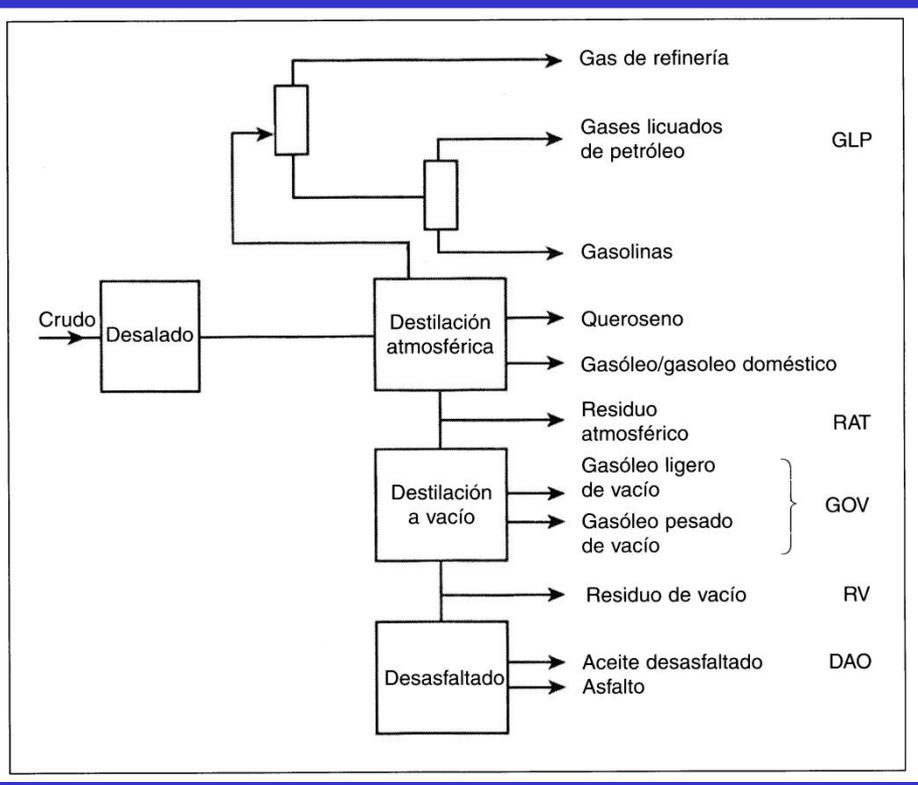


Photo 2 Crude oil distillation unit. Left: atmospheric distillation tower; right: vacuum distillation tower.

J.H.Gary-G.E. Handwerk - Petroleum refining, technology and economics, 4ed 2001, Marcel Dekker

2.1 Objetivos y situación de la destilación en refinería

<i>Procesos de separación</i>	<i>En qué consiste, objetivo</i>
Destilación primaria del crudo (a presión atmosférica)	El objetivo es separar en fracciones adecuadas a su utilización posterior, en función de los cortes por intervalos de temperaturas de ebullición.
Destilación secundaria del crudo (a vacío)	Es complementaria a la destilación primaria, permitiendo extraer del mismo destilados pesados, que serán transformados posteriormente o servirán para su empleo como bases de aceites lubricantes. El residuo de vacío que contiene la mayor parte de las impurezas del crudo (metales, sales, sedimentos, azufre, nitrógeno, asfaltenos...) se utiliza para la fabricación de betunes, producción de fueles pesados o como carga a otros procesos de transformación.



Ejemplo de distribución de las fracciones obtenidas en las destilaciones atm. y a vacío. El crudo es mezcla 50/50% Arabia ligero y pesado. $d_4^{15}=0,875$

Cortes	% peso sobre crudo	% volumen sobre crudo
Gases de refinería	0,28	-
GLP	1,09	1,70
Nafta ligera	3,87	5,18
Nafta pesada	13,85	16,33
Queroseno	6,74	7,44
Gasóleo-FOD	24,37	25,06
Destilados a vacío	23,50	22,00
Residuo de vacío	26,30	22,20
Total	100,00	99,91

J. -P. Wauquier, "El refinado del petróleo", Ed. Diaz de Santos

2.1 Objetivos y situación de la destilación en refinería

Características de las fracciones obtenidas en las destilaciones atm. y a vacío.

El crudo es mezcla 50/50% Arabia ligero y pesado. $d_4^{15}=0,875$

Características de los cortes	Nafta ligera	Nafta pesada	Queroseno	Gasóleos	RAT	DV	RV
Corte TBP (°C)	C ₅ -80	80-180	180-225	225-375	375+	375-550	550+
d_4^{15}	0,654	0,742	0,793	0,851	0,986	0,935	1,037
Azufre (% peso)	0,003	0,035	0,15	1,4	3,95	2,8	5,0
Nitrógeno (ppm)						≅1000	≅3500
Parafinas (%vol)		73					
Naftenos (%vol)		15					
Aromáticos (%vol)		12	20,5				
Punto humo (mm)			19				
Punto congelación (°C)			-50				
Punto niebla (°C)				-5			
Número cetano				53			
RON claro							
Visc. a 50 °C				2,4			
Visc. a 100 °C				1,1	85	9	3300
Carbono Conr. (%peso)					12,5	1,2	22,6
Insolub. C ₇ (%peso)					5,6		10,6
Ni (ppm)					25		47
V (ppm)					73		138

