


Capacitación para técnicos aspirantes a operadores de una refinería de petróleo

2023

Ing. Alfredo A Caballero



MÓDULO 9: DESTILACION

FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

EQUIPO DOCENTE

Nombre y Apellido: Alfredo A Caballero

Ing Industrial – alfredo.caballero@ingenieria.uncuyo.edu.ar

El Petróleo es una mezcla compleja de compuestos de distintos pesos moleculares y estructura química

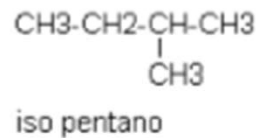
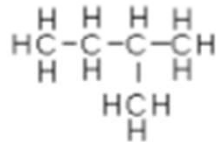
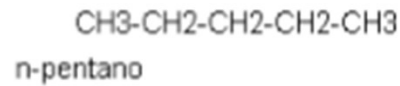
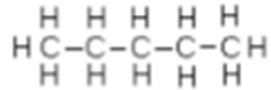
- Hidrocarburos: formados por átomos de carbono y de hidrógeno
- Héterocompuestos: incluyen además elementos como azufre y nitrógeno
- Desde muy livianos hasta muy pesados
- Desde un átomo de carbón hasta más de 90
- A mayor largo de la cadena de carbono, mayor punto de ebullición del componente



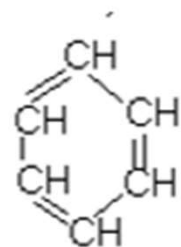
En conjunto, 84-87% de carbono y 11-14% de hidrógeno

Tipos de molécula de hidrocarburos

Parafinas

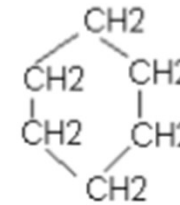


Aromáticos

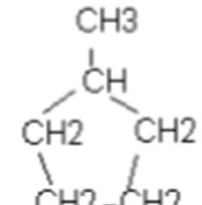


benceno

Naftenos

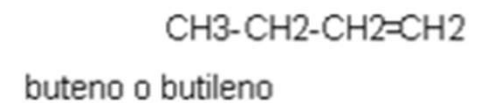
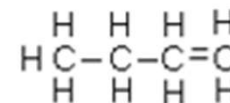


ciclohexano



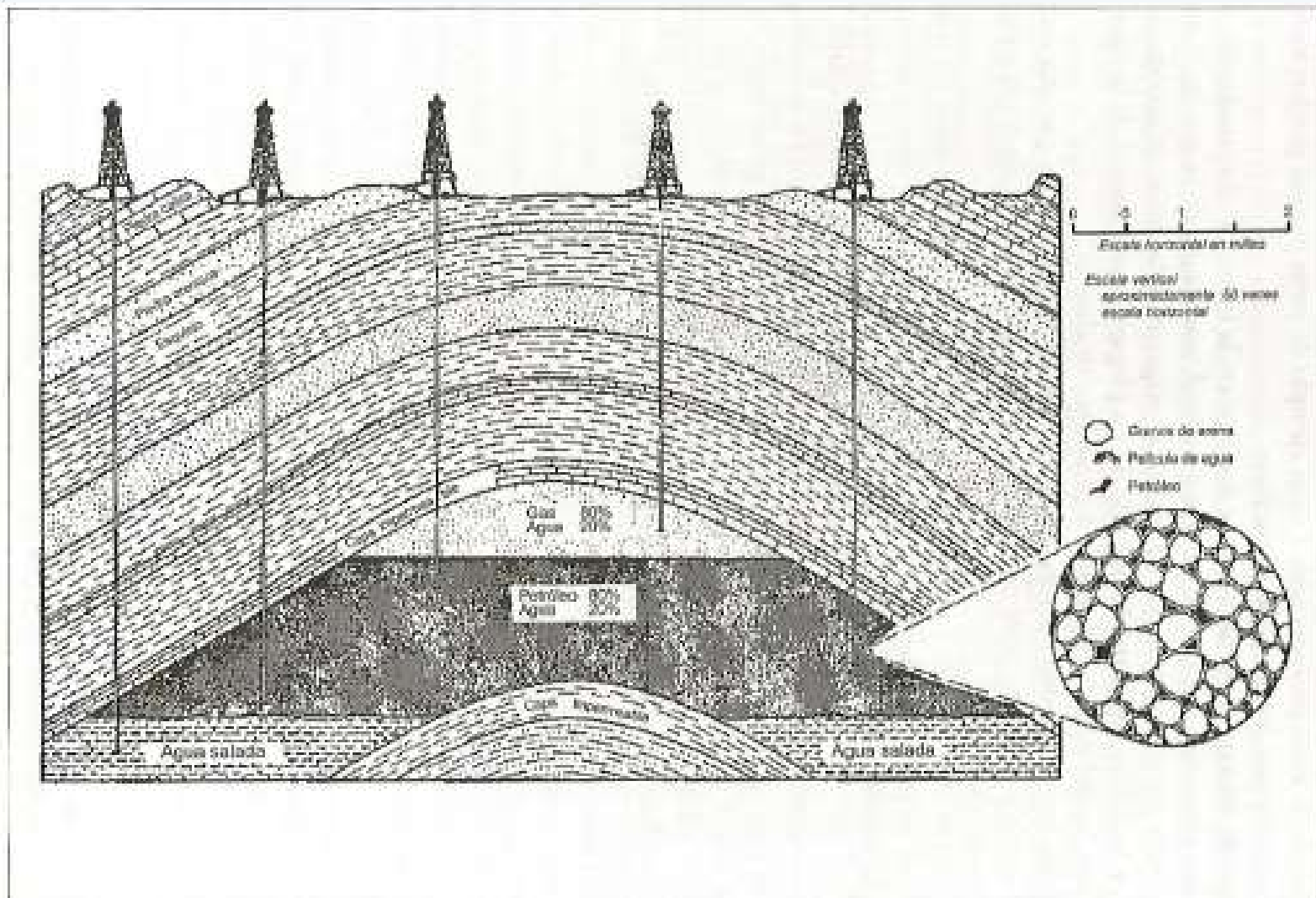
metil ciclopentano

Olefinas

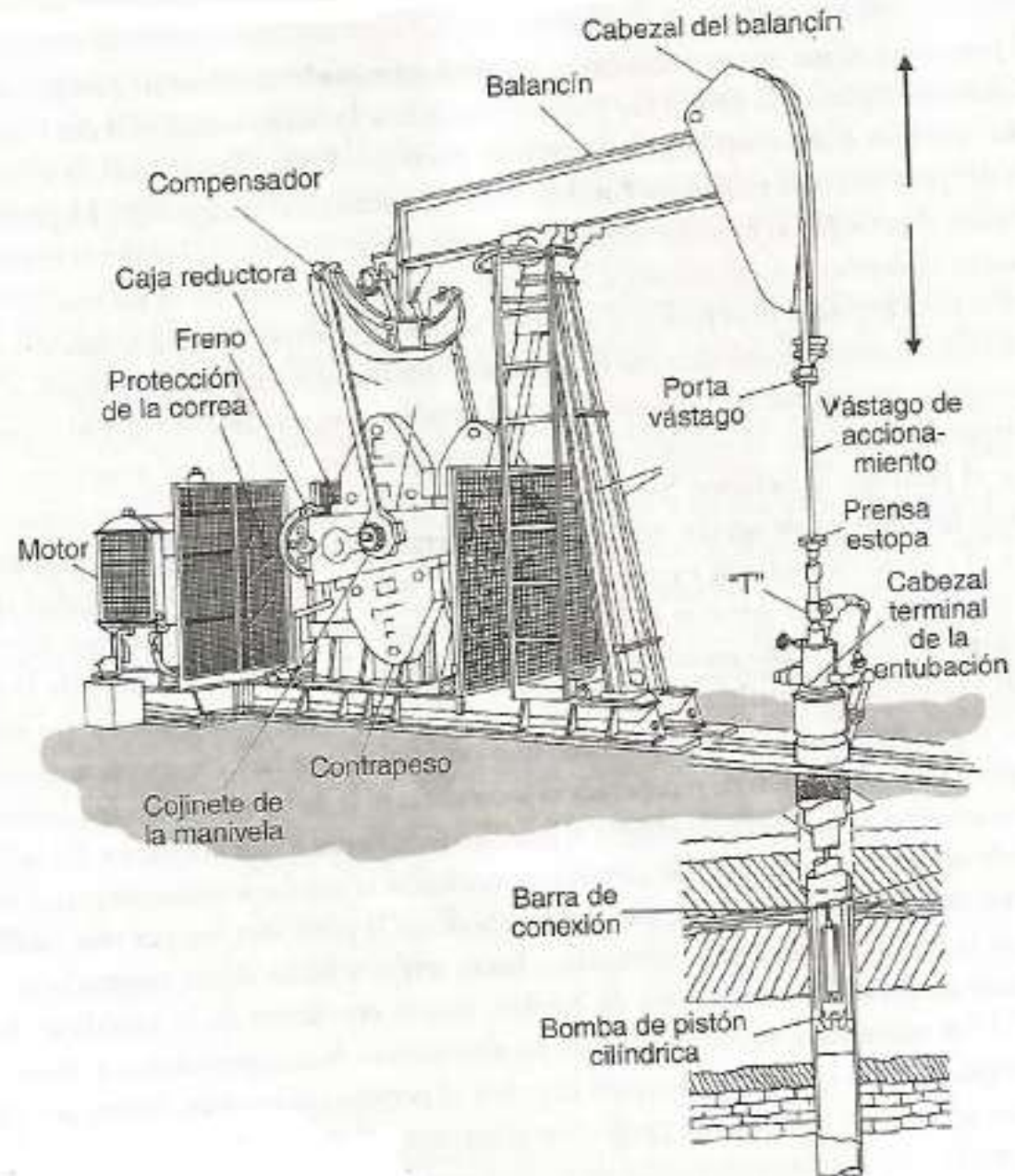


Dónde se encuentran los hidrocarburos

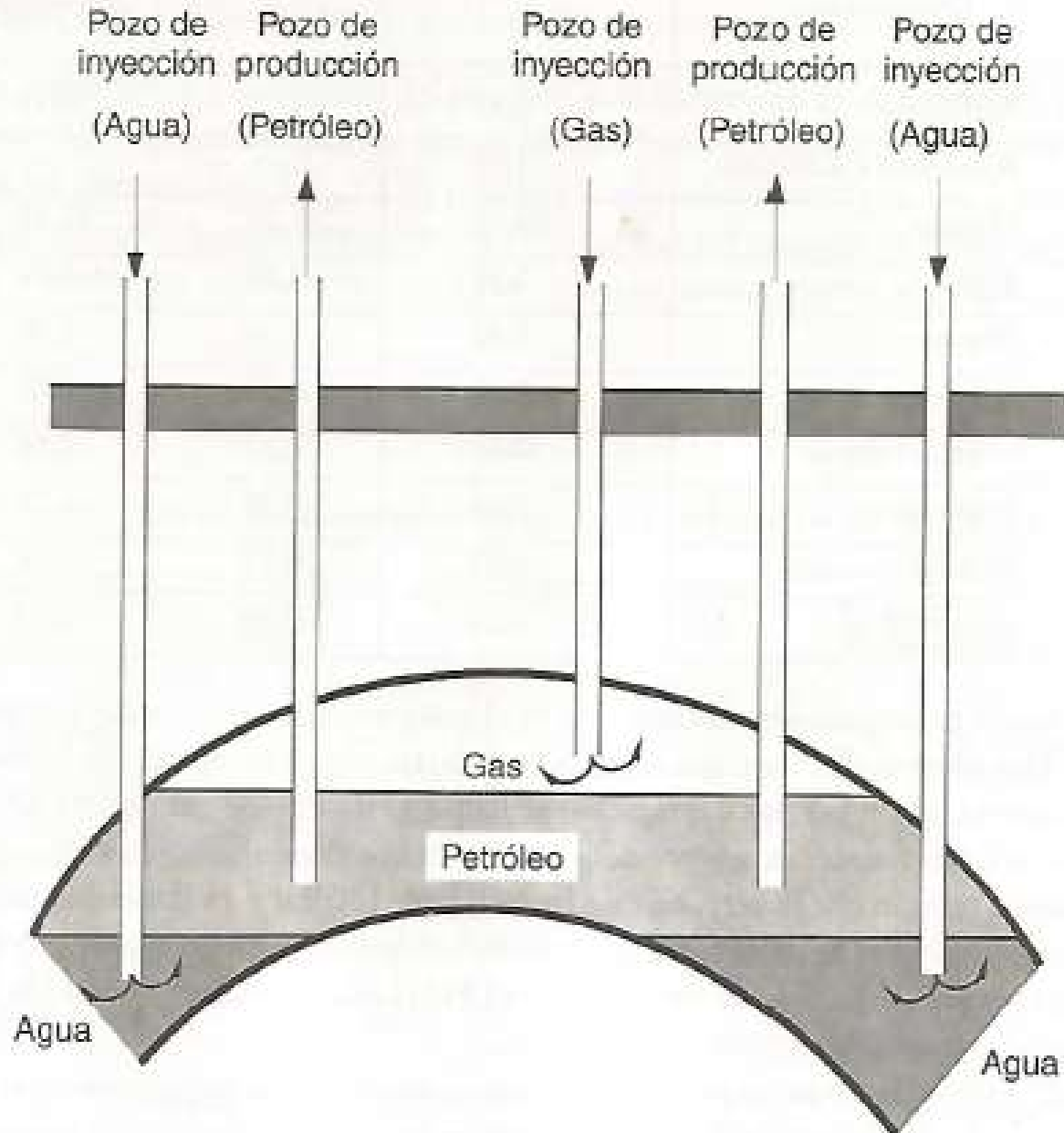
YACIMIENTO DE PETROLEO Y GAS



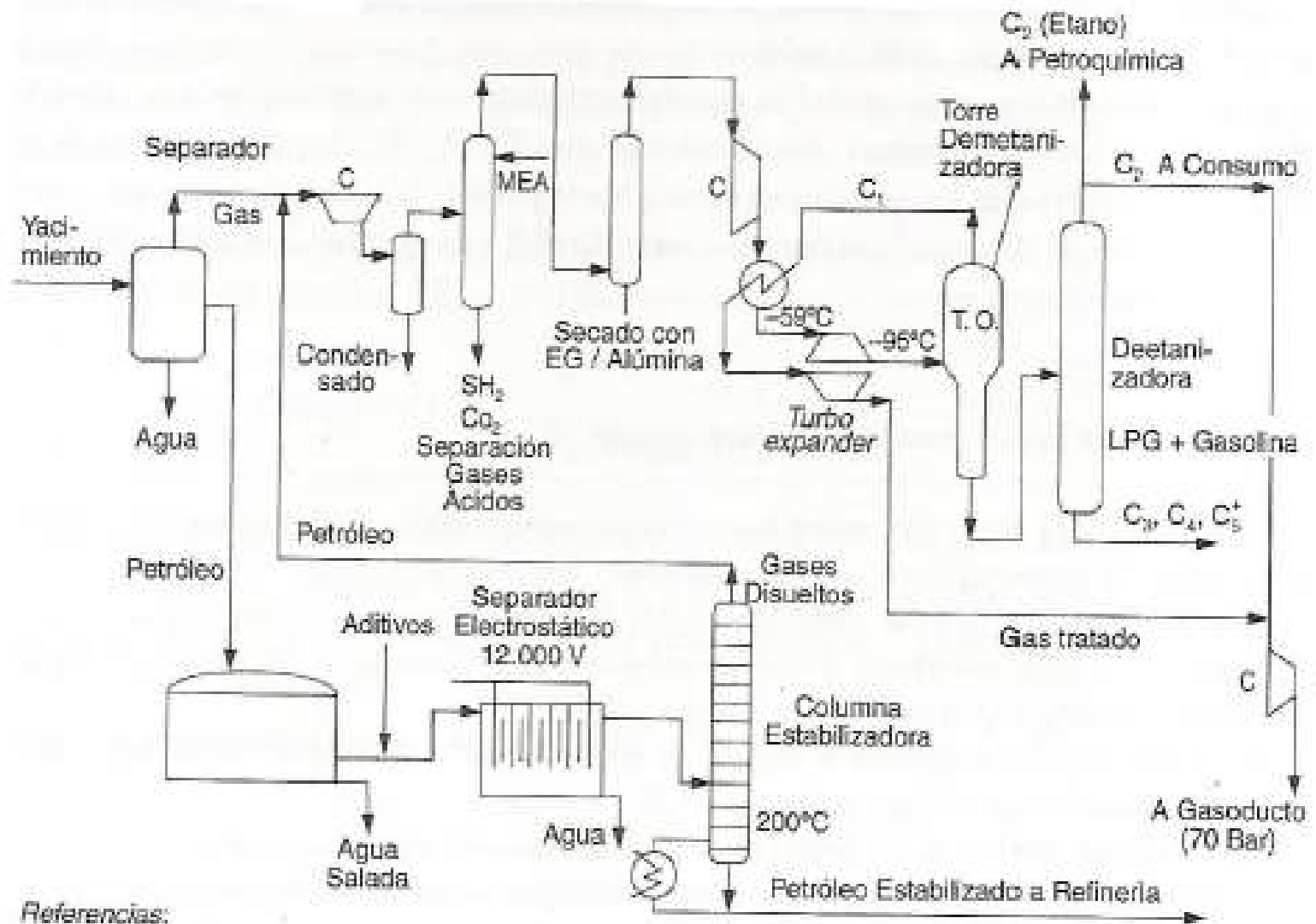
UNIDAD DE BOMBEO MECÁNICA



RECUPERACIÓN SECUNDARIA CON INYECCIÓN DE AGUA Y GAS



Esquema general de tratamiento del gas y del petróleo en un yacimiento



Referencias:

