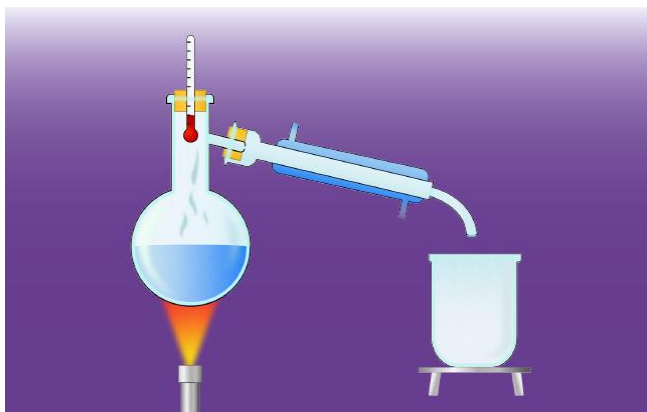




DESTILACIÓN SIMPLE Y FRACCIONADA

Autores: Alberto Reyes Deloso, José Guillermo Penieres Carrillo y Fernando Ortega Jiménez.
Colaborador: Antonio Matthew Méndez.
Proyecto DGAPA-PAPIME UNAM PE206117. Agosto de 2024.

**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN**

Departamento de Ciencias Químicas
Sección de Química Orgánica





D. R.© UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

Excepto donde se indique lo contrario esta obra está bajo una licencia Creative Commons Atribución No comercial, No derivada, 4.0 Internacional (CC BY NC ND 4.0 INTERNACIONAL). Fecha de asignación de la licencia 5 de agosto de 2024.

ENTIDAD EDITORA

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

Av. Universidad 3000, Universidad Nacional Autónoma de México, C.U., Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México.

FORMA SUGERIDA DE CITAR: Reyes Deloso, Albeeto, Penieres Carrillo, José Guillermo y Ortega Jiménez, Fernando (agosto 2024). Destilación simple y fraccionada (monografía). Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM

Contenido

Objetivo	1
Introducción.....	1
Destilación	1
Fundamento teórico	1
Destilación simple	2
El proceso	3
Precauciones en la destilación simple	3
Limitaciones asociadas a la destilación simple	3
Impurezas	3
Mezclas azeotrópicas	3
Reacciones químicas	4
Destilación fraccionada	4
El proceso	4
Equipo de destilación fraccionada.....	4
Eficiencia de la columna	5
Aplicaciones	5
Destilación fraccionada vs destilación simple.....	6
Referencias	7

Objetivo

Conocer las características básicas de la destilación simple y fraccionada, así como identificar las aplicaciones y ventajas de cada una de estas técnicas en la separación de mezclas. Se incluirá además información sobre los principios básicos de cada técnica y los equipos necesarios a nivel laboratorio.

Introducción

La destilación es una de las operaciones básicas más importantes de la Química Orgánica, pues es la única que permite separar un componente puro en forma directa, es decir, no requiere un procesamiento posterior. (Chang, 2013)

Este procedimiento conocido desde la antigüedad y utilizado artesanalmente, en la actualidad es el proceso de separación más dominante en la industria química, incluso sobre otras tecnologías de separación existentes como extracción, cristalización, adsorción, etc. De hecho, se considera un proceso primordial en las separaciones a nivel industrial debido a su utilidad en la recuperación y purificación de productos. (Chickos, 2020)

Una de las grandes ventajas que presenta este proceso frente a otros de transferencia de materia es que no necesita la adición de otros componentes para efectuar la separación, como ocurre en la extracción de solventes; en este caso el agente de separación utilizado es la energía y, en efecto, más del 95 por ciento de la energía consumida por los procesos de separación en las industrias de procesos químicos se deben a la destilación. (Chang, 2013)

La destilación es una técnica que permite separar las distintas sustancias de una mezcla. Se basa fundamentalmente en los puntos de ebullición de cada uno de los componentes. Cuanto mayor sea la diferencia entre los puntos de ebullición de las sustancias de la mezcla, más eficaz será la separación de sus componentes, es decir, se obtendrán con un mayor grado de pureza. (Chickos, 2020)