Los componentes no deseados aumentan en pesados

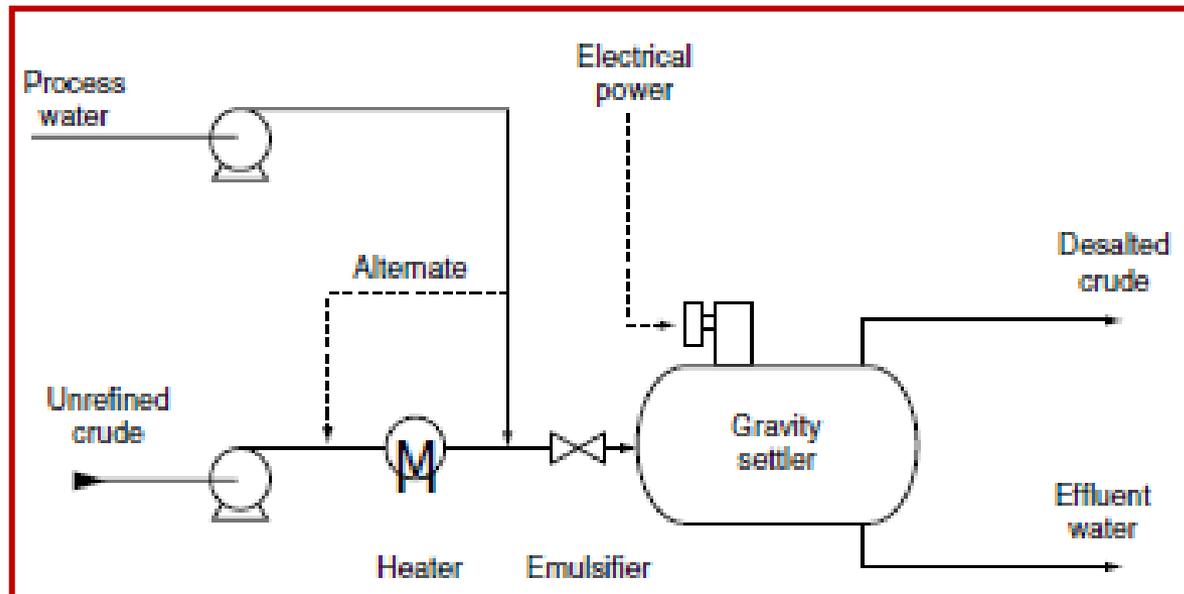
Los metales se concentran en los residuos

2.2 Desalado del crudo

Si el contenido en sal del crudo de petróleo es superior a 10 lb / 1000 bbl (expresado como NaCl), el crudo requiere un desalado para minimizar el ensuciamiento y la corrosión debidas al depósito de sal sobre las superficies de transmisión de calor y a los ácidos formados por la descomposición de los cloruros. Además, en el proceso de desalado se eliminan parcialmente algunos metales que pueden dar lugar a la desactivación de catalizadores en las unidades de proceso catalítico.

El desalado se lleva a cabo por emulsión del crudo con agua a unos 250°F y bajo una suficiente presión para prevenir la vaporización de los hidrocarburos o del agua. Las sales se disuelven en el agua y las fases acuosa y orgánica se separan utilizando productos químicos para romper la emulsión y/o mediante un campo eléctrico de potencial elevado (> 1000 V/cm).

Unidad de desalación electrostática



J.G. Speight, "The chemistry and technology of petroleum", 2007, ed. CRC Press

2.2 Desalado del crudo

Tipos de sales en el crudo de petróleo

Las sales en el crudo se encuentran en forma de sales disueltas en finas gotas de agua, es denominado *water-in-oil emulsion*, donde la fase continua es el crudo y la dispersa es el agua. Estas gotas de agua son tan pequeñas que no se pueden sedimentar por gravedad.

Los tipos de sales que contienen estas gotas de agua dispersas son: cloruros de magnesio, calcio y sodio (el más abundante). Si no se eliminan, el problema es que estos cloruros de magnesio y calcio se pueden hidrolizar a altas temperaturas formando HCl que disuelto en el sistema de agua produciría corrosión por ácido clorhídrico.



Variables de operación en un desalador

- Voltaje aplicado (>1000 V/cm)
- Temperatura en el desalador →
- Relación de agua de lavado /crudo →
- Nivel de agua en el desalador
- Punto de inyección del agua de lavado
- Tipo de agua de lavado (pH alrededor de 6)
- Inyección de agente desemulsionante (copolímeros, 3-10 ppm)
- Pérdida de carga en la válvula de mezcla (0,5-1,5 bar)
- Presión en el desalador (12 bar, para asegurar que todo el crudo esté en fase líquida durante el desalado)
- Inyección de NaOH para neutralizar las sales remanentes: $\text{CaCl}_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2 + 2\text{NaCl}$



La relación agua/crudo y la temperatura de operación dependen de la densidad del crudo:

°API	Water wash, vol%	Temp. °F (°C)
>40	3-4	240-260 (115-125)
30-40	4-7	260-280 (125-140)
<30	7-10	280-330 (140-150)