C = Compresor
MEA = Mono Etanol Amina
EG = Etilen Glicol

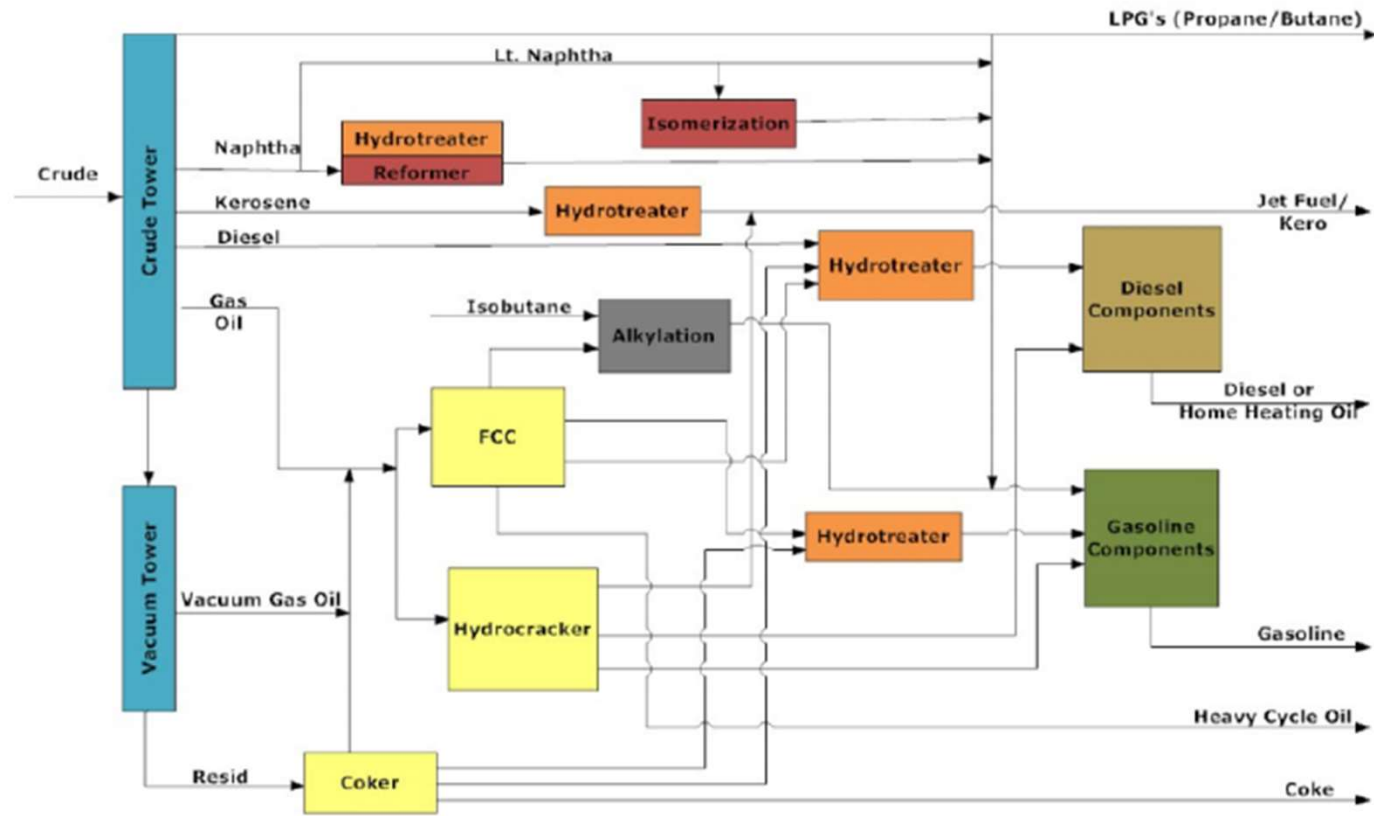
Caracterización de Crudos

- Para conocer la calidad de los crudos se realizan ensayos estándar normalizados
- Se destila en laboratorios especiales una muestra representativa de crudo, simulando o reproduciendo las condiciones de destilación de una refinería
- Se obtienen alrededor de 10 cortes, por rangos de ebullición
- Se somete al crudo en su conjunto y a las fracciones destiladas a ensayos específicos de laboratorio
- Los resultados se recopilan y se presentan de forma de permitir obtener conclusiones y realizar comparaciones y correlaciones
- El documento generado se conoce como “Crude Assay”

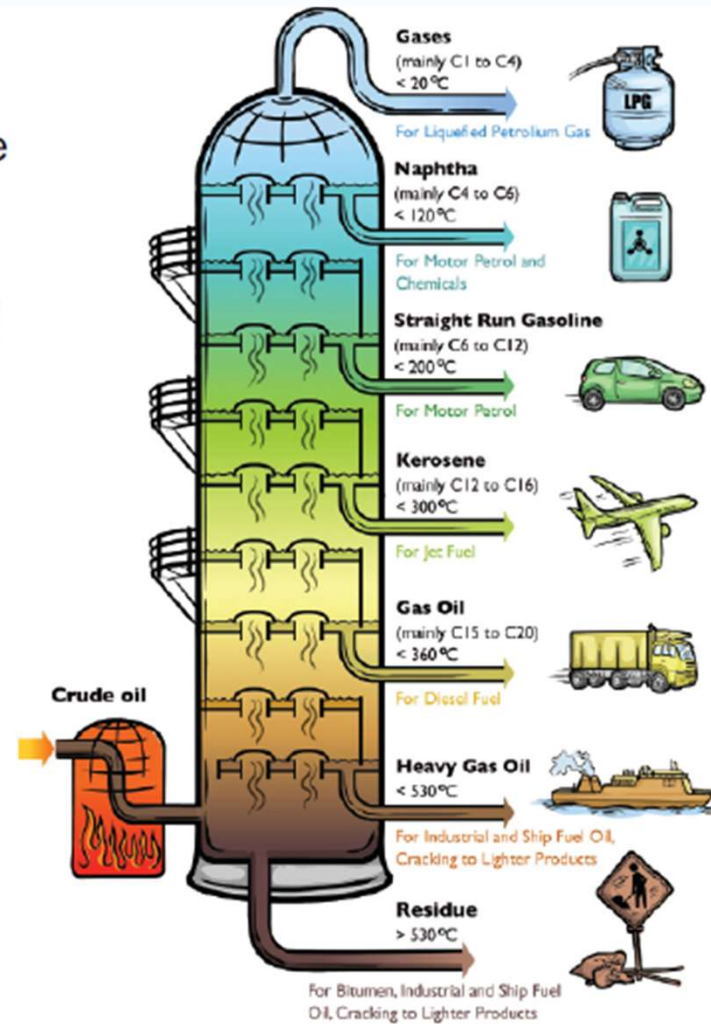
Crude Assay – Crudo Medanito

Distillation Summary	Light	Medium	Heavy	Kero	Atm	Light	Heavy	Vac	Atm	
	Naphtha	Naphtha	Naphtha		Gas Oil	VGO	VGO	Resid	Resid	
TBP Temp At Start, °C	10	80	150	200	260	340	450	570	340	
TBP Temp At End, °C	80	150	200	260	340	450	570	End	End	
Yield at Start, vol%	1.2	7.6	20.6	28.5	36.8	51.9	70.4	84.2	51.9	
Yield at End, vol%	7.6	20.6	28.5	36.8	51.9	70.4	84.2	100.0	100.0	
Yield of Cut (wt% of Crude)	4.9	11.3	7.2	8.0	15.0	19.3	14.9	18.5	52.7	
Yield of Cut (vol% of Crude)	6.4	13.0	7.8	8.3	15.1	18.5	13.7	15.8	48.1	
TBP Distillation, vol%	°C Start	10	79	150	200	260	340	450	570	340
	°C 5%	28	81	152	203	264	345	455	578	353
	°C 10%	28	90	155	207	269	350	460	586	367
	°C 30%	36	98	164	219	285	371	481	624	425
	°C 50%	60	118	174	232	301	392	504	671	492
	°C 70%	69	126	184	243	317	414	528	738	578
	°C 90%	69	142	195	255	332	438	555	861	731
	°C 95%	72	146	197	257	336	444	563	926	813
	°C End	79	150	200	260	340	450	570	End	End

Configuración típica de Refinerías de Petróleo

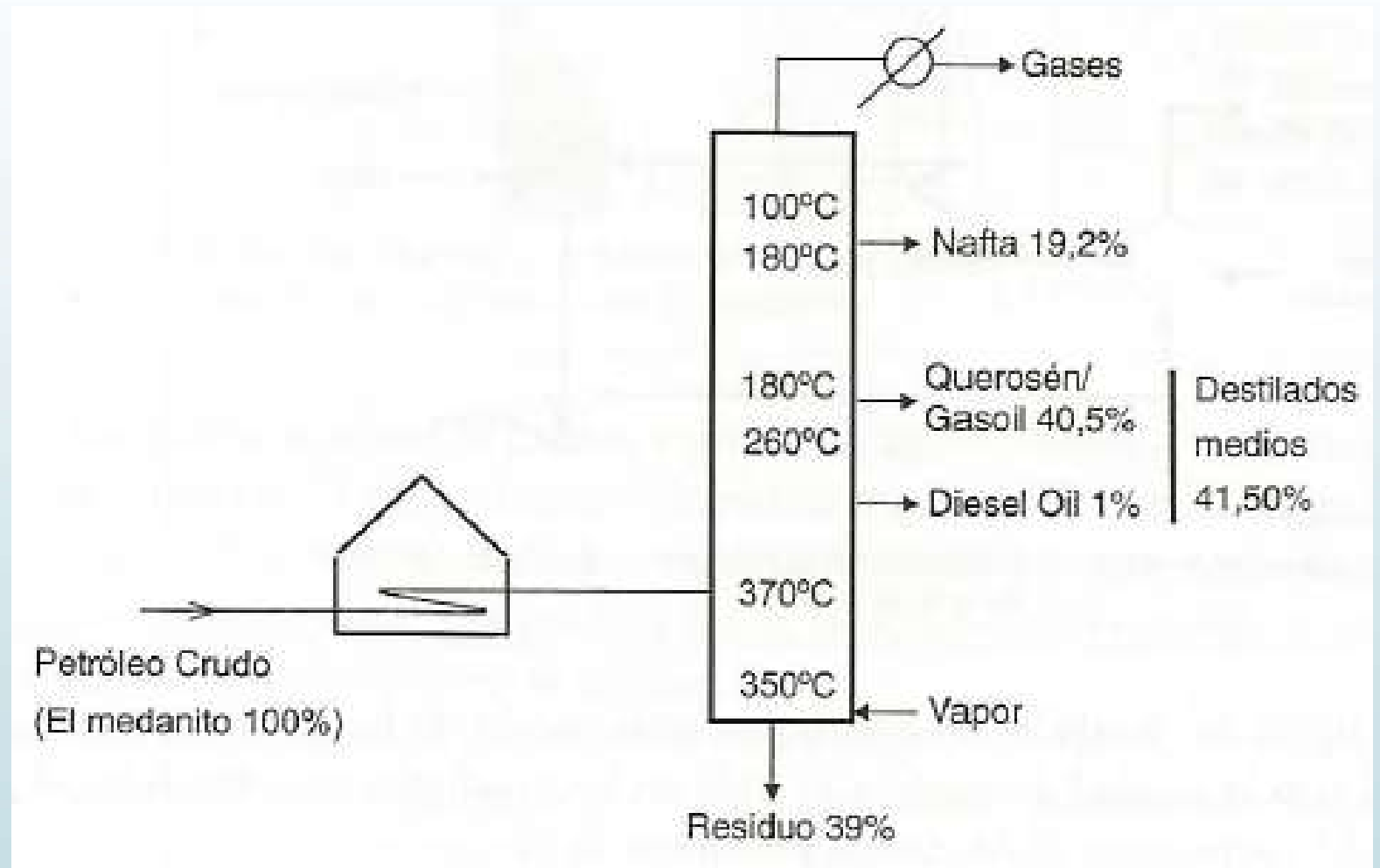


- Por destilación atmosférica, se fracciona el crudo en sus productos primarios
- Fraccionamiento adicional por destilación al vacío (15-25 mmHg) del residuo pesado

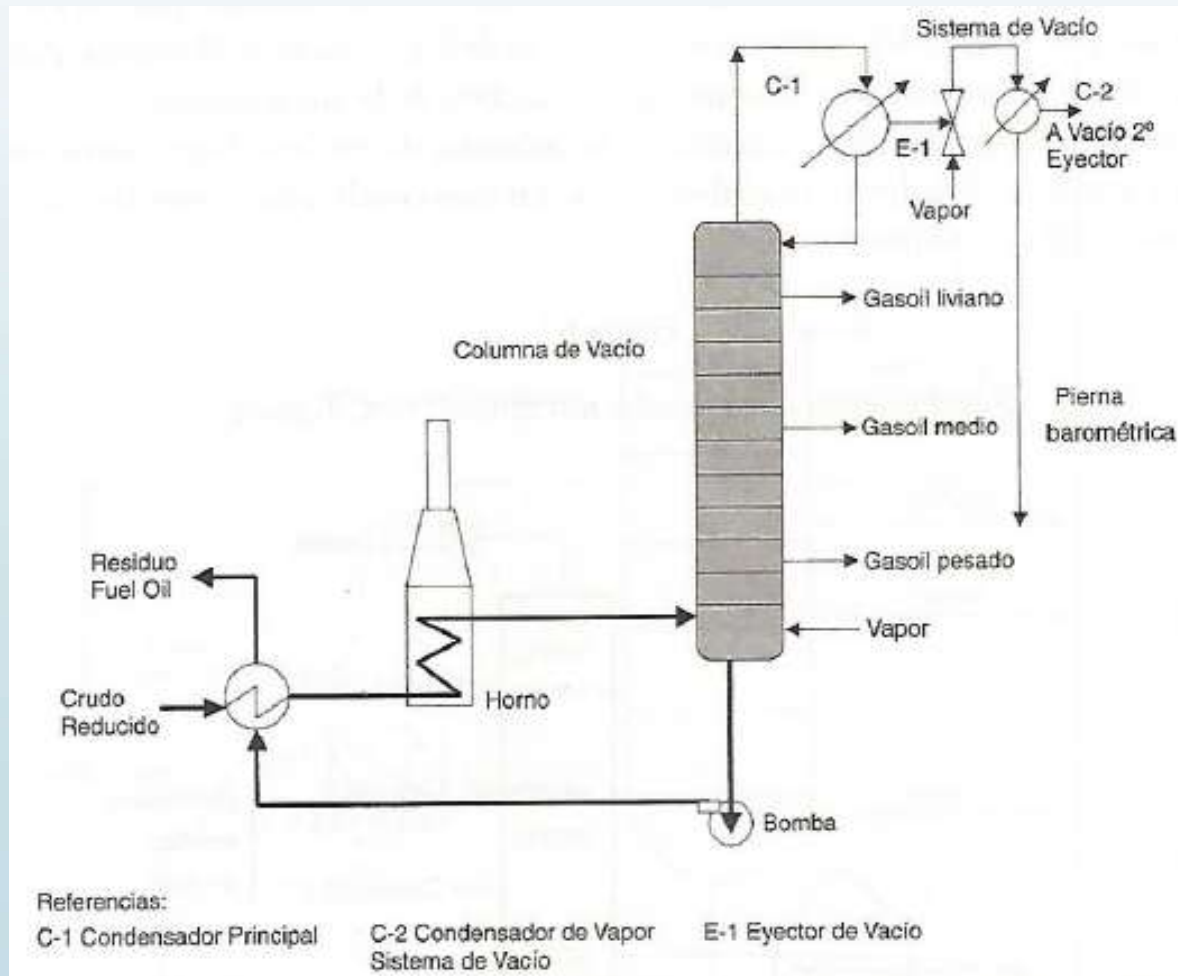


Procesos de Refinación

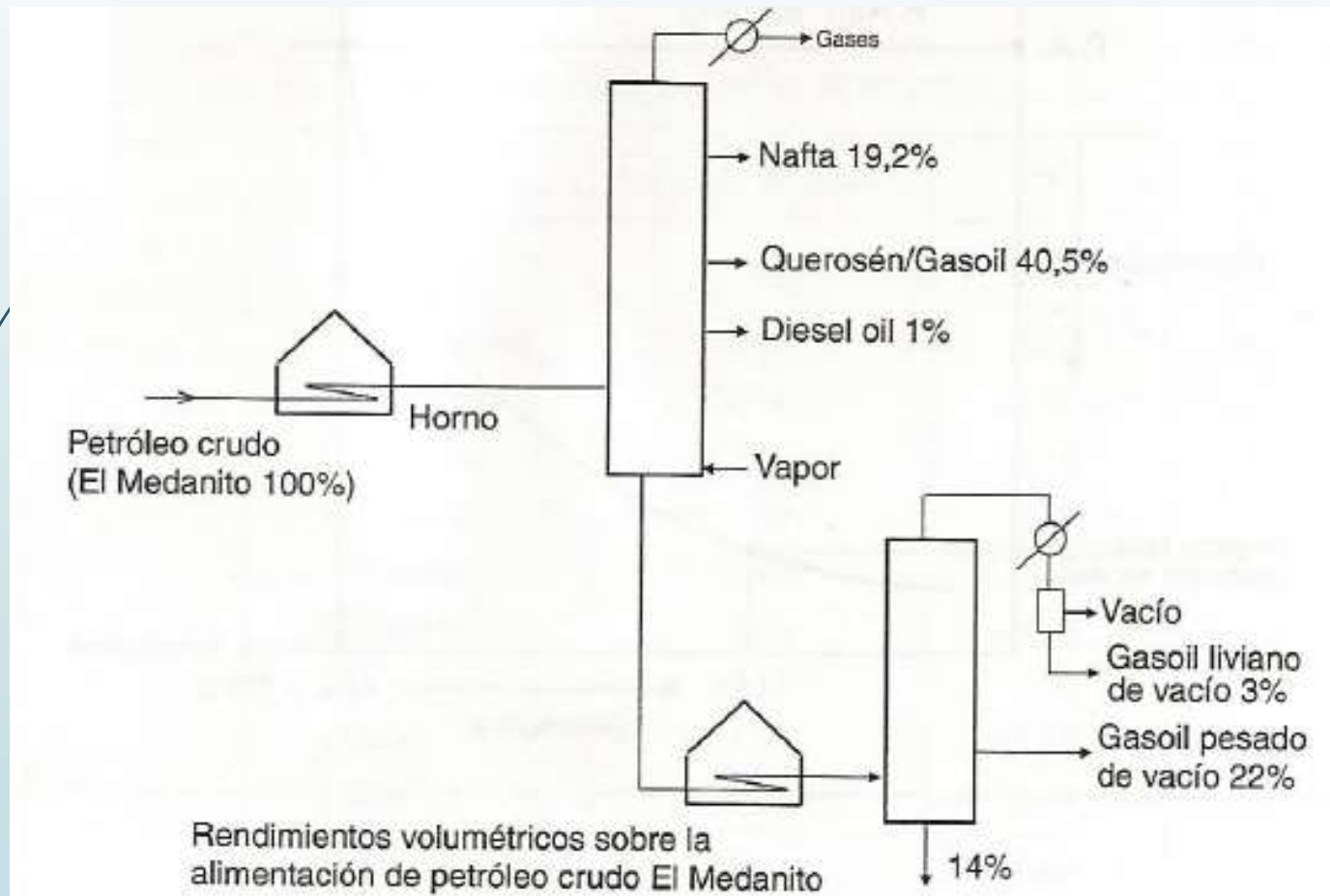
Tipo de Proceso	Ejemplos	Objetivo
Fraccionamiento	Destilación atmosférica y de vacío	Separación de productos por rango de destilación
Conversion Termica	Visbreaker, Delayed Coker, Coqueo continuo en lecho fluido, Flexicoking	Rotura (craqueo) controlada de moléculas pesadas formando moléculas más livianas
Conversión Catalítica	Craqueo Catalítico Fluido, Hydrocracker	
Mejoramiento	Reforming, Isomerización, Alquilación	Modificación de la estructura molecular de los hidrocarburos
Tratamiento	Hidroprocesamiento	Remoción de impurezas y contaminantes



- El vacío se produce por la acción de eyectores de vapor y condensadores intermedios.
- Se reduce el volumen del residuo atmosférico, y finalmente queda un residuo de vacío.
- Puede destinarse al consumo como:
 - **Fuel-oil**
 - **Asfalto**
 - **Nuevos destilados** mediante su transformación por descomposición térmica, con o sin catalizadores.