Originalmente la destilación es un proceso que se remonta al tratamiento de las bebidas alcohólicas y se ha venido extendiendo a muchas industrias,

siendo un factor esencial para el funcionamiento de algunas. En otro aspecto, es un auxiliar muy valioso para la investigación actual en el campo de la química orgánica. Tiene innumerables aplicaciones y se emplea a escala industrial y en pequeñas muestras analíticas en el laboratorio. Las aplicaciones industriales más comunes se encuentran en la refinación del petróleo y sus derivados, en la industria química, la purificación de alcoholes, ésteres, éteres, cetonas y disolventes en general. Es uno de los procesos de separación más extendido. (The Editors of Encyclopaedia Britannica, 2018)

Este documento tiene la finalidad de brindar un material didáctico de apoyo, especialmente a estudiantes de las licenciaturas de Química, Química Industrial, Ingeniería Química, Farmacia y Bioquímica Diagnostica impartidas en la FES Cuautitlán. No obstante, puede ser de gran utilidad para otras carreras relacionadas con las Ciencias Químicas inclusive de otras instituciones académicas. El propósito principal de este documento es resumir uno de los procedimientos de separación más conocidos en la actualidad y que es ampliamente usado en los laboratorios de Química Orgánica.

Destilación

La destilación es un proceso físico de separación de sustancias por medio de vaporización y condensación. Consiste en calentar una mezcla líquida para evaporar los componentes más volátiles y luego condensar el vapor obtenido en forma de líquido, separando así los diferentes componentes de la mezcla. Este método se utiliza comúnmente en la industria química y farmacéutica para purificar sustancias, separar componentes de una mezcla y obtener productos con mayor pureza. (Fessenden, 1993)

Fundamento teórico

El paso de las moléculas de la superficie de un líquido al estado gaseoso recibe el nombre de evaporación, y va acompañado de un descenso de la temperatura media del líquido. (Brown, 2012)

Cuando un líquido está en equilibrio con su vapor, la presión ejercida por las moléculas de la fase gaseosa recibe el nombre de presión de vapor. La presión de vapor es característica de cada líquido y aumenta exponencialmente con la temperatura. Los compuestos que tienen una presión de vapor alta se conocen como compuestos volátiles. (Brown,2012)

Al aumentar la temperatura la presión de vapor aumenta. Cuando la presión del gas en equilibrio con el líquido se iguala a la presión externa, la evaporación ya no tiene lugar solo en la superficie del líquido, sino que todas las moléculas de este tienen energía cinética suficiente para pasar al estado gaseoso. Este fenómeno recibe el nombre de ebullición.(Chickos, 2020)

La temperatura a la cual la presión de vapor de un líquido se iguala a la presión que lo rodea, se le llama punto de ebullición. El punto de ebullición es una constante física característica de cada líquido, aunque debido a su dependencia de la presión externa, varía de manera notable con pequeñas oscilaciones de esta. Por ello, el punto de ebullición experimentalmente para un líquido puro muestra habitualmente un rango de 1-2 °C, y debe expresarse siempre como un intervalo, indicando la presión a la que ha sido determinado. A modo de ejemplo, p.e. 80-82 °C (20 mm Hg). El punto de ebullición a 1 atmósfera de presión (760 mm Hg) recibe el nombre de punto de ebullición normal. El punto de ebullición de un líquido será tanto menor cuanto más volátil sea, es decir, cuanto mayor sea su presión de vapor a una temperatura determinada. (Chickos, 2020)

Destilación simple

Una destilación simple es un proceso meramente físico en el que los distintos componentes de una mezcla o disolución líquida se separan de esta. Para ello se utiliza el punto de ebullición del líquido o de los distintos líquidos del sistema. (Kelter, 2008)

La destilación simple consiste en calentar un líquido hasta cierta temperatura, para que este pase a estado gaseoso. Cuando esto sucede, en teoría y en un caso ideal, el líquido se separará de los demás componentes y se hará fluir por un tubo o torre de

condensación en el que el gas es enfriado nuevamente para obtener el líquido.

Este tipo de destilación se utiliza cuando la mezcla de productos líquidos a destilar contiene únicamente una sustancia volátil o, bien, cuando contiene más de una sustancia volátil pero el punto de ebullición del líquido más volátil difiere del punto de ebullición de los otros componentes en, al menos, 80 °C. El montaje de destilación simple consta de los siguientes componentes (ver Figura 1). (Guzmán, 2005)

Parrilla de calentamiento.

Soporte y pinzas.

Matraz de destilación.