J.H.Gary-G.E. Handwerk - Petroleum refining, technology and economics, 4ed 2001, Marcel Dekker

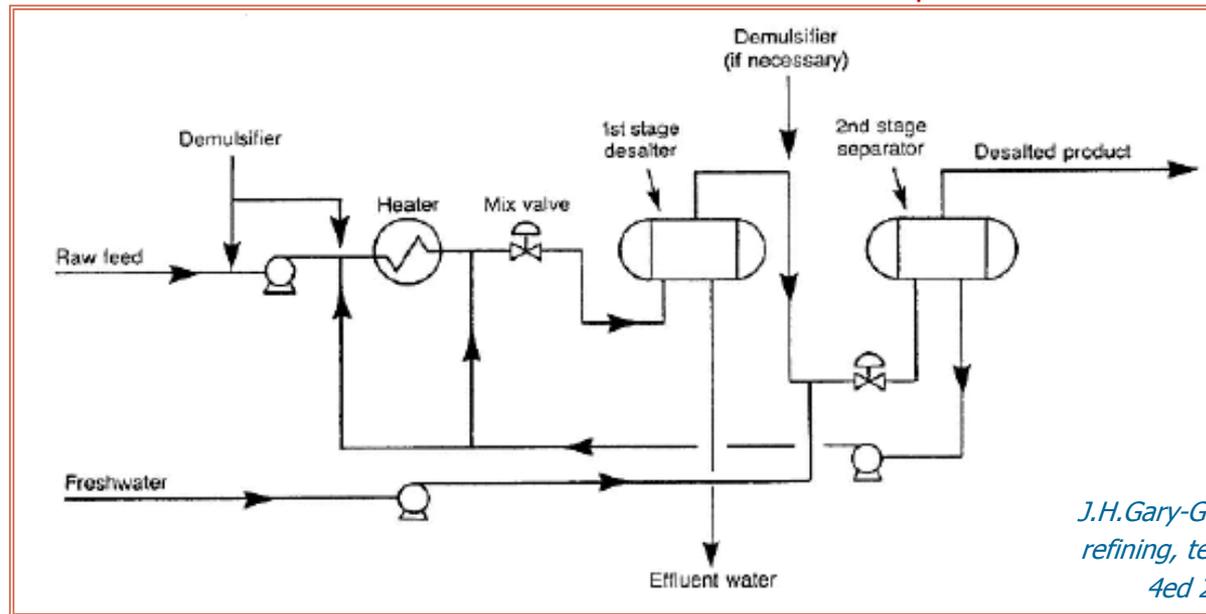
2.2

Desalado del crudo

La tendencia actual de procesamiento de crudos más pesados ha aumentado la necesidad de desalado de los crudos previo a su introducción a la unidad de destilación.

El contenido de sal del crudo se reduce normalmente un 90-95% en una etapa. Se pueden utilizar etapas adicionales en serie para aumentar la eficacia, 99% o superior en dos etapas. En los casos en los que el contenido de sal es superior a 20 lb / 1000 bbl, se han de utilizar dos etapas en serie.

Unidad de desalación electrostática con dos etapas



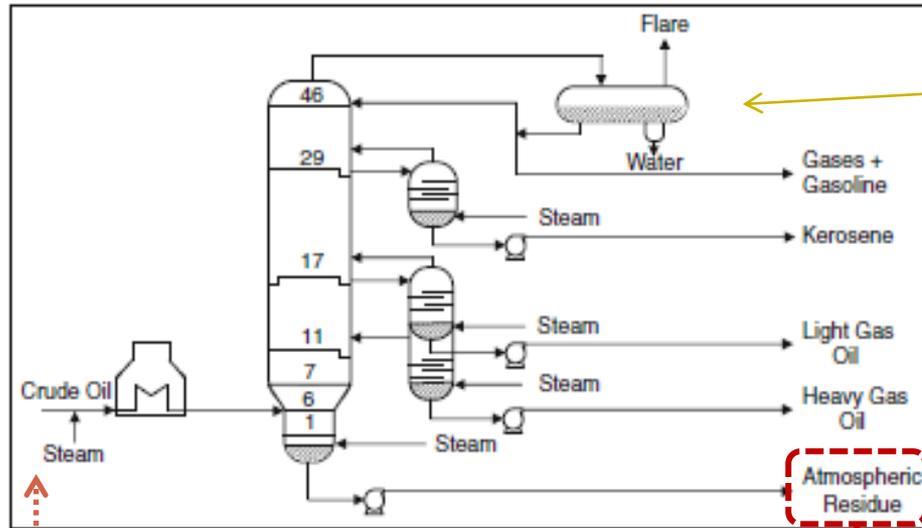
J.H.Gary-G.E. Handwerk - Petroleum refining, technology and economics, 4ed 2001, Marcel Dekker

- Una función secundaria pero también importante del proceso de desalado es la eliminación de sólidos suspendidos. Estos son frecuentemente partículas finas de arena o tierra, partículas de óxido de hierro o sulfuros de hierro procedentes de tuberías, tanques y contenedores. La eliminación de estas partículas en suspensión debe ser del 60 % o superior, requiriendo hasta un 80% en las partículas de mayor diámetro que 0,8 micrones.