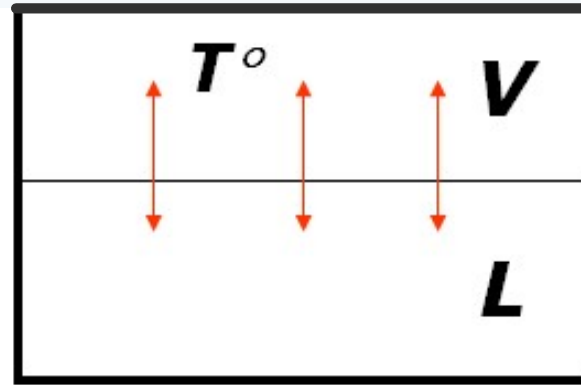
Rendimiento de una unidad combinada de destilación atmosférica y de vacío



DESTILACION

La destilación es la separación de dos componentes basados en la volatilidad relativa. Se calienta la mezcla de forma tal de evaporar al componente más liviano y este se condensa separado del líquido para evitar su mezclado nuevamente

Un líquido hierva cuando la presión de vapor que ejerce se hace igual a la presión externa a la que está sometido, se busca la relación (T° , P_v).



$$P = P_v$$

La **presión de vapor** es la presión que ejerce la fase gaseosa o vapor sobre la fase líquida en un sistema cerrado a una temperatura determinada, en la que la fase líquida y el vapor se encuentran en equilibrio dinámico. Su valor es independiente de las cantidades de líquido y vapor presentes mientras existan ambas.

Fracción molar

$$X = P_v / P$$

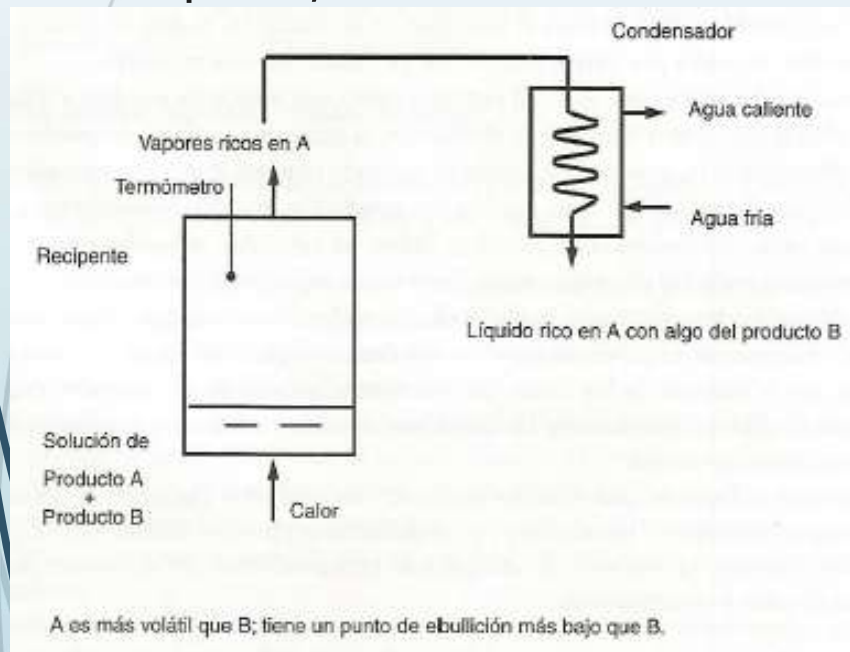
$$P_T = P_{v1} + P_{v2} + P_{v3}$$

$$x_1 + x_2 + x_3 = 1$$

PROCESOS UTILIZADOS

DESTILACIÓN

Destilar; significa proceder a separar un producto que se encuentra en una mezcla, al calentar a ésta para evaporar el más volátil, que podría ser el que nos interesa. Luego se procede a condensar los vapores que ya están fuera del contacto de la mezcla, para obtener así el producto en estado líquido, con una determinada pureza.



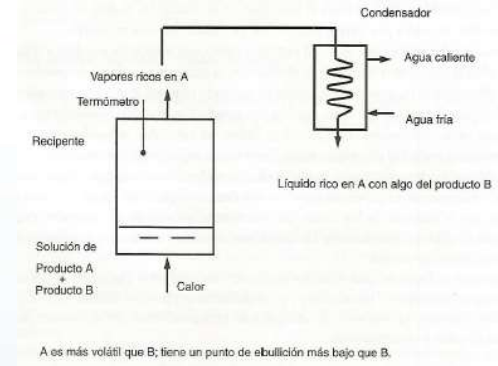
Destilación simple:

separar el producto A, que es más volátil que el B.

A y B, se encuentran mezclados formando una **mezcla homogénea**.

- TRANSFERENCIAS DE ENERGIA
- TRANSFERENCIAS DE MASA
- RELACIONES DE EQUILIBRIO

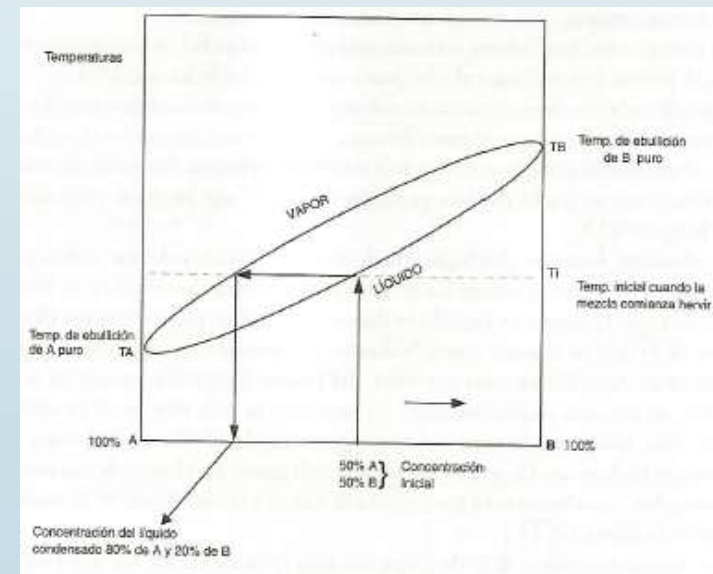
DESTILACIÓN

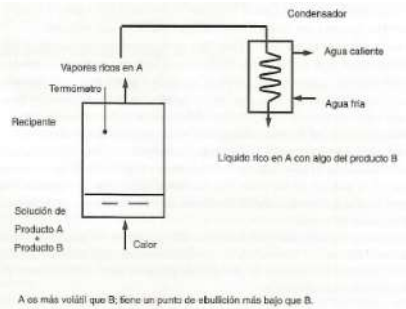


Al calentar el recipiente que los contiene a una determinada temperatura la solución comenzará a hervir. En ese momento el termómetro T colocado en contacto con los vapores muy ricos en el producto **A** indicará una temperatura superior a la ebullición del producto **A** pero inferior a la del producto **B**

Diagrama temperatura-concentración

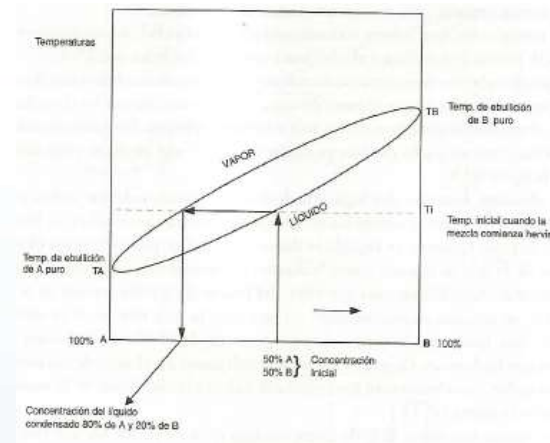
Si proseguimos con el calentamiento, la temperatura que indica el termómetro ira subiendo y la solución se ira empobreciendo en A y enriqueciendo en B.





A es más volátil que B; tiene un punto de ebullición más bajo que B.

DESTILACIÓN

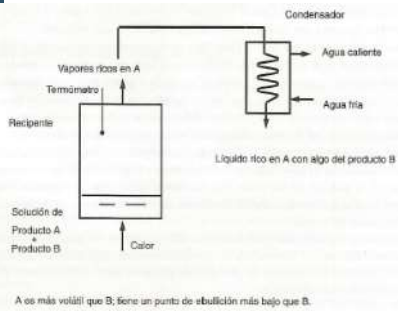


La línea Vapor que relaciona la temperatura de los vapores con la concentración está siempre por encima de la del Líquido, dado que los vapores que se desprenden del líquido son siempre más ricos en el producto más volátil a la temperatura del líquido que está en ebullición.

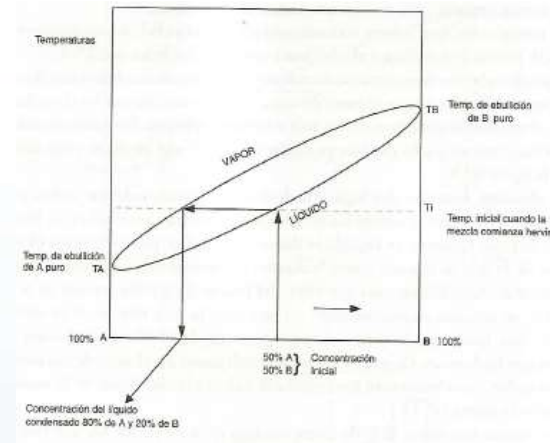
Si proseguimos con el calentamiento, la temperatura que indica el termómetro ira subiendo y la solución se ira empobreciendo en **A** y enriqueciendo en **B**.

Si queremos obtener el **producto A** lo más puro posible no deberíamos dejar subir la temperatura de ebullición de la mezcla más allá de la **temperatura de ebullición del producto A**.

Imposible en destilación simple dado que a medida que la mezcla se **empobrece en A** su temperatura de ebullición se eleva y finalmente, cuando todo el **producto A** se haya evaporado, la temperatura corresponderá a la de ebullición del **producto B**.



DESTILACIÓN

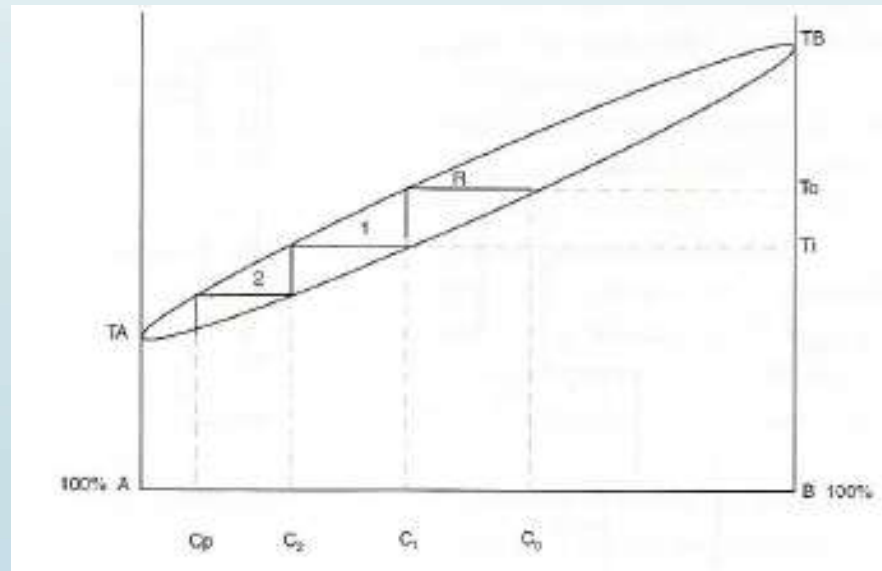


- Se utiliza la destilación simple cuando queremos obtener productos más ricos en **A** que la mezcla original, pero no con una concentración elevada.
- Por ejemplo, los destiladores o alambiques para obtener bebidas espirituosas de más de 40°GL parten de soluciones alcohólicas (vinos) de alrededor de 12°GL

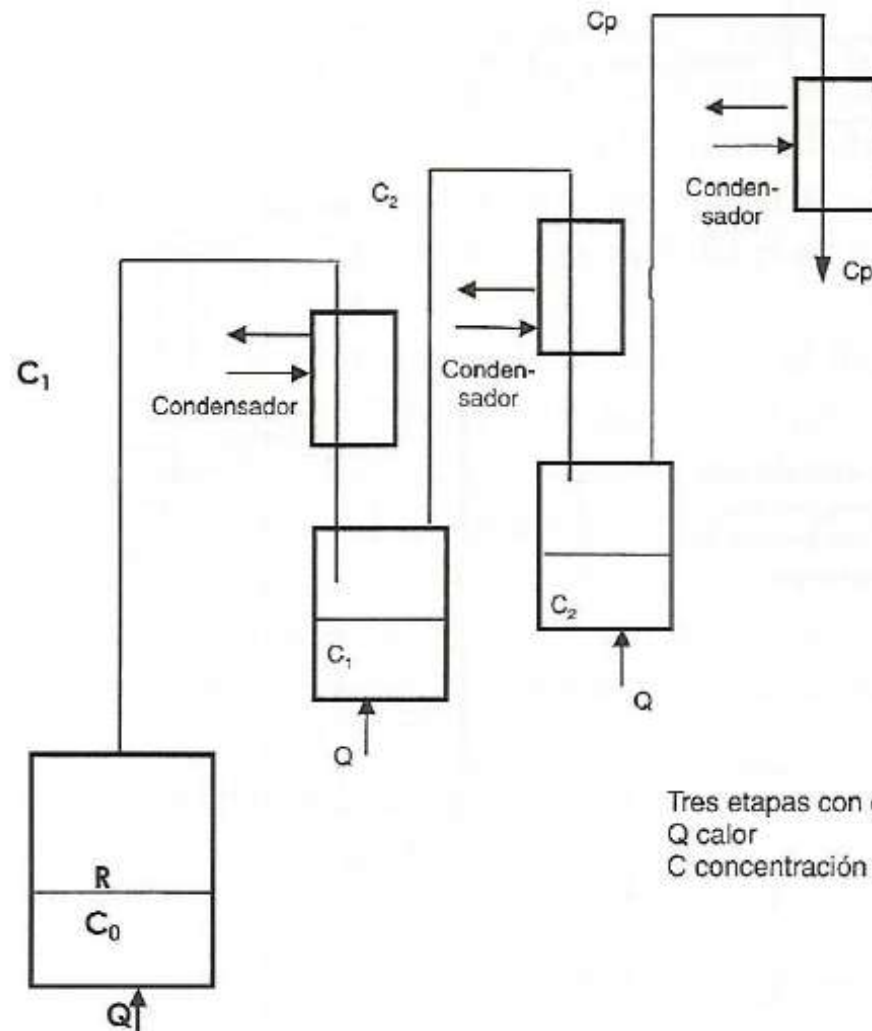
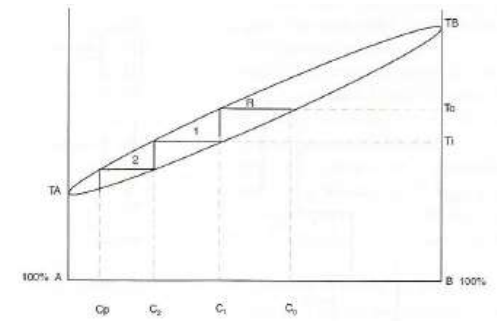
DESTILACIÓN

Se pueden obtener concentraciones más elevadas si separamos fracciones destiladas y las volvemos a destilar, ya que al partir de una concentración más rica en el producto más volátil, obtendremos siempre otra más rica y así sucesivamente.