T de destilación.

Termómetro.

Condensador.

Alargadera.

Colector.

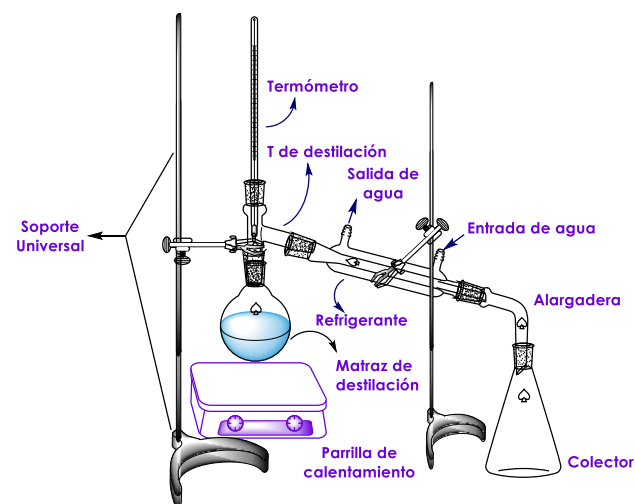


Figura 1. Aparato de destilación simple. Fuente: elaboración propia.

Para realizar una destilación simple, se coloca la mezcla de líquidos en el matraz de destilación y se calienta lentamente. Los vapores de los componentes de la mezcla suben por la T de destilación y pasan por el condensador, donde se enfrían y se convierten de nuevo en líquido. El líquido condensado se recoge en un matraz colector.

La destilación simple es un proceso relativamente sencillo y se utiliza comúnmente en laboratorios para purificar líquidos y separar componentes de una mezcla. (Pavia, 2011)

La destilación simple se puede llevar a presión atmosférica y se utiliza fundamentalmente cuando el punto de ebullición se encuentra por debajo de la temperatura de descomposición química del producto.

O, bien, puede llevarse a presión reducida o a vacío y consiste en disminuir la presión en el montaje de destilación con la finalidad de provocar una disminución del punto de ebullición del componente que se pretende destilar. Se utiliza fundamentalmente cuando el punto de ebullición del compuesto a destilar es superior a la temperatura de descomposición química del producto. Para llevar a cabo este tipo de destilación es necesario un sistema de vacío y un adaptador de vacío. (Pavia, 2011)

El proceso

Como se observa en el montaje de la Figura 1, se debe llenar el matraz de destilación hasta las 2/3 partes de su capacidad con el compuesto que se va a destilar. Se agregan perlas de vidrio como reguladores de ebullición, se cierra el sistema, se verifica y se cerciora que estén correctamente instalados el termómetro, la forma de entrada y la salida de agua. (Kelter, 2008)

Se inicia la circulación del agua y el calentamiento, se sigue el curso de la destilación, registrando la temperatura a la cual se inicia el ascenso de los vapores y comienza la destilación. Se gradúa el calentamiento para lograr aproximadamente una velocidad de 1 mL de destilado por minuto. Se recogen dos fracciones: la primera será todo lo que destile hasta 2 °C por debajo del punto de ebullición del primer compuesto que espera destilar, es decir, las impurezas más volátiles que se denominan **CABEZA** de destilación.

Posteriormente, se cambia el colector y se recoge el compuesto deseado que destile máximo en un rango de 4 °C, esta fracción se define como **CUERPO** y a lo que queda en el matraz se le denomina **COLA**. Se

suspende el calentamiento cuando en el matraz quede un residuo de aproximadamente la tercera parte de lo cargado inicialmente. (Fessenden, 1993).

Precauciones en la destilación simple

El termómetro debe estar siempre en la cabeza de destilación o boca del matraz, lo cual asegura que mida el punto de ebullición de la sustancia que se está destilando.

El condensador y el tubo deben estar inclinados para garantizar que el gas-líquido fluya hacia abajo. El agua debe entrar desde abajo para asegurar que todo el condensador esté lleno siempre.

La destilación debe ser suave, es decir poco a poco hasta llegar a la temperatura de ebullición, para evitar demasiadas burbujas.