2.3

Diagramas de proceso de la destilación en refinería

Diagramas de los procesos de destilación atmosférica y a vacío

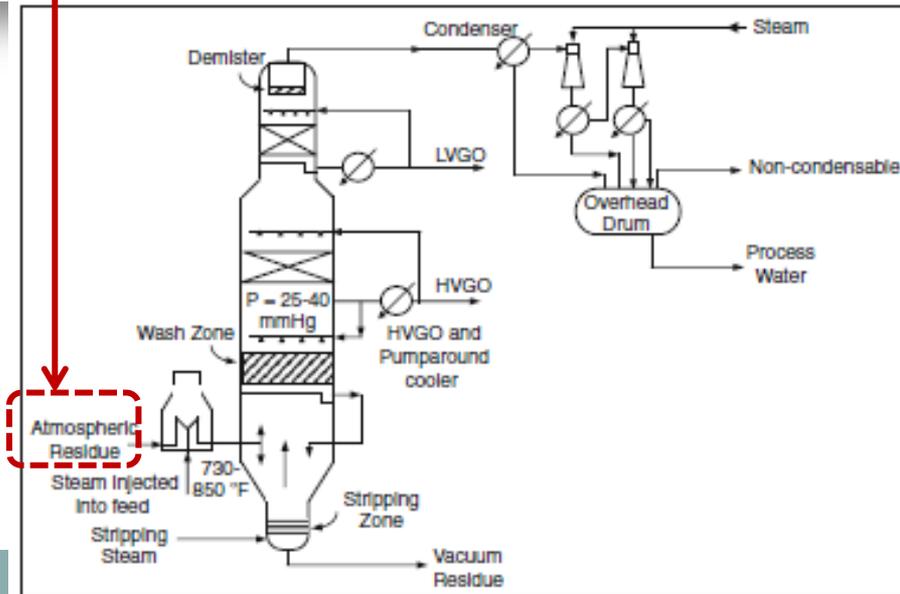


El condensador de la columna a p. atmosférica condensa la fracción de pentano y más pesados, de los vapores que salen de la cabeza de la columna. Esto constituye la porción de gasolina ligera de la cabeza, que contiene algunos butanos y propano y, esencialmente, todos los componentes de mayor punto de ebullición del vapor de cabeza de la columna. Parte de este condensado se devuelve a la columna como reflujo, y el restante se envía a la sección de estabilización de la planta de gas de la refinería, donde los butanos y el propano se separan de la gasolina ligera C₅-180.

Después del desalado, el crudo de petróleo se bombea a través de una serie de cambiadores de calor elevando su temperatura hasta alrededor de 550°F por intercambio de calor con las corrientes de producto y de reflujo, y hasta 750°F por calentamiento en un horno, para alimentarse a la columna de fraccionamiento atmosférica, que contiene entre 30 y 50 platos (*trays*), y varias salidas laterales para los diferentes cortes.

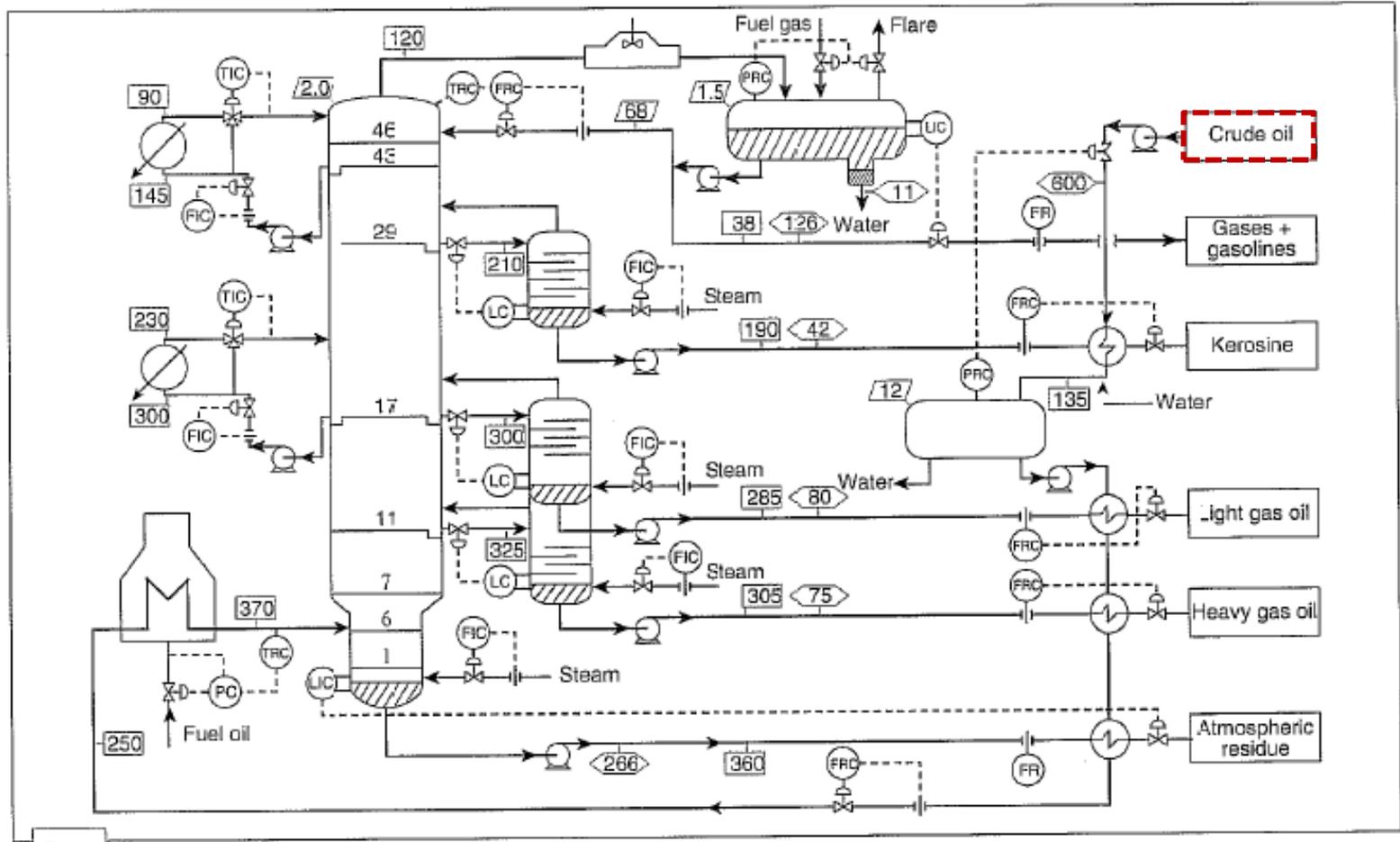
En la columna de fraccionamiento se necesitan de 5 a 8 platos para cada producto de la corriente lateral más el mismo número por encima y por debajo del plato de alimentación.