Pero este procedimiento es laborioso, costoso y sólo produce pequeñas cantidades del producto puro más volátil

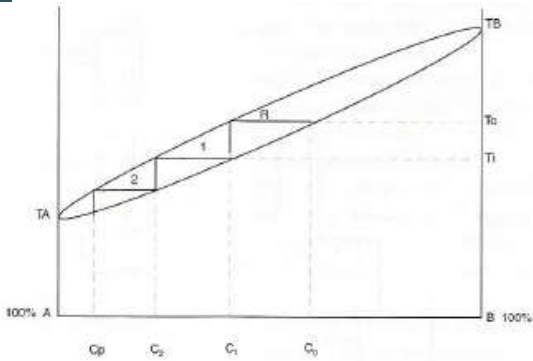


DESTILACIÓN



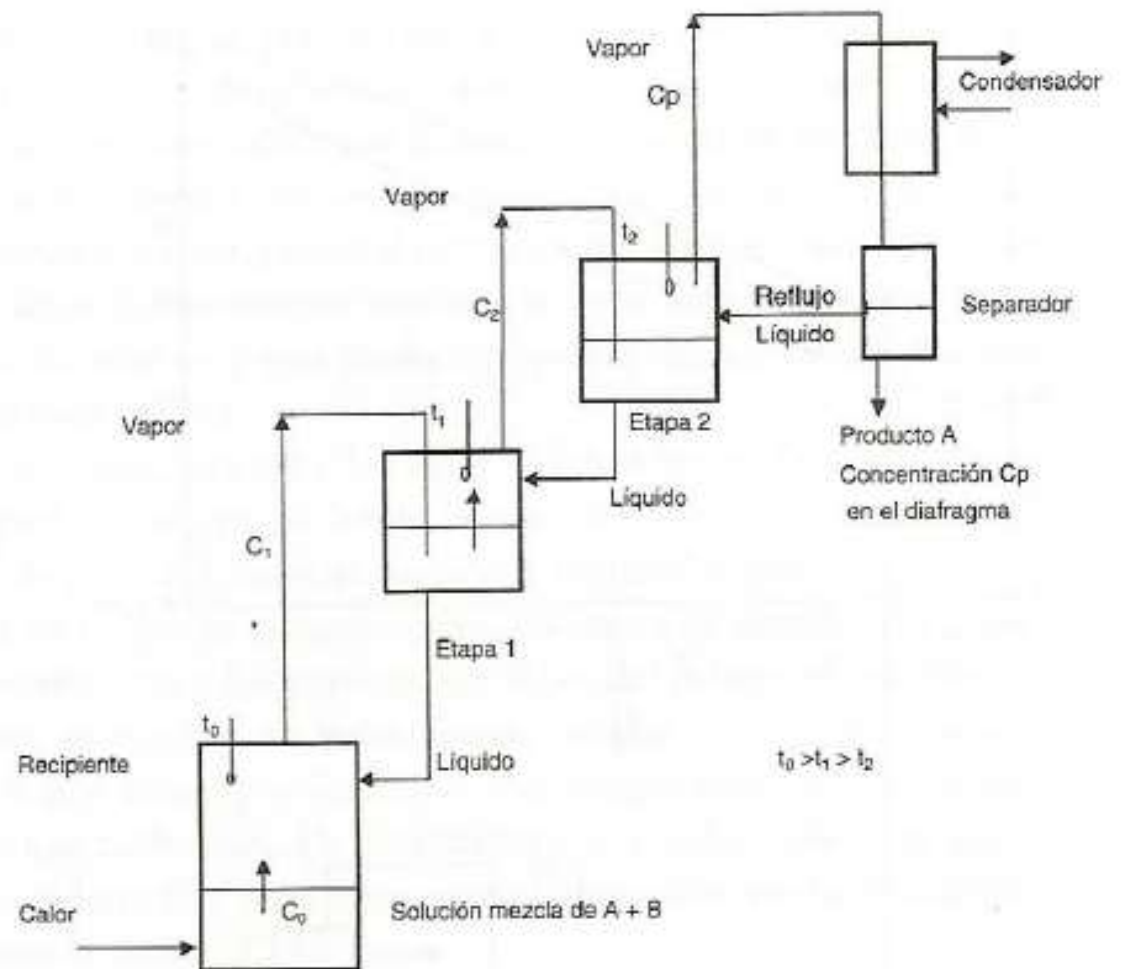
Tres etapas con el recipiente R
Q calor
C concentración de A

DESTILACIÓN



Esta idea dio lugar a la **destilación fraccionada** que utiliza numerosos pequeños recipientes donde las mezclas se encuentran en ebullición

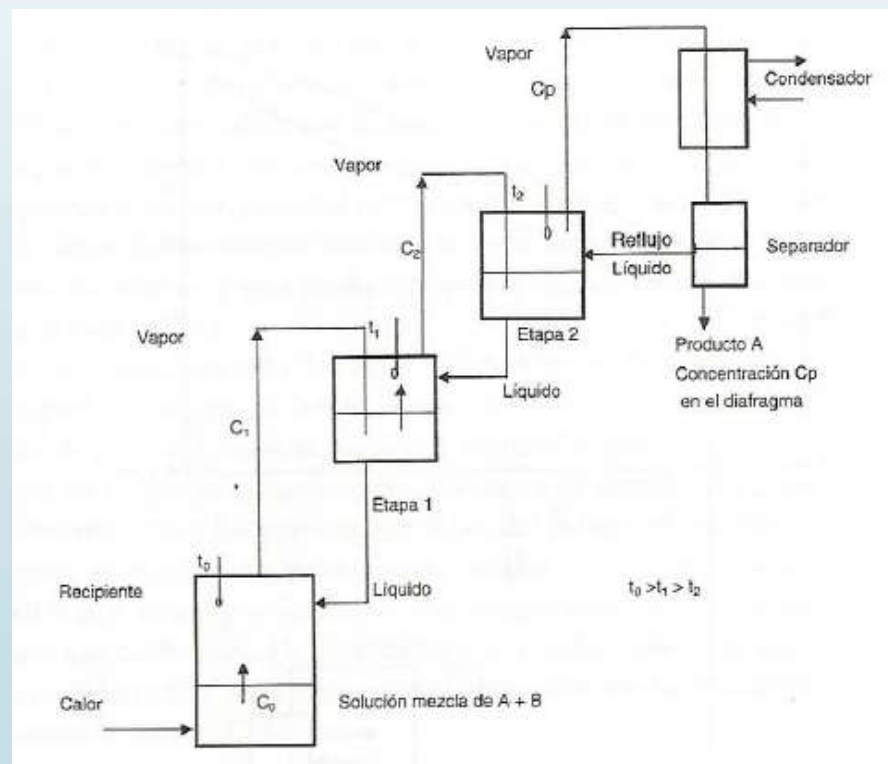
Estos recipientes de poco volumen de líquido se llaman "**etapas**" o "**platos**" y se los ubica en el interior de lo que se conoce como "**columna de destilación**"

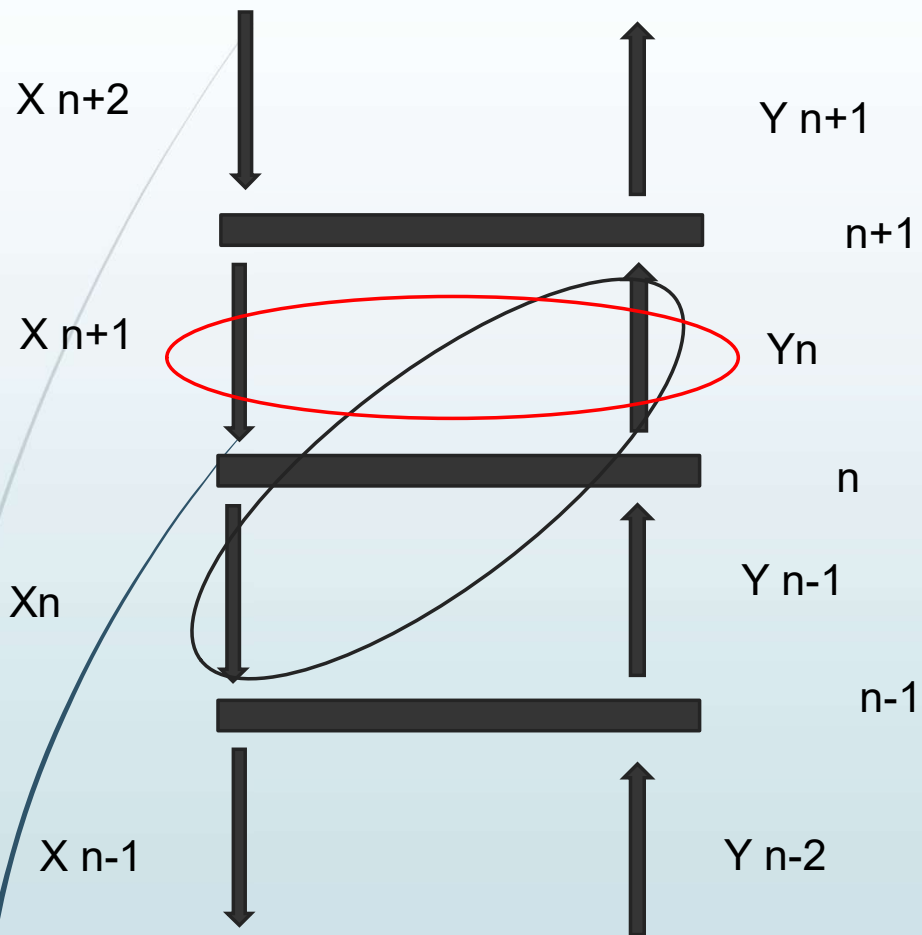


DESTILACIÓN FRACCIONADA

Aquí los vapores que salen del primer recipiente, en vez de ir al condensador, se condensan burbujeando en una mezcla más rica en el producto más volátil y que tiene, por lo tanto, una temperatura de ebullición más baja que los vapores que burbujan.

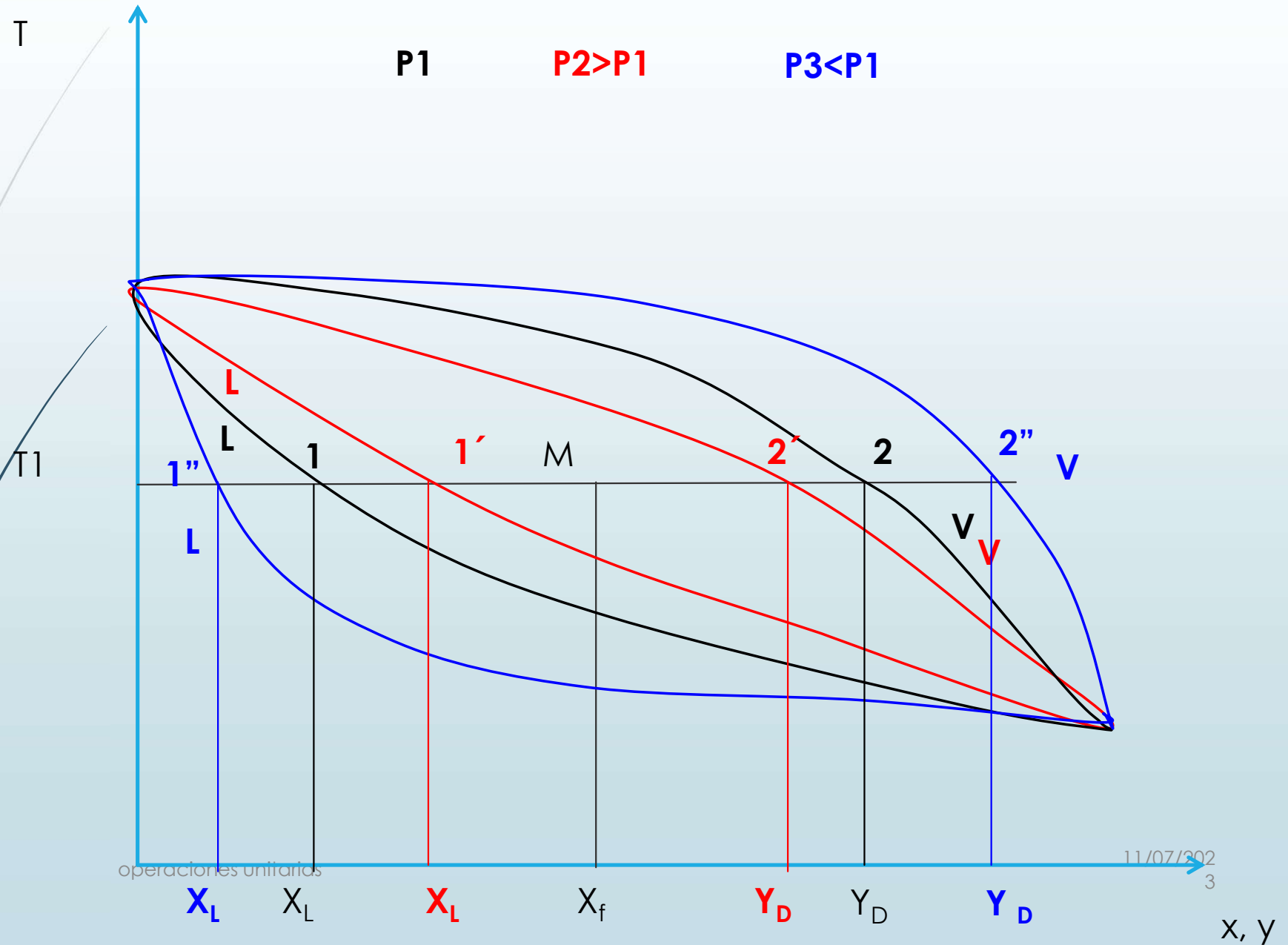
De esta manera, al condensarse en el seno de esa mezcla, los vapores ceden calor suficiente para producir a su vez la ebullición de la misma mezcla.





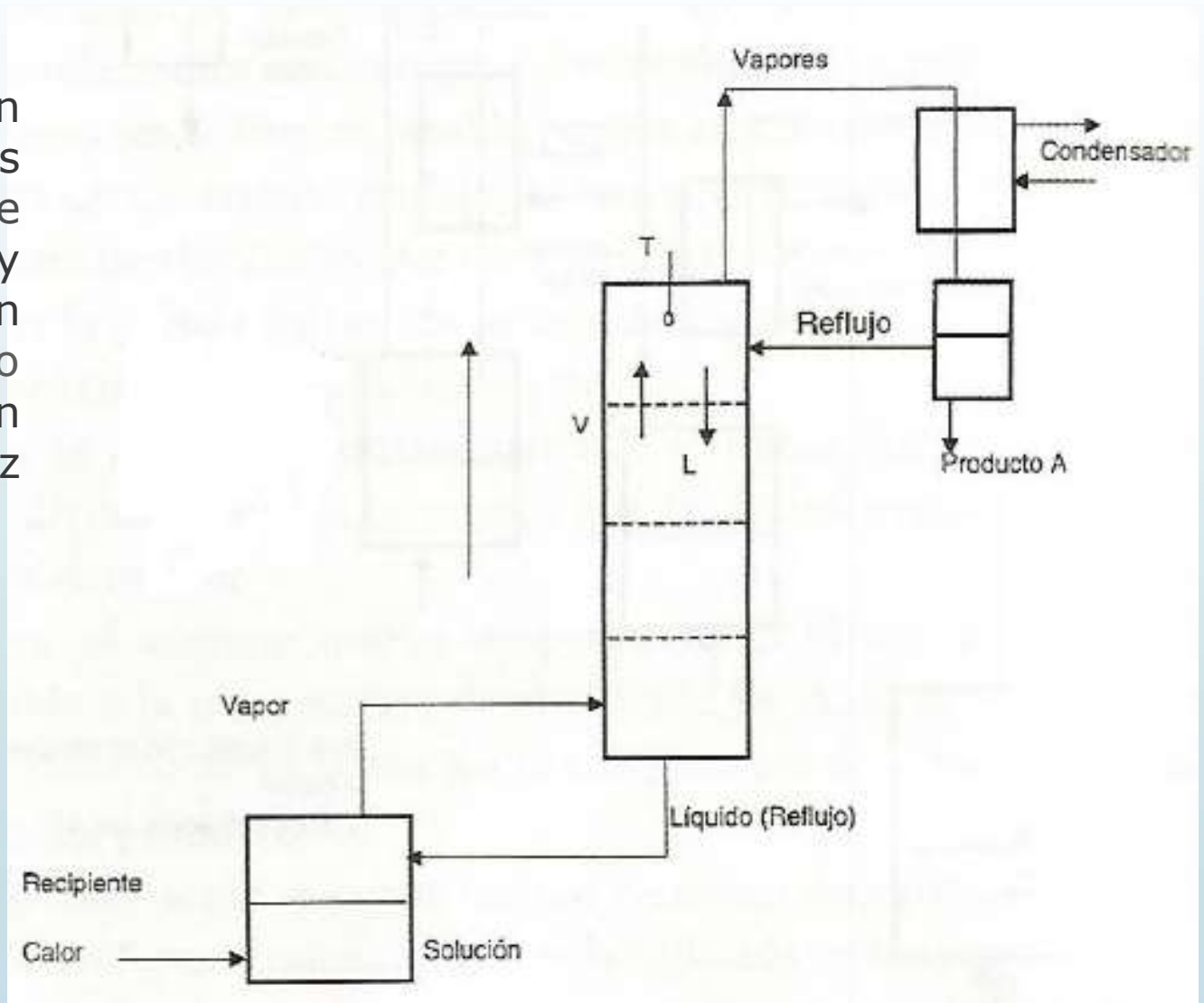
INFLUENCIA DE LA PRESION

29



COLUMNA DE DESTILACIÓN

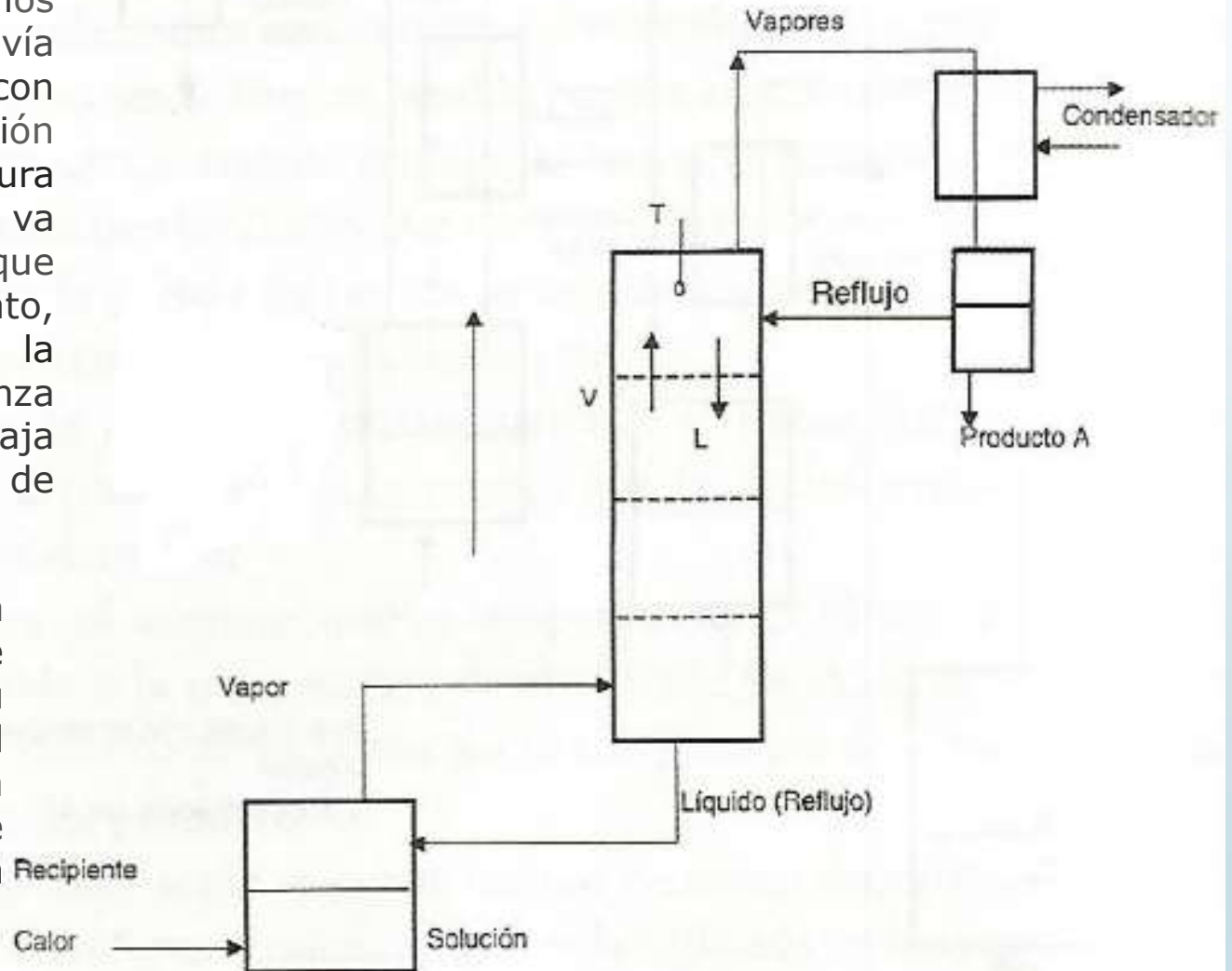
Los vapores que salen de cada etapa son más ricos en **A** que los que llegan a esa etapa, y una vez condensados en la etapa o plato inmediato superior dan lugar a vapores cada vez más ricos en **A**.



COLUMNA DE DESTILACIÓN

En contracorriente con los vapores que suben se envía una corriente de líquido con una elevada concentración de A, y con una temperatura de ebullición que va disminuyendo a medida que nos acercamos al 1er plato, en la parte superior de la columna, donde se alcanza la temperatura más baja igual o próxima a la de ebullición de A.

El líquido que se envía en contracorriente se llama "**reflujo**" y su concentración en **A** en el 1er plato es la misma que la de los vapores que salen de esa etapa y van al condensador.



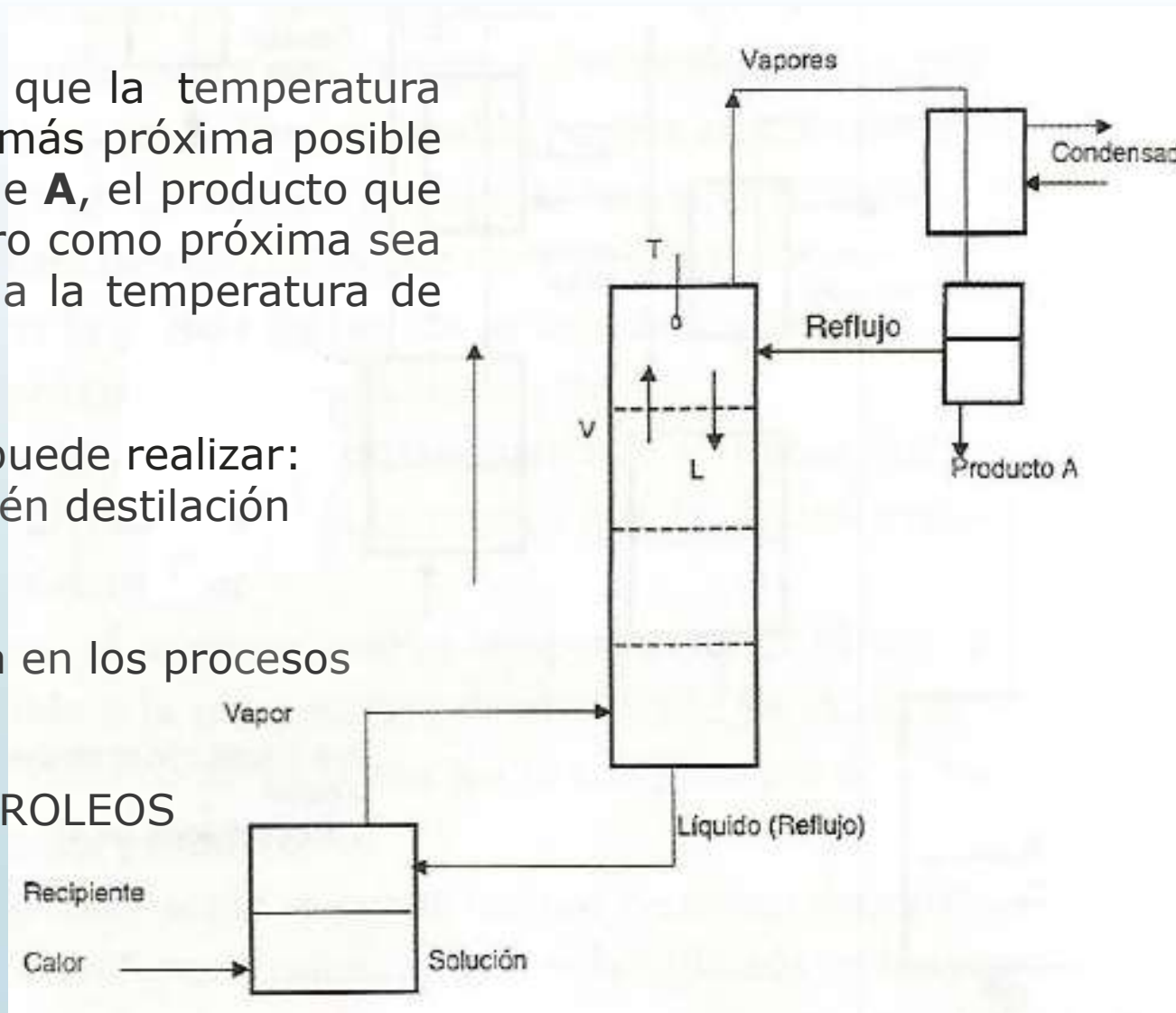
COLUMNA DE DESTILACIÓN

De esta manera, al asegurar que la temperatura del 1er plato se mantenga lo más próxima posible a la temperatura de ebullición de **A**, el producto que sale de la columna será tan puro como próxima sea la temperatura de los vapores a la temperatura de ebullición del producto **A**.

Este proceso de destilación se puede realizar:

- **Discontinua**; llamada también destilación *batch*.
- **Continua**: que es la utilizada en los procesos de refinación.

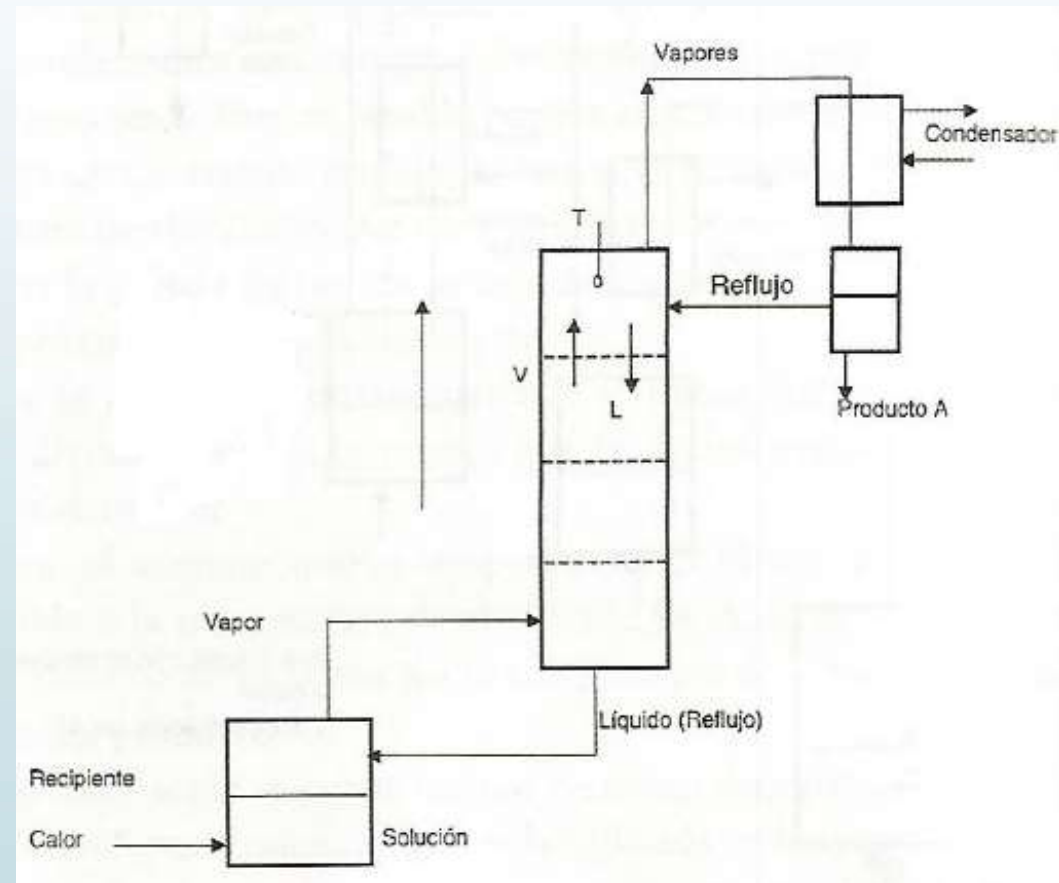
ejemplo: REFINERIAS DE PETROLEOS



COLUMNA DE DESTILACIÓN

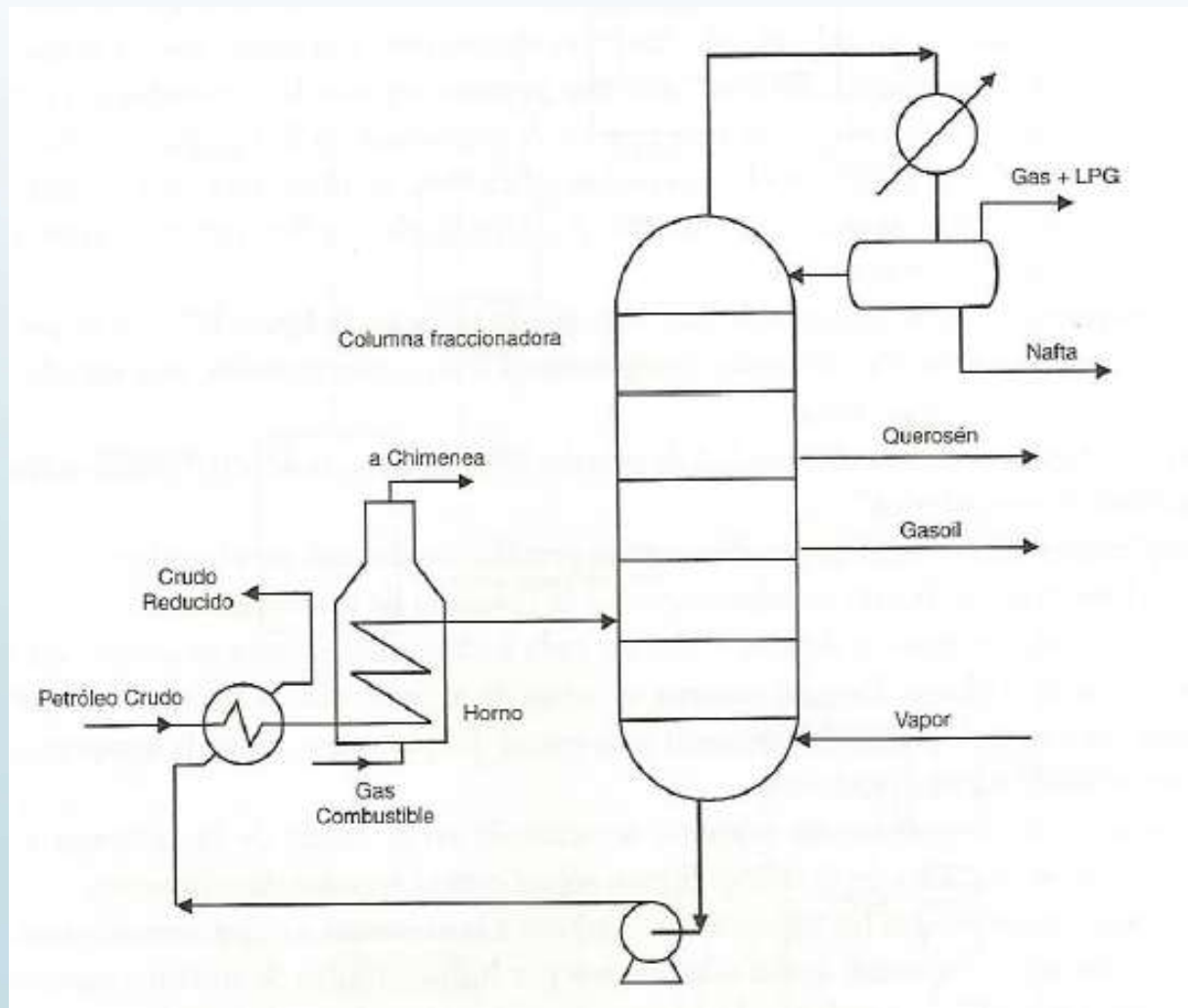
Discontinua; llamada también destilación *batch*.

- Se carga una vez el recipiente del fondo.
- Durante la destilación la solución se irá empobreciendo en **A**.
- **A** se retirará del sistema por la parte superior.
- Se deberá aumentar la cantidad de líquido que refluya para mantener la pureza de **A**.
- Los vapores que suban serán, cada vez, más ricos en **B**.
- Hasta que llegue un momento en que se suspende la operación, porque se volverá imposible seguir destilando **A** sin contaminarlo con **B**.