Las corrientes de salida laterales se procesan en columnas de separación que contienen de 4 a 10 platos, con vapor introducido por debajo del plato de cola.



2.3 Diagramas de proceso de la destilación en refinería

Ejemplo de valores de temperaturas, presiones y flujos en un diagrama de proceso de destilación atmosférica



J-P. Wauquier –Petroleum refining. 2. Separation processes, 2000, Technip

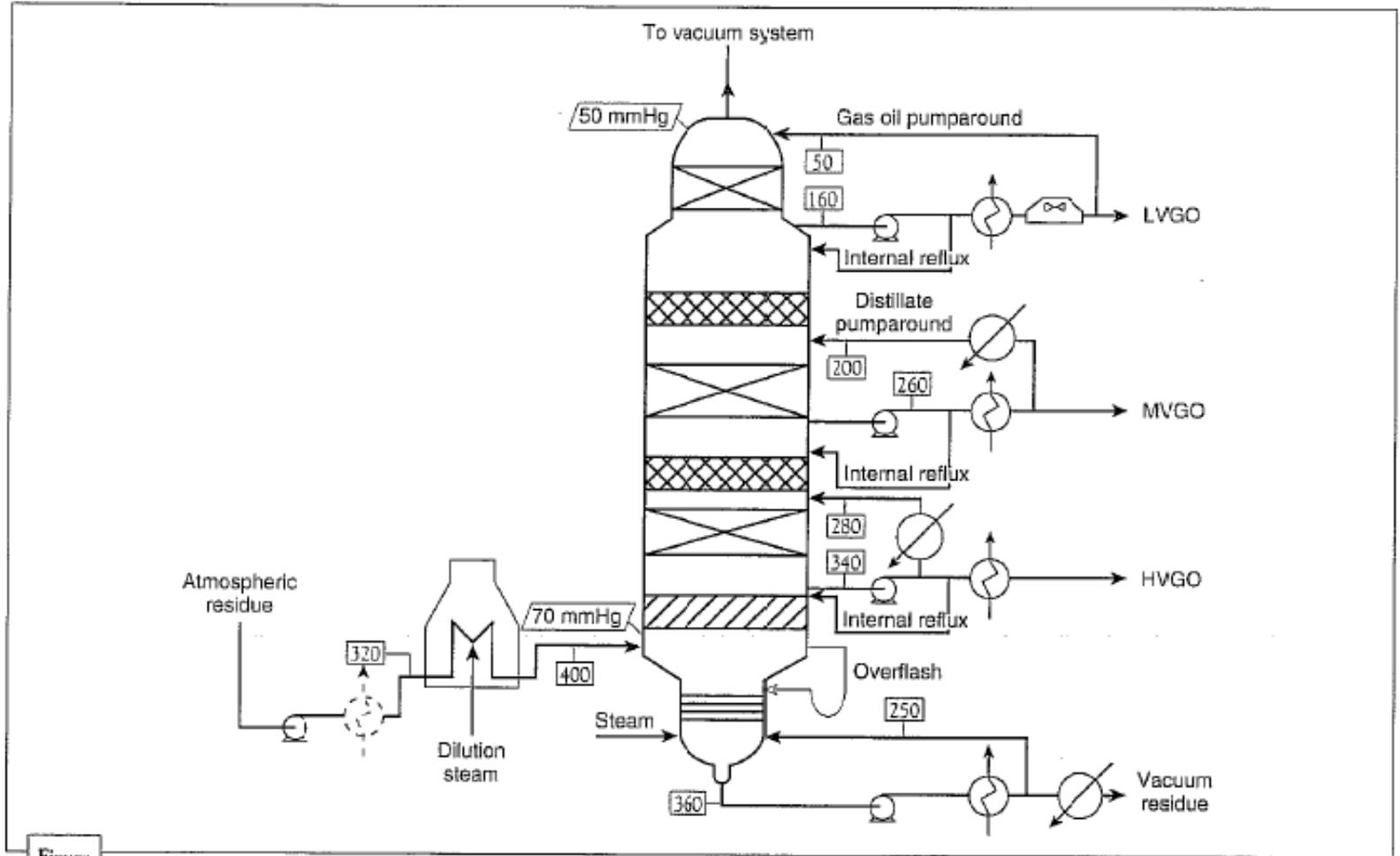
 Temperature indication
(°C, except if otherwise stated)