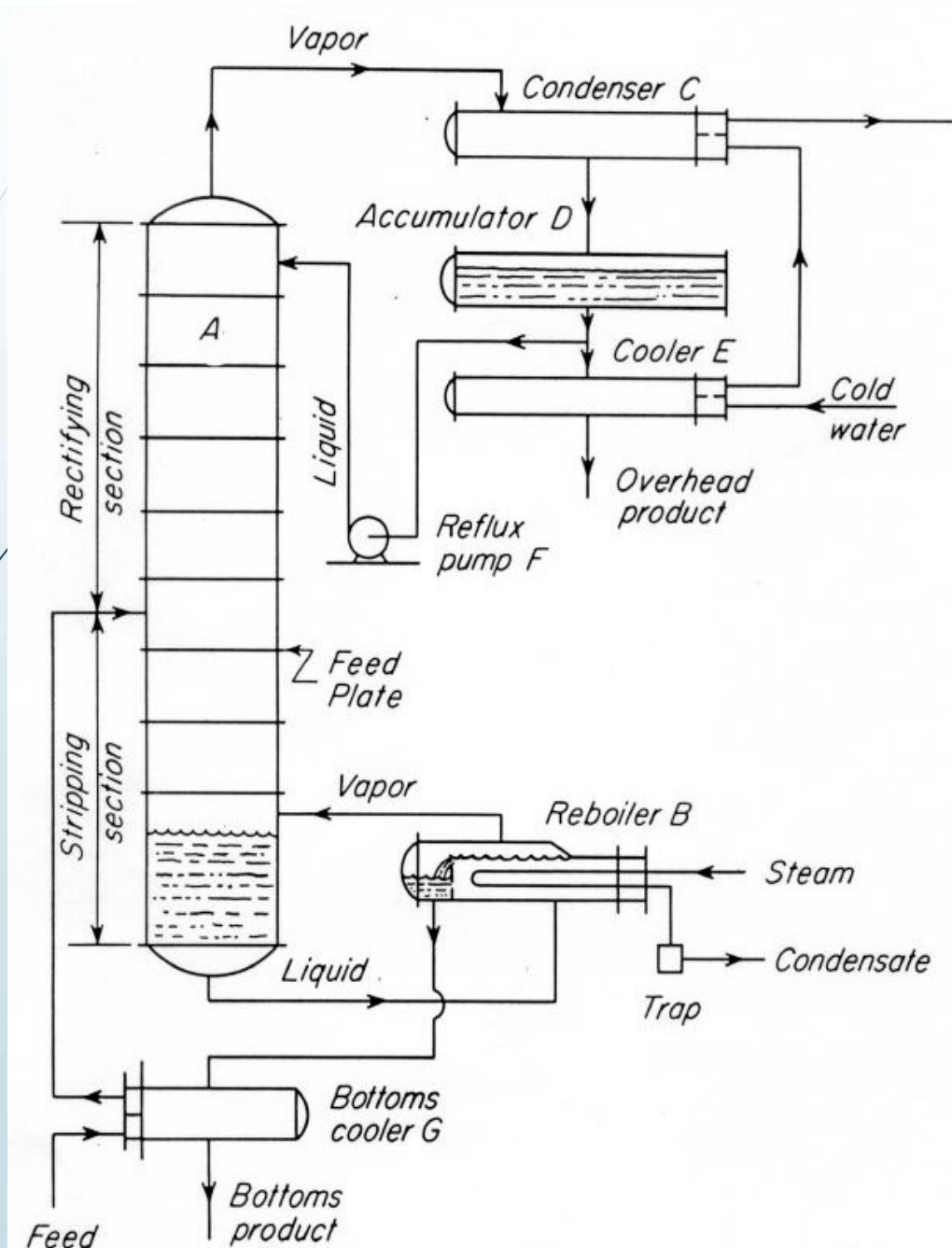


COLUMNA DE DESTILACIÓN FRACCIONADA

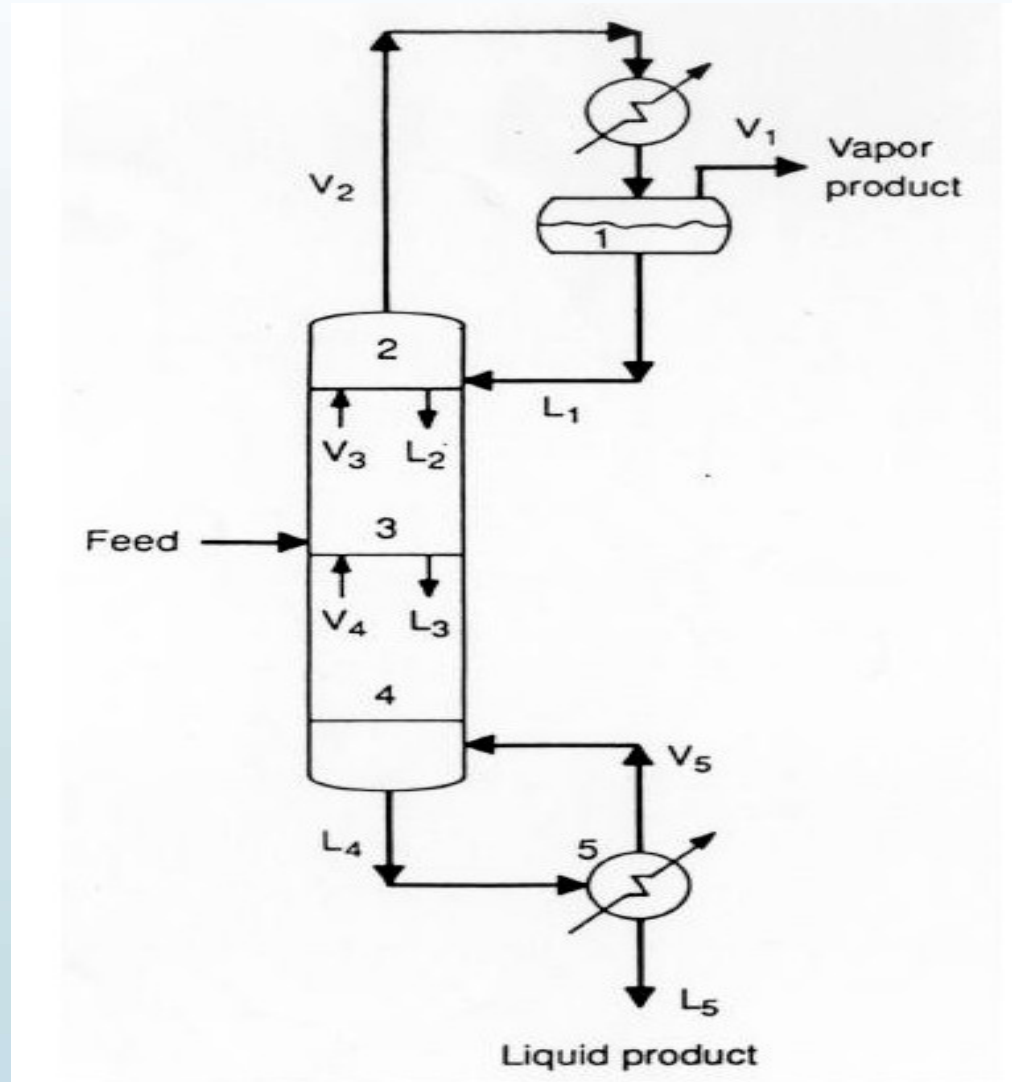
Continua: que es la utilizada en los procesos de refinación
Unidad de destilación primaria atmosférica o **topping**



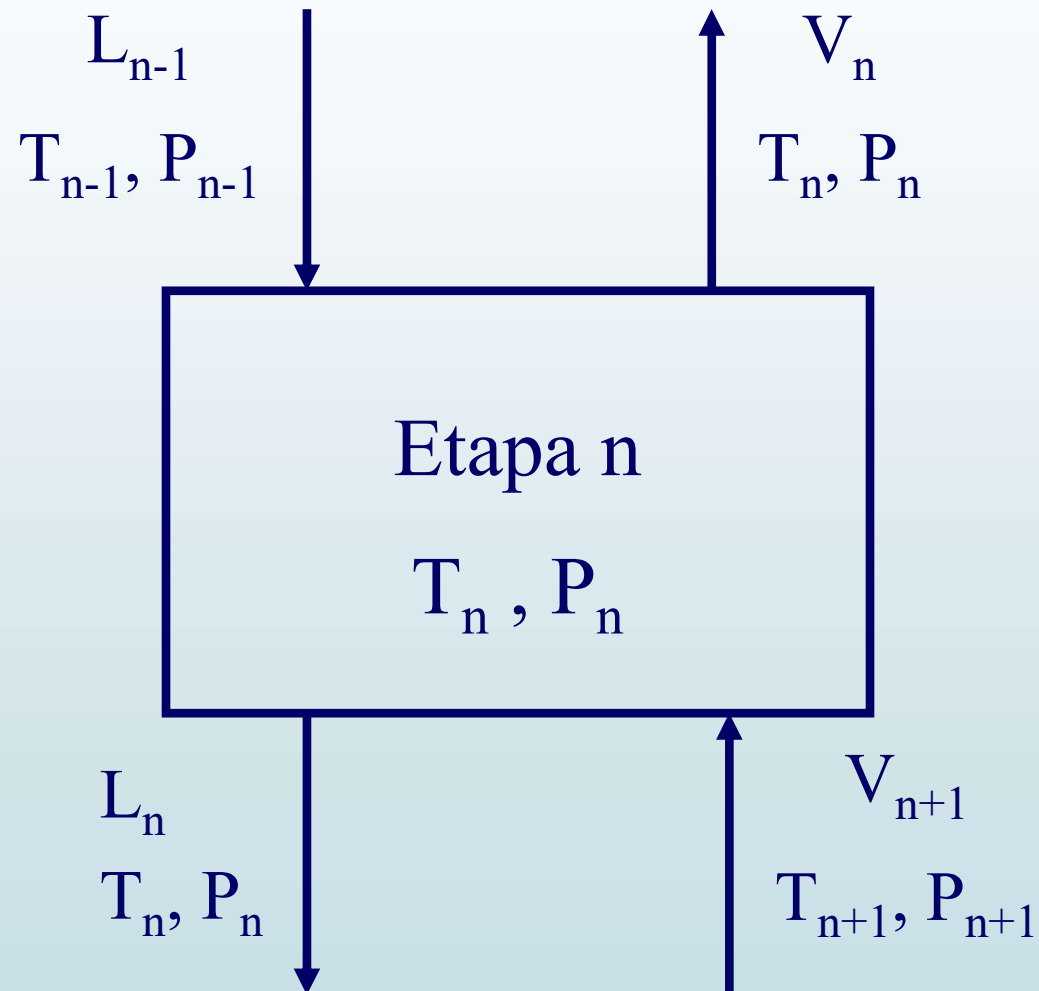
Torre de fraccionamiento



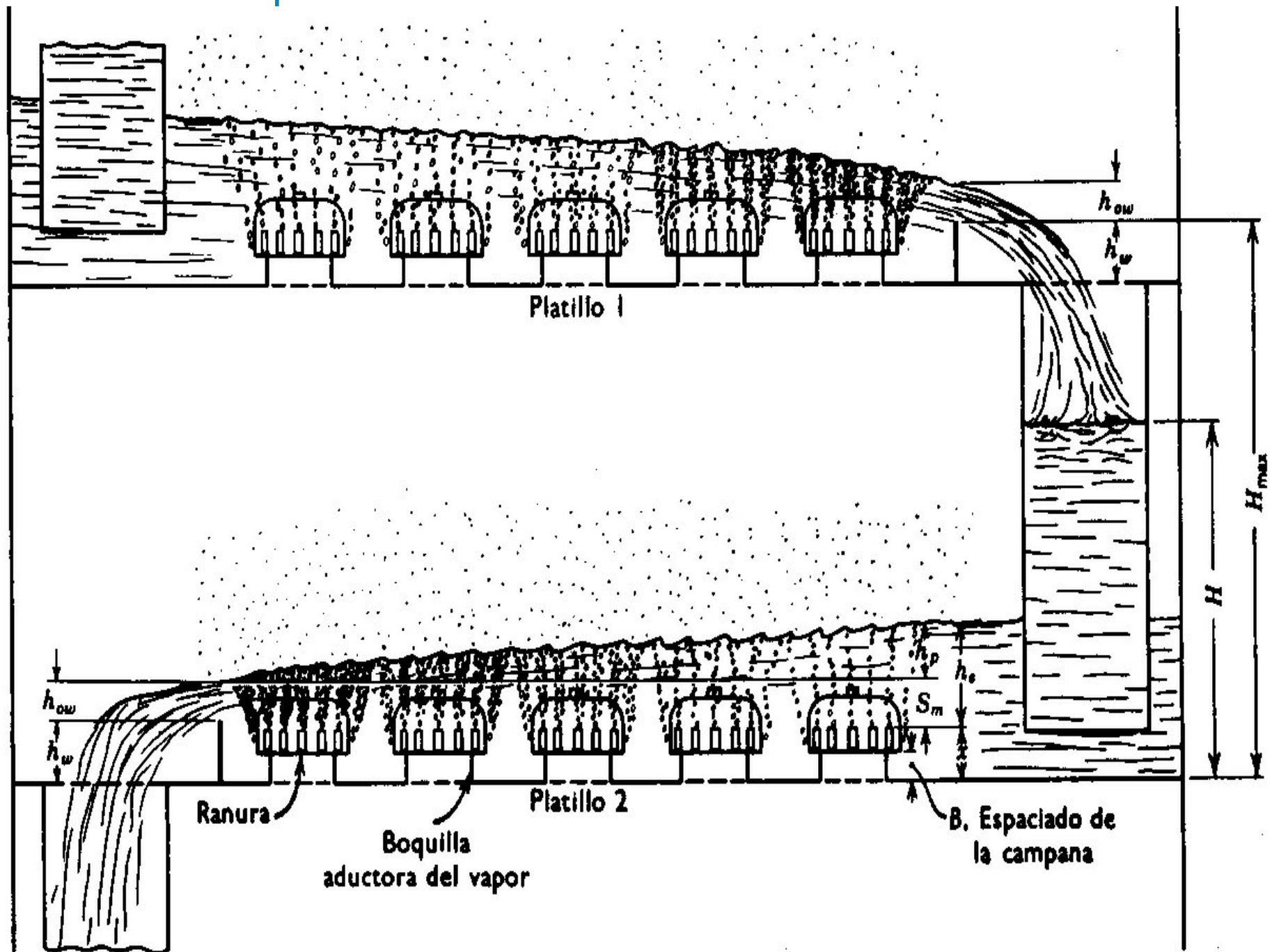
Torre (flujos de vapor y de líquido)



Etapa de equilibrio en una columna de destilación



Forma de poner en contacto los fluidos



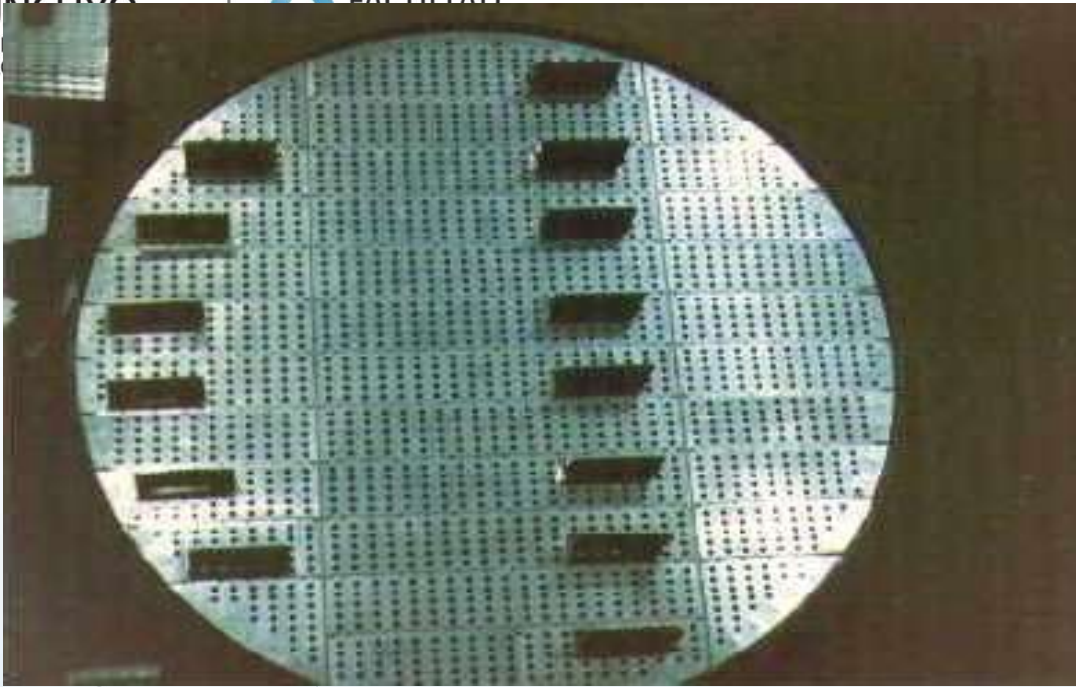
Accesorios internos de una columna de destilación