 Pressure indication
(bar rel. unless otherwise stated)

 Flow rate indication (m³/h)
(unless otherwise stated)

2.3 Diagramas de proceso de la destilación en refinería

Ejemplo de valores de las variables en un diagrama de proceso de destilación a vacío



Figure

J.-P. Wauquier -Petroleum refining. 2. Separation processes, 2000, Technip

 Temperature indication
(°C, except if otherwise stated)

 Pressure indication
(bar rel. unless otherwise stated)

 Flow rate indication (m³/h)
(unless otherwise stated)

2.3

Diagramas de proceso de la destilación en refinería

Algunos aspectos importantes de variables de operación en la CDU

- Temperatura de cabeza: esta debe ser controlada en 14-17 °C superior a la del punto de rocío del agua a la presión a la que se encuentra en la cabeza de columna de manera que no se condense agua líquida en la columna (para prevenir corrosión)

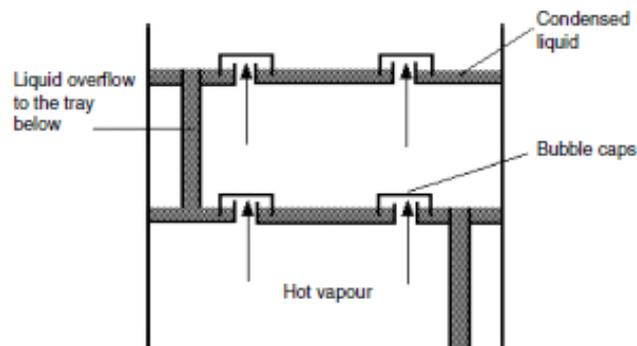
Ejemplo: Si la corriente de salida por cabeza contiene 8,5 % mol de agua a una presión de 2,36 bars, estimar la temperatura a la que se debe operar:

- (1) Calculamos la presión parcial del agua: $0,085 \times 2,36 = 0,2$ bars
- (2) Obtenemos de las tablas de vapor saturado la temperatura de saturación de vapor a 0,2 bars: 61 °C
- (3) Por lo que la temperatura de operación segura será : $61 \text{ °C} + 17 \text{ °C} = 78 \text{ °C}$

- Columnas pre-flash: para aumentar la capacidad de la unidad de operación, se puede introducir el crudo por estas columnas antes de su calentamiento en el horno previo a la entrada a la CDU, de manera que se separan ya aquí los componentes más ligeros. Estas columnas se incluyen en el diseño de la unidad CDU cuando se trata de procesar crudos ligeros.

¿Y cómo es la circulación de las fases vapor y líquida en la columna de destilación?

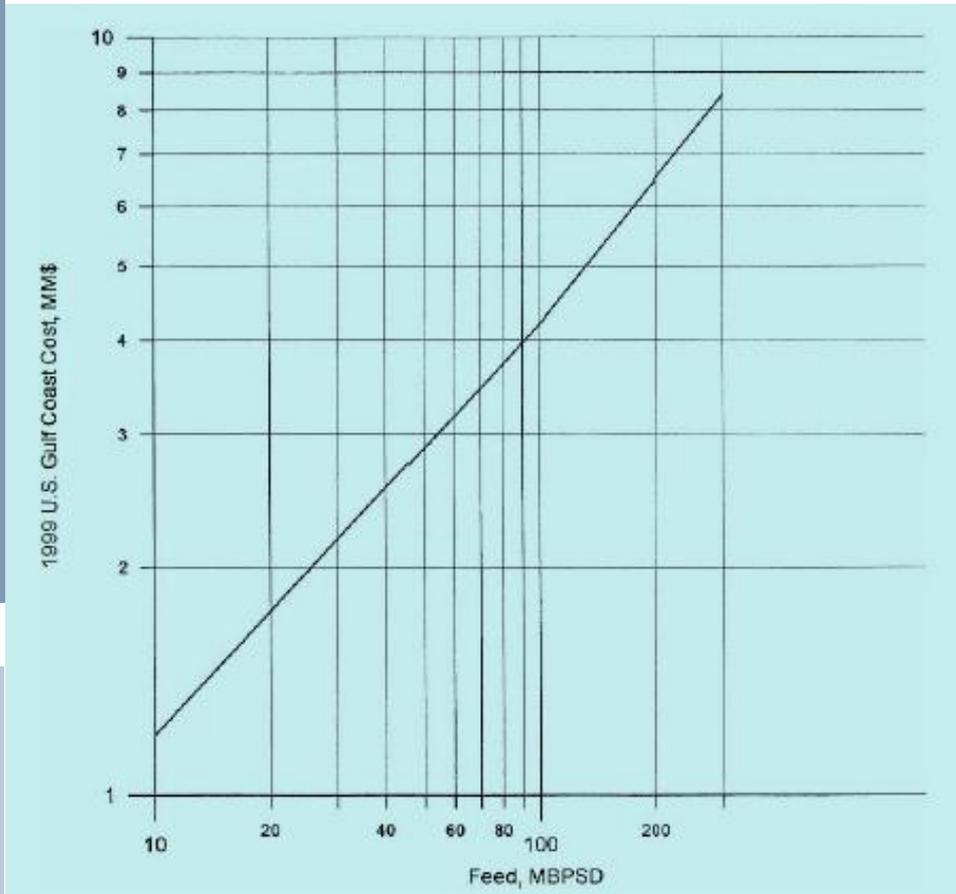
A bubble cup tray



*J.G. Speight , "The chemistry and technology of petroleum" ,
2007, ed. CRC Press*

2.4 Estimación de los costes y servicios

Costes de inversión de unidades de desalación del crudo



MBPSD = 1000 BPSD

J.H.Gary-G.E. Handwerk - Petroleum refining, technology and economics 4ed 2001, Marcel Dekker

Datos de costes del desalador

Costes incluidos

1. Unidad electrostática convencional de desalado
2. Inyección de agua
3. Inyección caustica
4. Precalentamiento y enfriamiento de agua

Costes no incluidos

1. Tratamiento del agua residual
2. Potencia suministrada

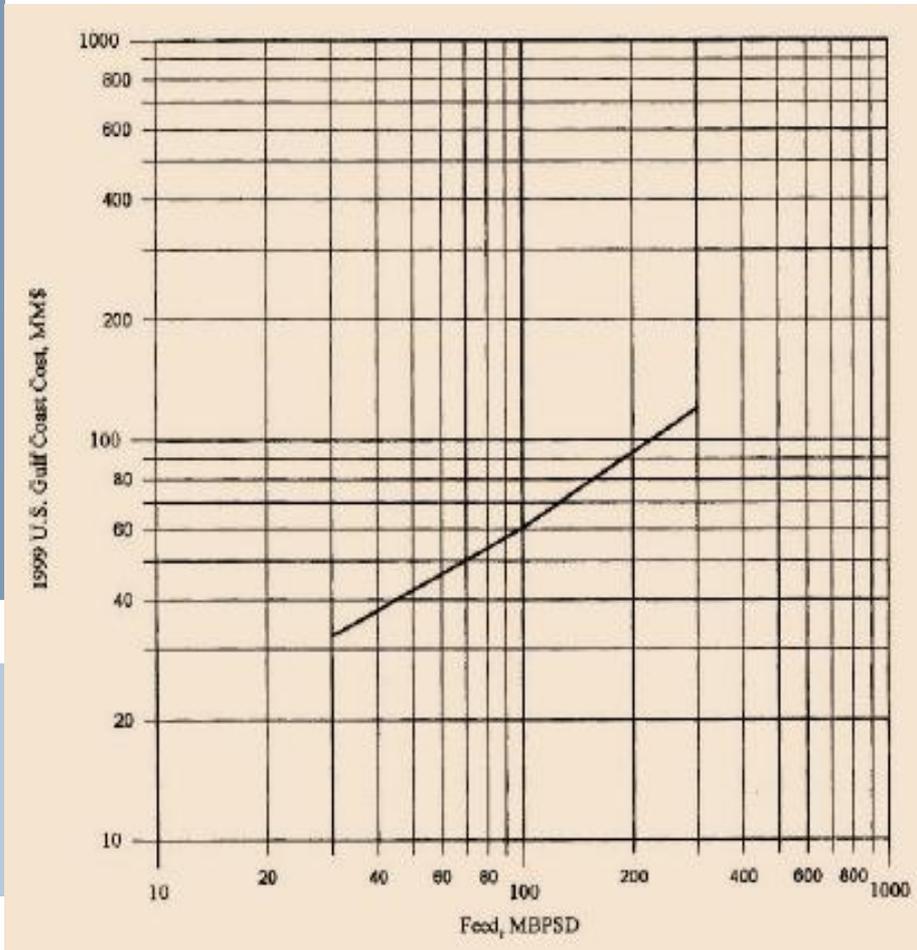
Datos de servicios (por bbl de alimentación)

- | | |
|---|----------------------------|
| 1. Potencia , KWh | 0,01-0,02 |
| 2. Agua de inyección, gal (m ³) | 1-3 (0,004-0,012) |
| 3. Producto químico | |
| desemulsionante, lb (kg) ^a | 0,005-0,01 (0,002-0,005) |
| 4. Alkali (<i>caustic</i>), lb (kg) | 0,001-0,003 (0,005-0,0014) |