1. Columnas de platos

- Platos
- Distribuidor del alimento



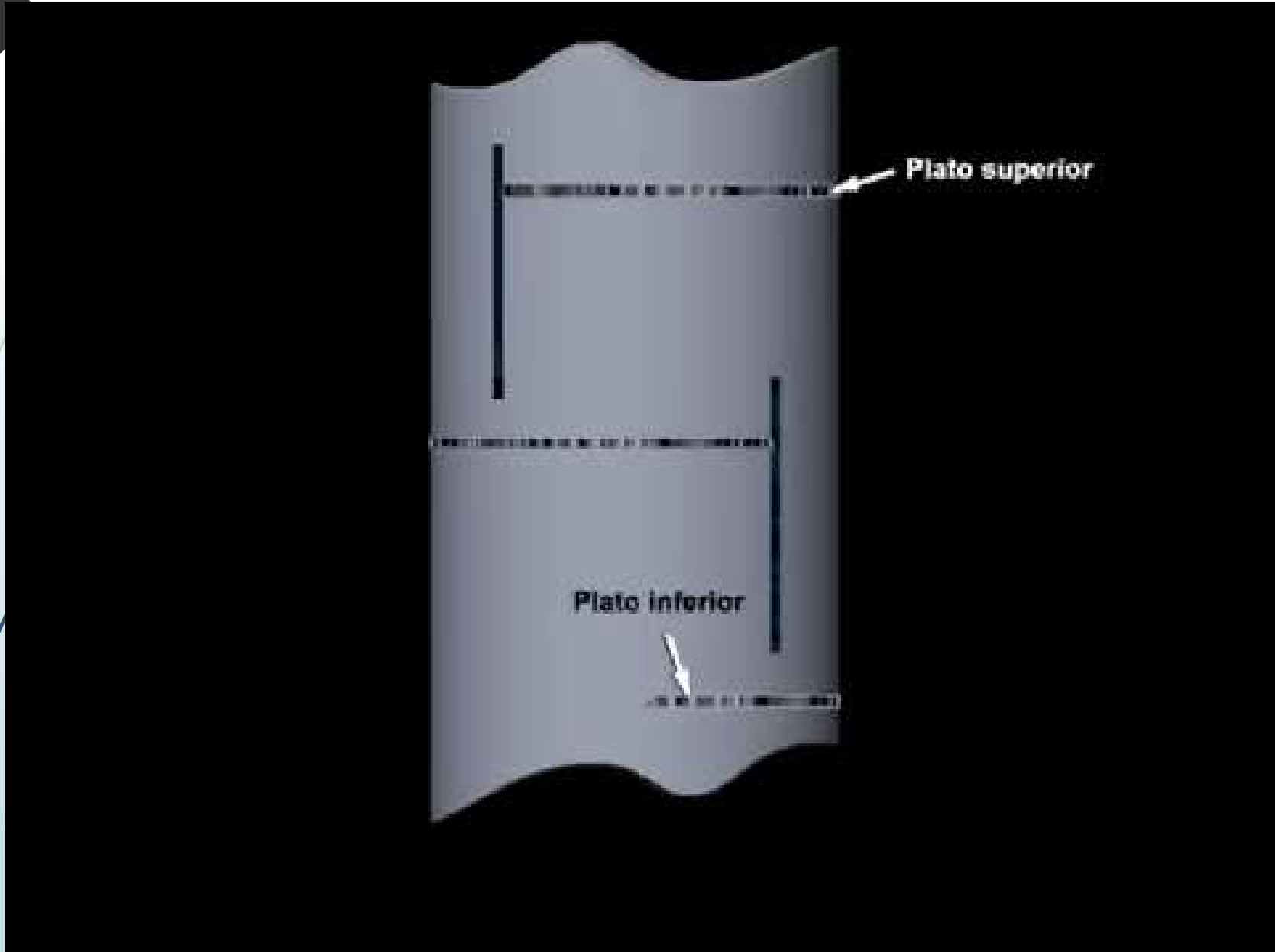
Plato de
campanas
de burbujeo



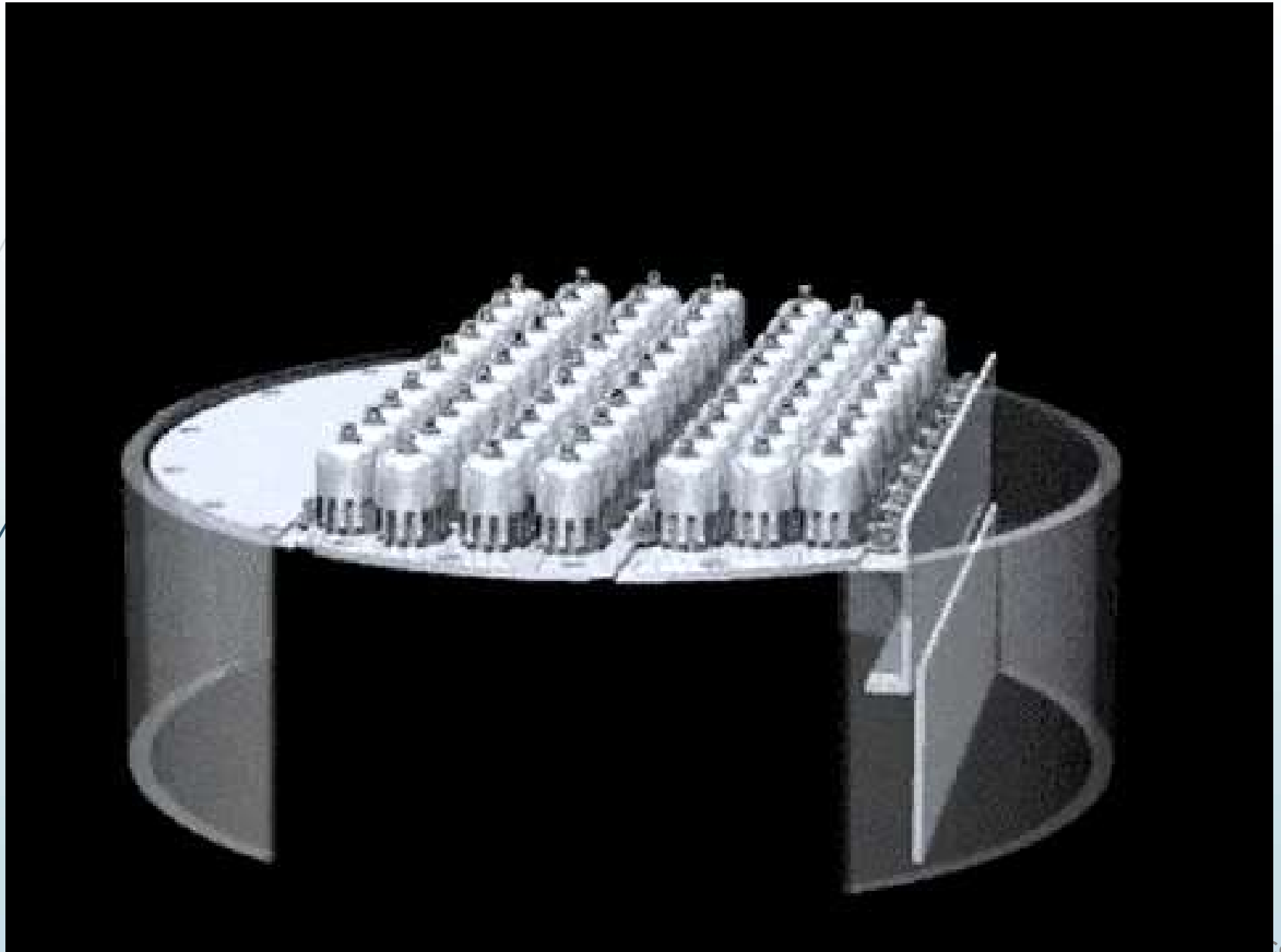
Plato perforado

Plato con canalones

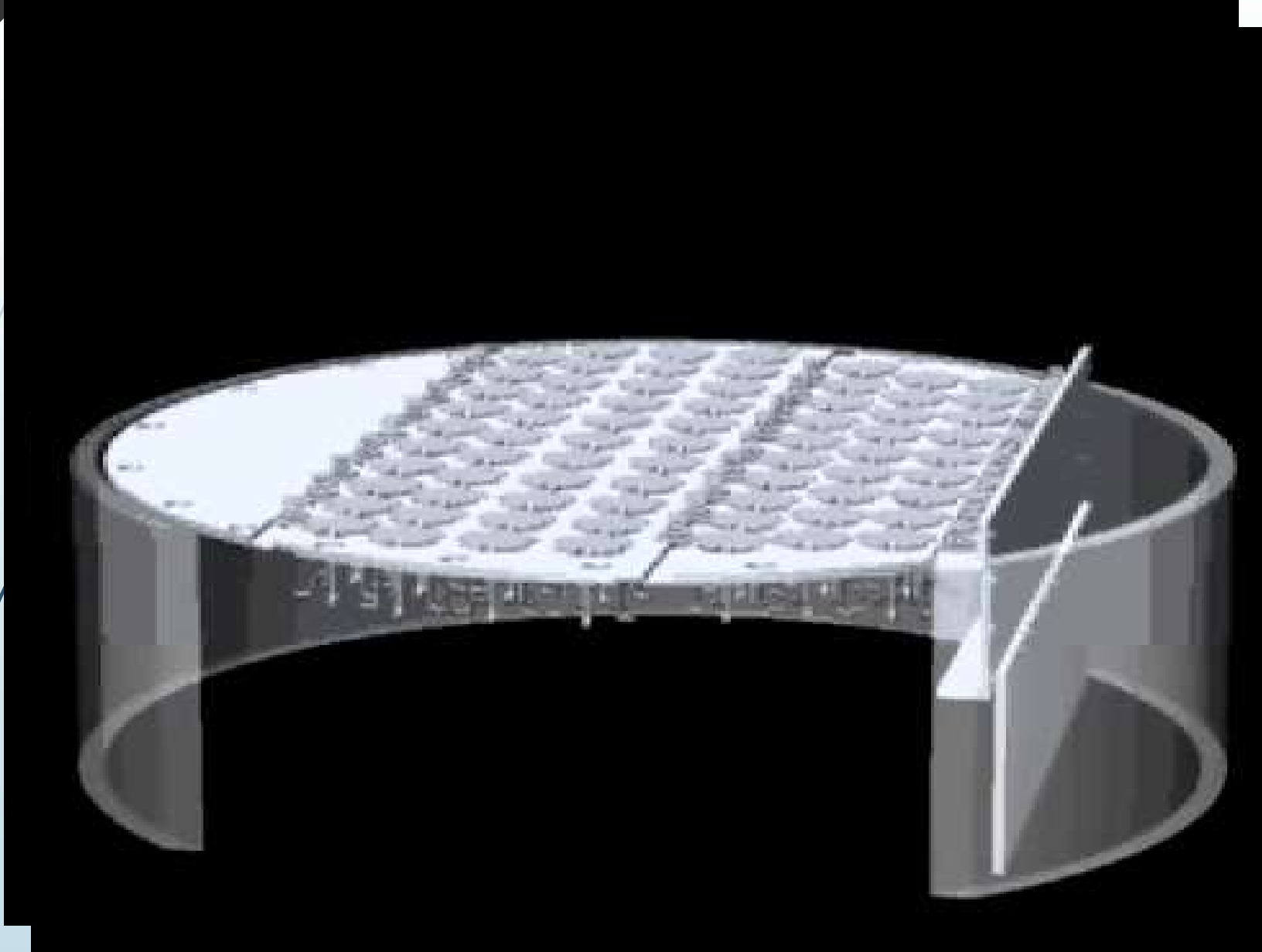




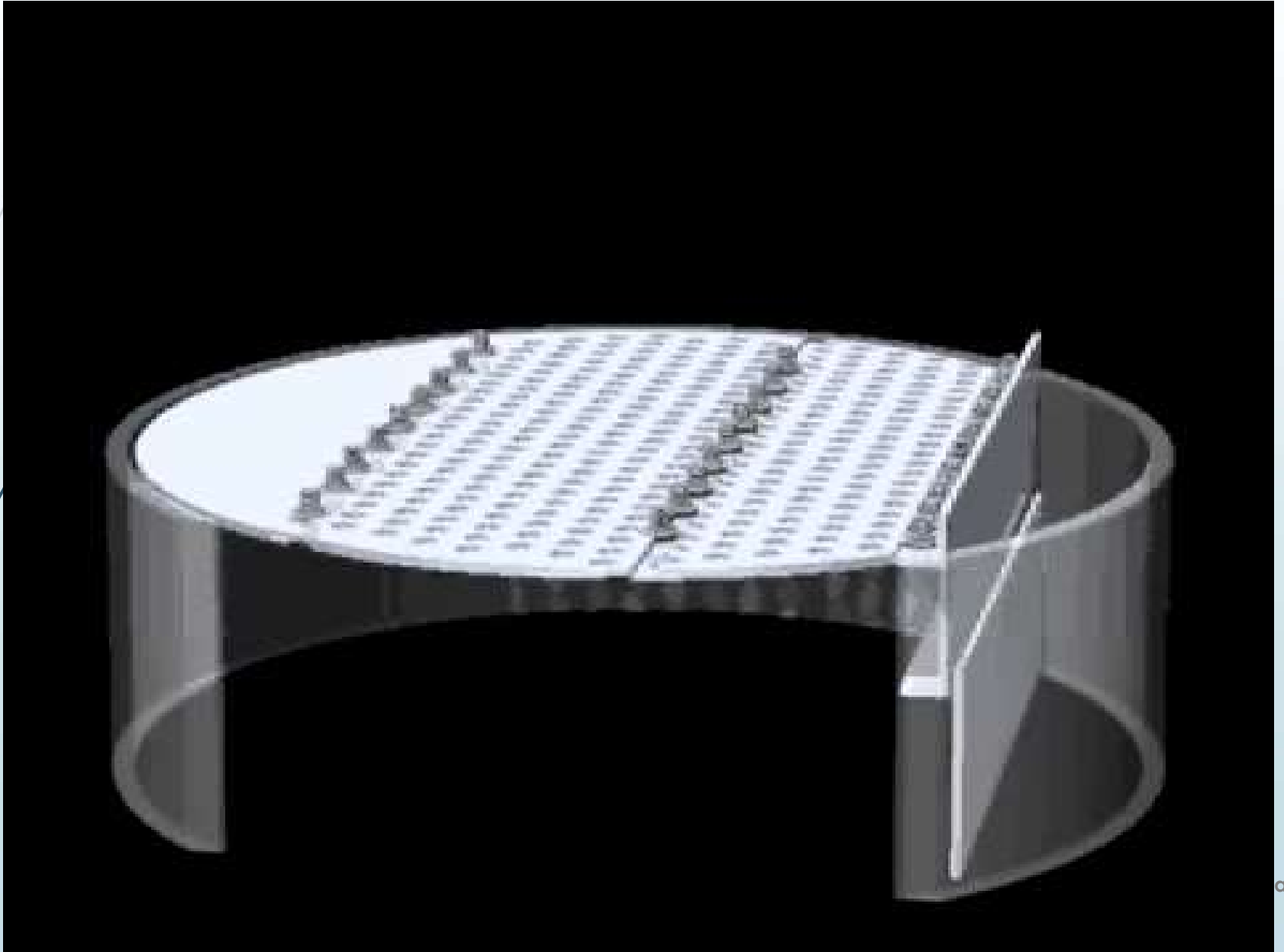
Funcionamiento campana de burbujeo (video)



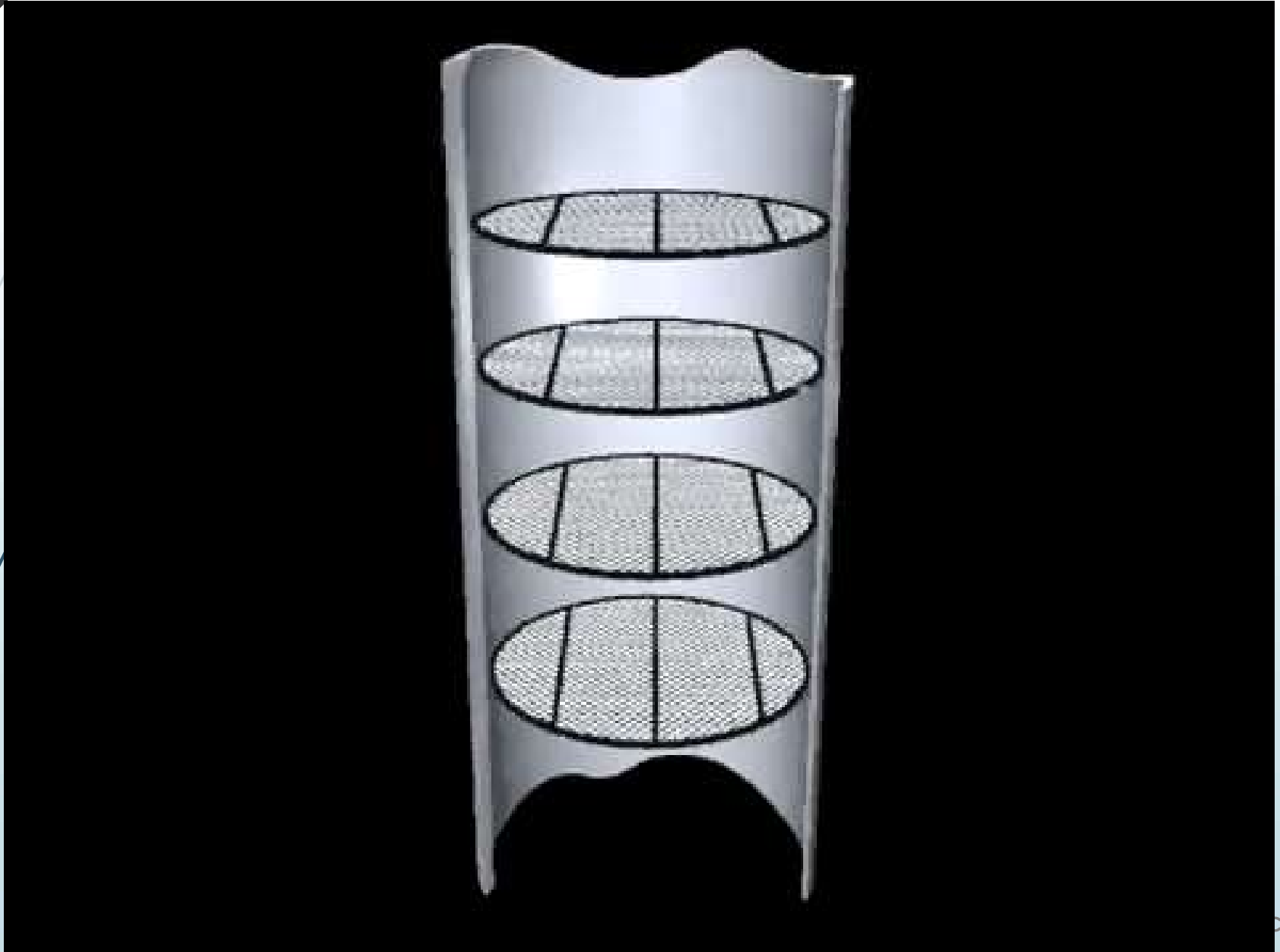
Funcionamiento plato de válvulas (video)



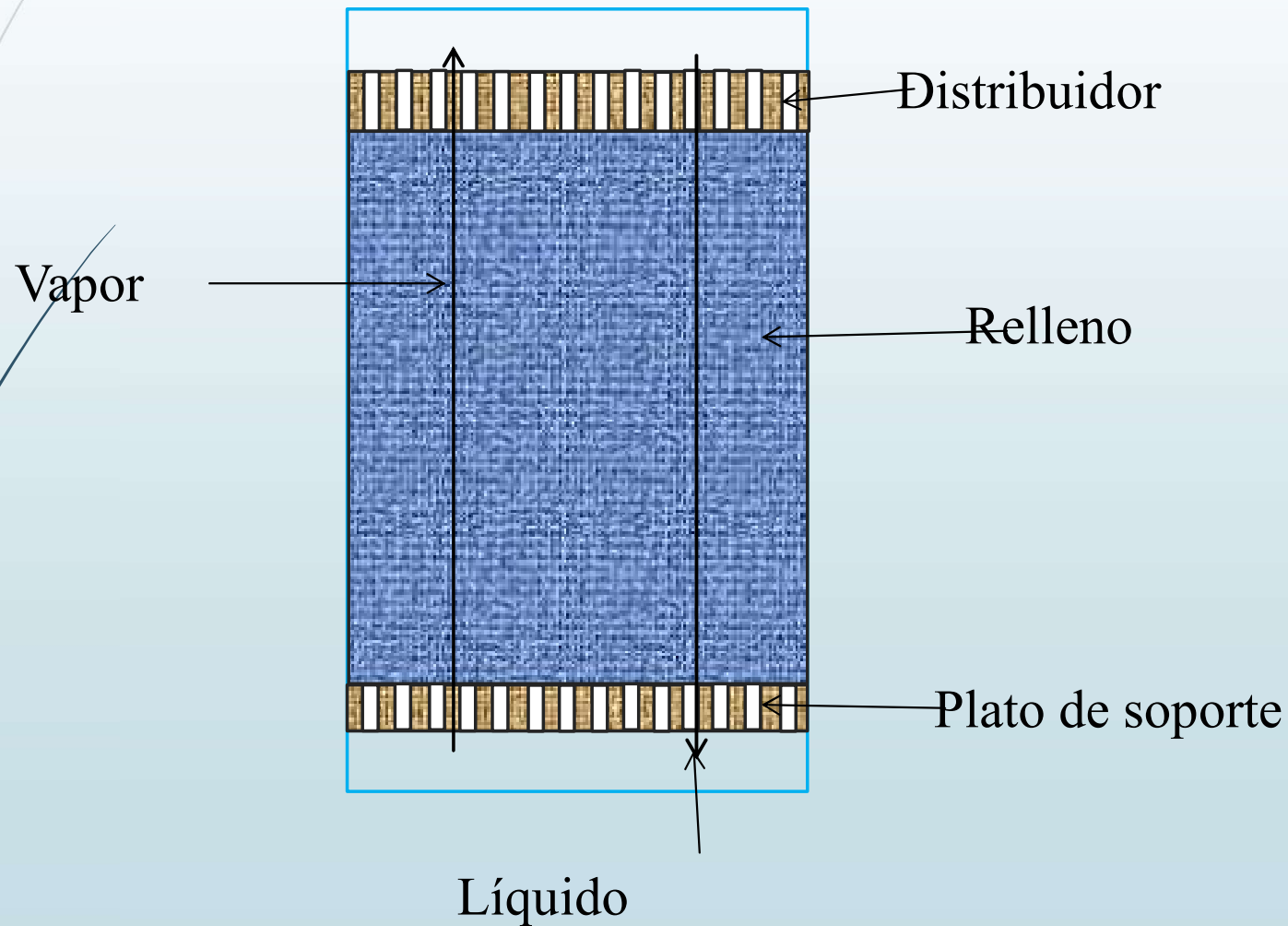
Funcionamiento plato perforado (video)