^a precio \$ 1,5/lb

2.4 Estimación de los costes y servicios

Costes del inmovilizado de unidades de destilación atmosférica del crudo



Datos de costes de la unidad de destilación atmosférica

Costes incluidos

1. Unidad y cortes laterales con lavadores (strippers)
2. Intercambio de calor para enfriar todos los productos de cabeza y todos los cortes laterales hasta la temperatura ambiente
3. Sistema de control central

Costes no incluidos

1. Servicios: agua de enfriamiento, vapor y suministro de potencia
2. Desalado
3. Enfriamiento del crudo reducido (residuo de cola)
4. Tratamiento de agua residual
5. Almacenamiento de productos y alimentaciones
6. Estabilización de la nafta
7. Recuperación de las colas ligeras

Datos de servicios (por bbl de alimentación)

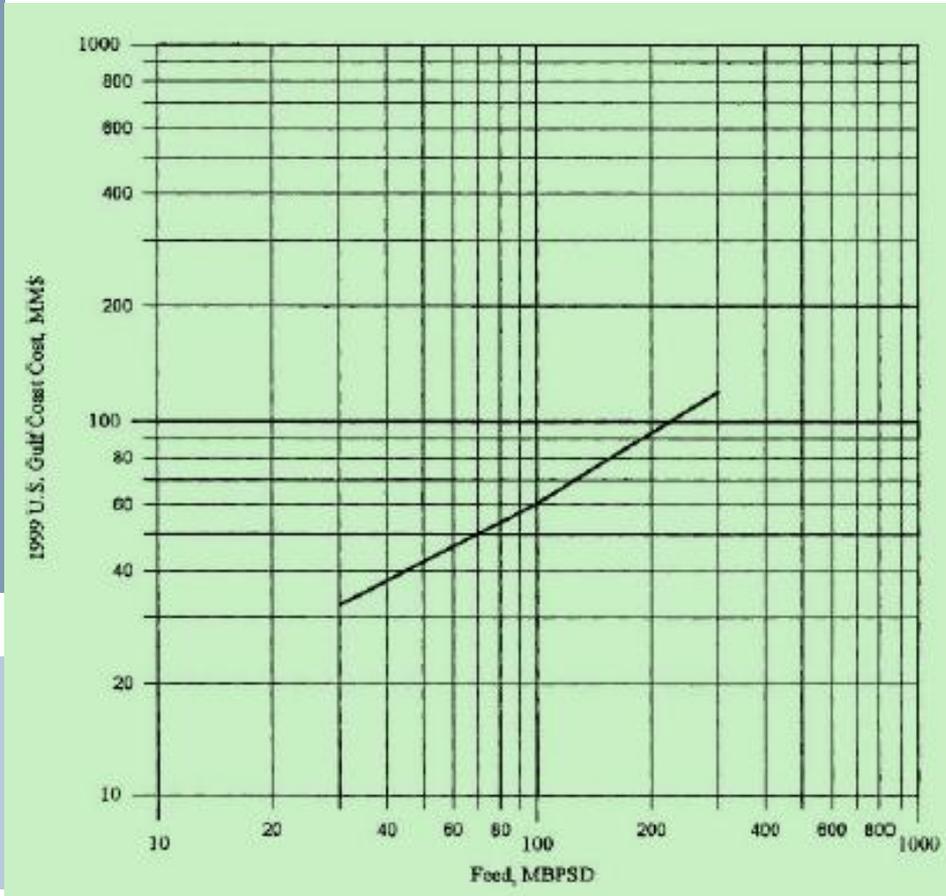
1. Potencia , KWh	0,9
2. Vapor [300 psig], lb(kg)	10,0 (4,5)
3. Agua de refrigeración ^a , gal (m ³)	150 (0,58)
4. Combustible, MMbtu (KJ)	0,05 (52750)

^a 30°F aumento

J.H.Gary-G.E. Handwerk - Petroleum refining, technology and economics 4ed 2001, Marcel Dekker

2.4 Estimación de los costes y servicios

Costes del inmovilizado de unidades de destilación a vacío del crudo



Datos de costes de la unidad de destilación a vacío

Costes incluidos

1. Unidad y todos los servicios necesarios para la producción de gasóleo de vacío
2. Sistema de eyección de tres etapas para operar en la zona de alimentación de 30 a 40 torr.
3. Enfriadores y cambiadores para reducir el GOV a temperatura ambiente

Costes no incluidos

1. Servicios: agua de enfriamiento, vapor y suministro de potencia
2. Enfriamiento de los residuos por debajo de 400°F.
3. Precalentamiento de alimentación hasta 670°F
4. Tratamiento de agua residual
5. Almacenamiento de productos y alimentación
6. Cortes múltiples o producción de aceites lubricantes

Datos de servicios (por bbl de alimentación)

1. Potencia, KWh	0,3
2. Vapor [300 psig], lb(kg)	10,0 (4,5)
3. Agua de refrigeración, gal (m3)	150 (0,58)
4. Combustible, MMbtu(KJ)	0,03 (31650)

^a 30°F aumento

J.H.Gary-G.E. Handwerk - Petroleum refining, technology and economics 4ed 2001, Marcel Dekker