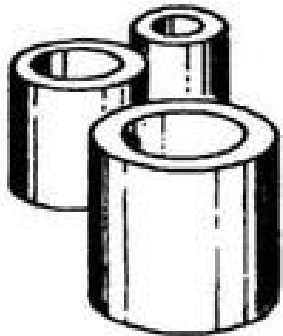
Flujo en contracorriente (Video)



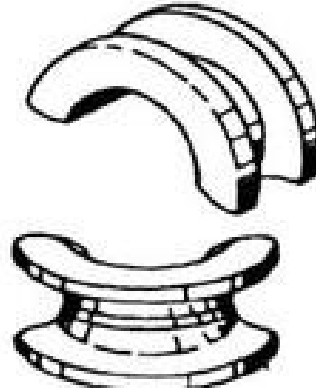
Columna de relleno



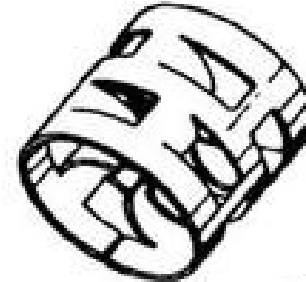
Columna de relleno



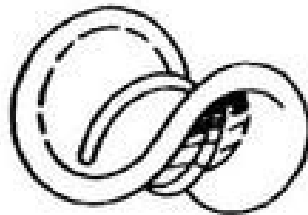
Anillo Raschig



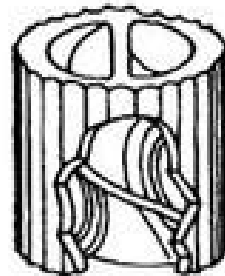
Silla Intalox



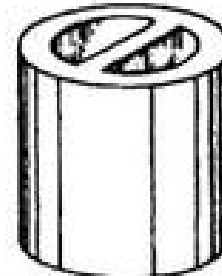
Anillos Pall



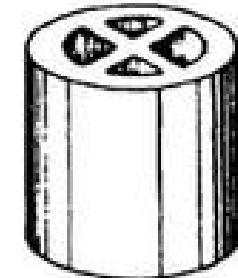
Silla Berl



Anillo con helicoidal



Anillo Lessing



Anillo de partición

. Diversos tipos de rellenos comerciales comunes.

Equipos exteriores de una columna de destilación

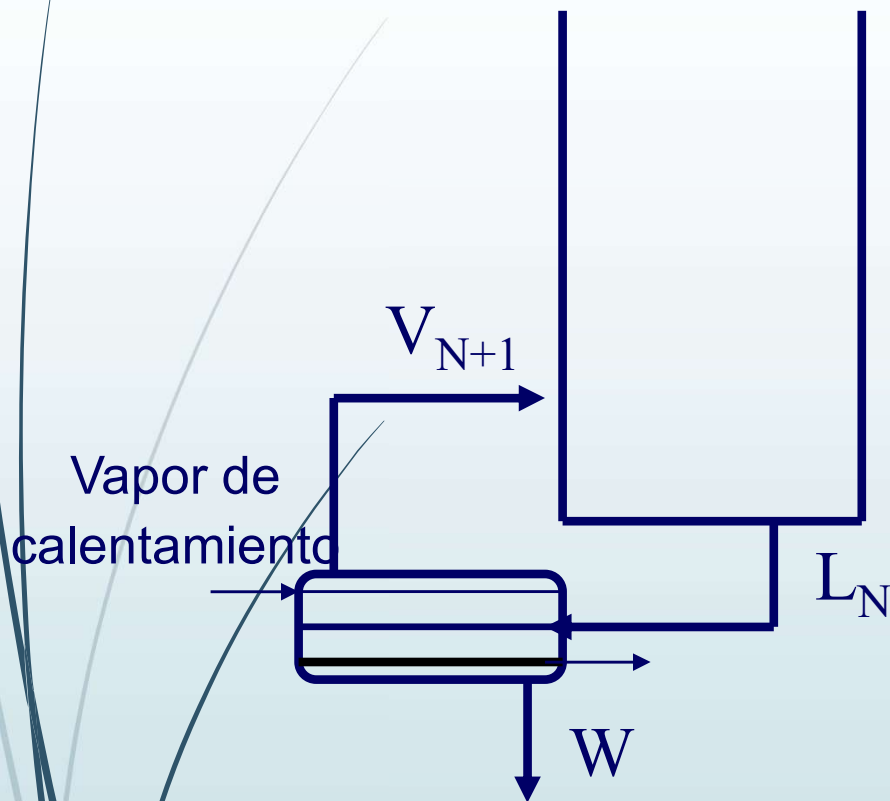
1. Rehervidor, ebullición o calderín

Equipo similar a un intercambiador de calor que proporciona la energía a la columna para mantener las corrientes de líquido y vapor en estado de saturación.

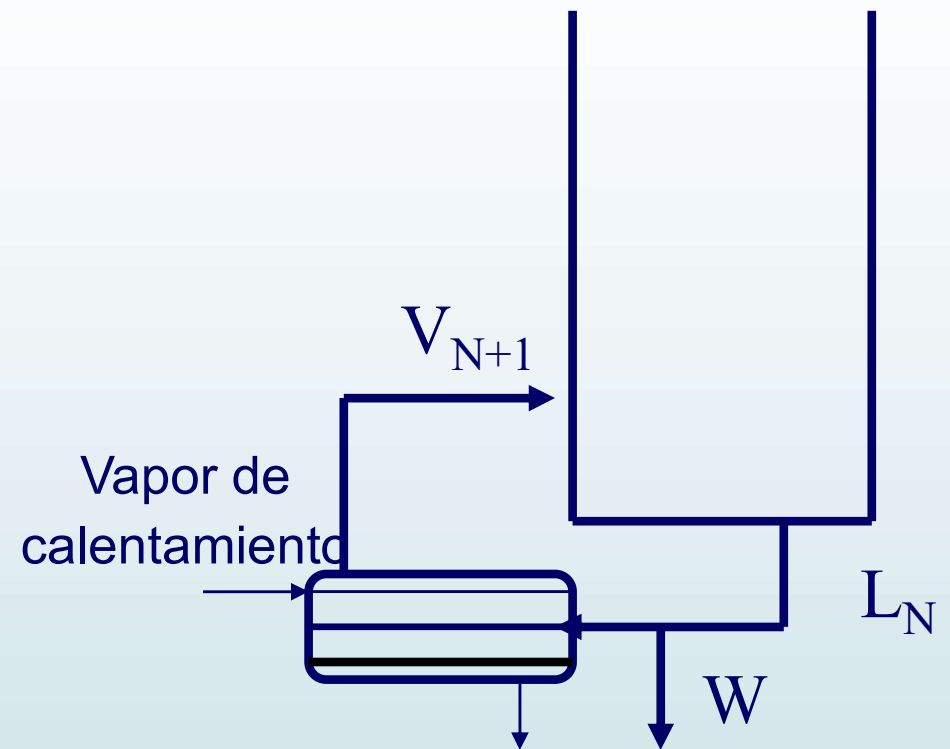
CLASES DE REHERVIDORES SEGÚN EL INTERCAMBIADOR USADO Y LA LOCALIZACIÓN EN LA COLUMNA

- Camisas de calentamiento en la parte inferior de la columna
 - Equipo similar a un intercambiador tubular interno en el fondo de la columna
 - Equipo similar a un intercambiador tubular externo
- * Cuando se va a destilar una mezcla acuosa, donde el agua es el componente pesado, se usa vapor vivo para el calentamiento.

Clases de rehervidores según el funcionamiento



a) *Rehervidor parcial*

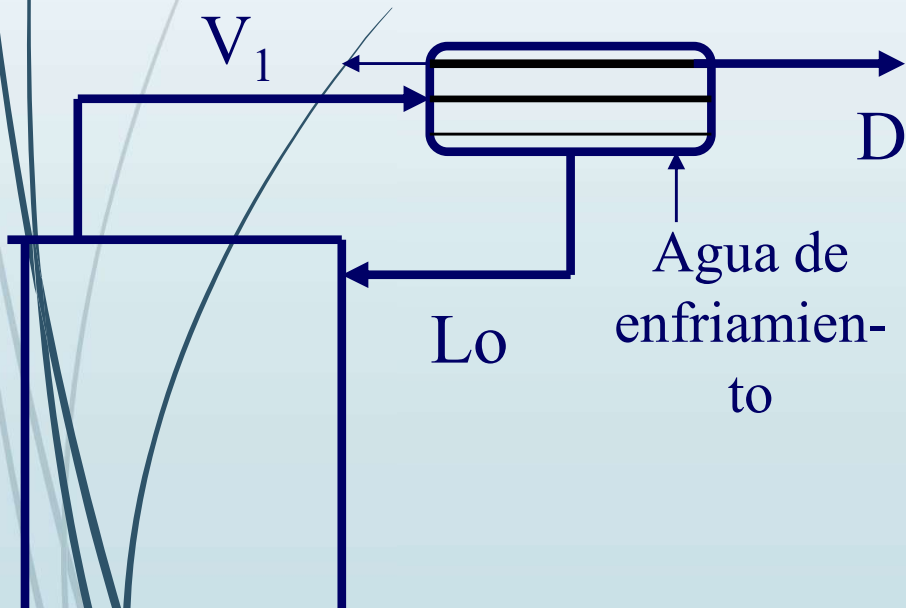


b) *Rehervidor total*

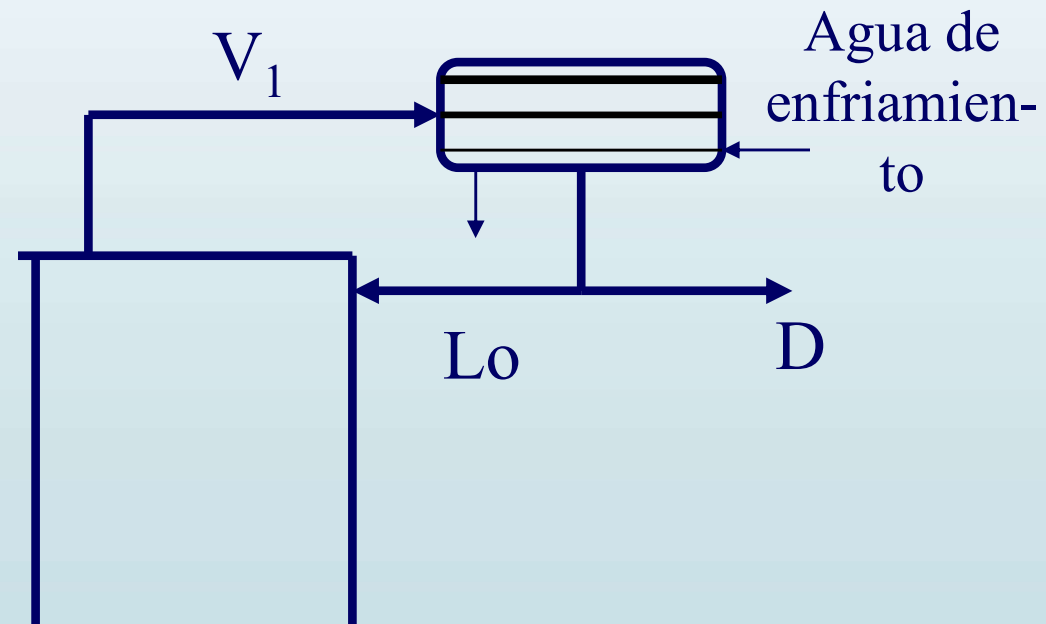
2. Condensador

Equipo similar a un intercambiador tubular que condensa el vapor que llega a la parte superior de la columna. El vapor condensado retorna a la columna como reflujo y lo demás se retira como destilado.

Clases de condensadores según el funcionamiento



a) Condensador parcial



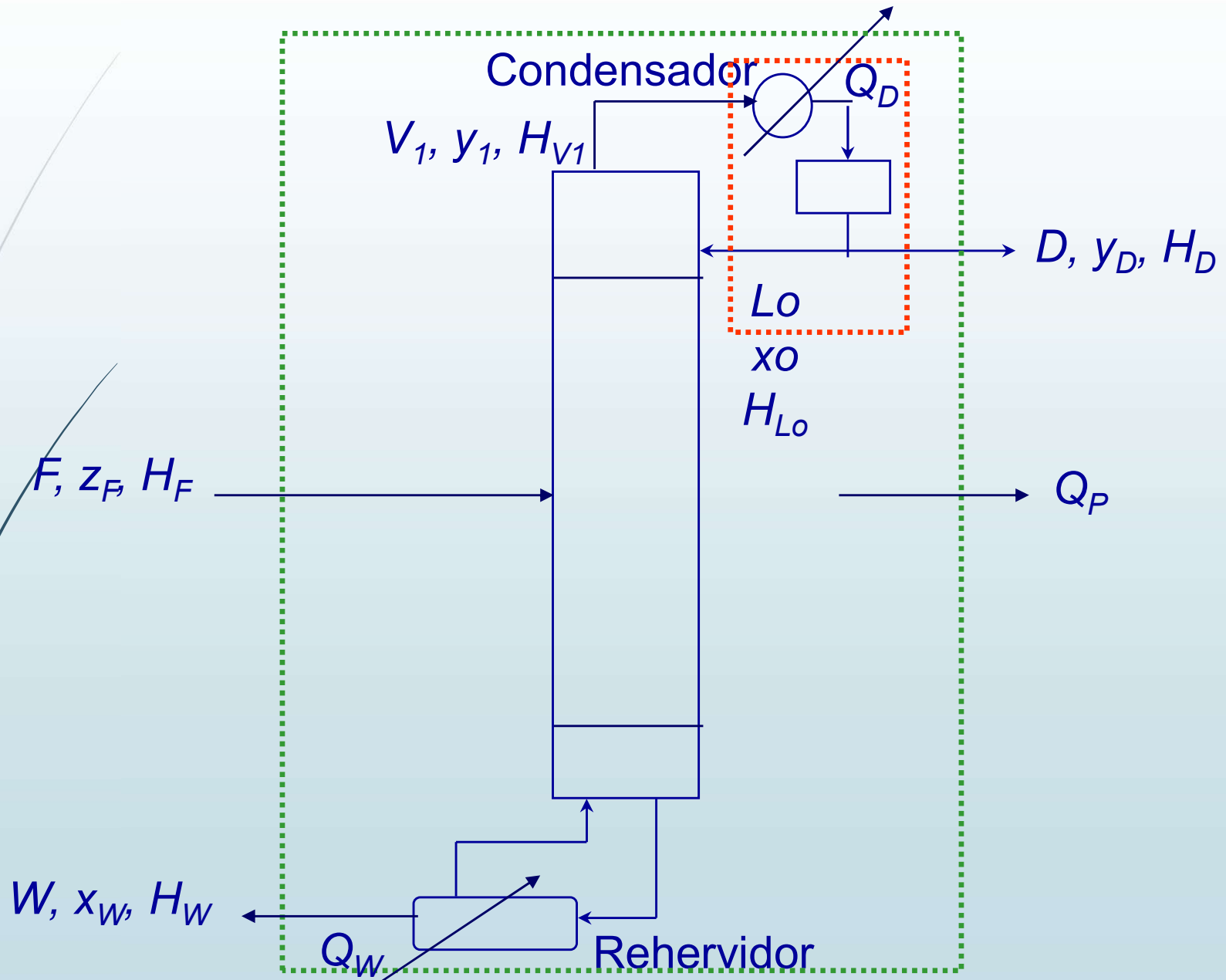
b) Condensador total

3. Acumulador de reflujo

Tanque que recibe la corriente proveniente del condensador. El acumulador permite una *holgura operacional* que puede mantener en funcionamiento la columna cuando se presentan problemas con el condensador.

* *Existen columnas complejas donde se presenta alimentación múltiple, varias salidas laterales de productos, y donde pueden haber condensadores y rehervidores intermedios a lo largo del equipo.*

Determinación de las cargas térmicas en el condensador y en el rehervidor - Balances de materia y entalpía



Parámetros importantes que definen el grado de separación de una mezcla en una columna de destilación

1. Relación de reflujo externa, $R = L_o / D$
2. Relación de reflujo interna, L / V
3. Número de etapas teóricas o unidades de transferencia

Métodos simples para calcular parámetros de separación en sistemas binarios

1. Método de Sorel (analítico)
2. Método de McCabe – Thiele (gráfico)