La destilación simple no es suficiente para hacer un trabajo eficiente de separación de líquidos con puntos de ebullición que pueden estar relativamente cercanos (no menos de 25 °C). Para estos casos se utiliza la destilación fraccionada. (Pavia, 2011)

Limitaciones asociadas a la destilación simple

Impurezas

Ya que la mezcla de una destilación simple es calentada y condensada, la composición final del producto coincidirá con la composición del vapor, lo que significa que puede contener impurezas significativas. Entre más cercanos estén los puntos de ebullición de los líquidos en la mezcla, más impuro puede estar el líquido final. Por lo tanto, la destilación simple se utiliza normalmente solo si los puntos de ebullición de los componentes de la mezcla están separados por lo menos 25 °C. Mezclas con puntos de ebullición más cercanos pueden ser separadas por destilación fraccionada. (Chickos, 2020)

Mezclas azeotrópicas

Cuando se tiene una mezcla o disolución de líquidos cuyos puntos de ebullición se encuentran muy cercanos entre ellos puede darse el caso de que

ambos líquidos se evaporen hasta cierto punto. El resultado final si bien tendrá un mayor porcentaje del líquido de menor punto de ebullición, también logrará evaporar una parte del líquido de menor punto de ebullición formando lo que se conoce como azeótropos, que son líquidos contaminados por otro líquido de punto de ebullición similar. Asimismo, si los componentes en sí mismos son solubles el uno en el otro puede “arrastrar” parte de los componentes, contaminando la fracción de interés.

El calentamiento de la mezcla hasta la ebullición puede causar reacciones químicas no deseadas, que puede ser un problema si se está tratando de aislar a un producto específico. (Gilbert, 2010)

Reacciones químicas

Calentar una mezcla hasta alcanzar su punto de ebullición podría provocar reacciones químicas indeseables, que pueden ser un problema si se está tratando de aislar un producto específico. Por ejemplo, una reacción entre ácido bromhídrico con 1,3-butadieno a 0 °C daría una mezcla que contendría 3-bromo-1-buteno en mayor proporción y el 1-bromo-2-buteno en menor proporción. El intentar separar la mezcla por la destilación provocaría otra reacción, cambiando la composición de la mezcla para que ahora tengas más de 1-bromo-2-buteno que 3-bromo-1-buteno, lo que podría ser una desventaja si solo se quería más de este último. Además de lo anteriormente señalado, algunos compuestos pueden ser sensibles al calor. (Guzmán, 2005).

Destilación fraccionada

La destilación fraccionada es un proceso físico que emula la técnica de destilación simple, tomando como base el punto de ebullición de las especies y empleándose para separar mezclas de tipo homogéneo de varias sustancias que se encuentren en fase líquida o mezclas heterogéneas de tipo líquido-sólido no volátil.

Es un método usado desde hace siglos en las civilizaciones humanas de manera rudimentaria. La eficiencia de la destilación permite que siga usándose actualmente tanto en el ámbito industrial

como en los laboratorios. El principio de esta técnica se emplea en una gran cantidad de aplicaciones en distintos campos de la ciencia o la industria. (The Editors of Encyclopaedia Britannica, 2018).

El proceso

Como se indicó anteriormente, la destilación fraccionada consiste en la separación de una solución en sus componentes que se encuentran en estado líquido, basándose en la diferencia entre sus puntos de ebullición y siendo aplicada cuando esta diferencia es menor a 25 °C aproximadamente.

De este modo, cuando se coloca en calentamiento una mezcla de líquidos cuyos puntos de ebullición difieren de manera considerable, al alcanzar la temperatura de ebullición del componente más volátil se irá formando una fase de vapor, la cual contendrá mayormente esta sustancia al principio. (Gilbert, 2010)

Al seguir aumentando la temperatura suceden múltiples ciclos de evaporación y condensación (cada ciclo es conocido como “plato teórico”), hasta que emerge en primer lugar el componente de menor punto de ebullición.

En cada ciclo la constitución de la fase de vapor que se encuentra en la columna acumula una cantidad más grande del componente de mayor volatilidad, por lo cual esta sustancia se encuentra esencialmente en estado puro cuando alcanza la parte superior de la columna de fraccionamiento. (Guzmán, 2005).

Equipo de destilación fraccionada

En los laboratorios se utiliza un equipo que consta en primer lugar de un matraz o balón de destilación de vidrio, en el cual se coloca el líquido que se sitúa directamente en calentamiento (Figura 2). Dentro de este matraz se colocan algunas piedras de ebullición para controlar este proceso. (Gilbert, 2010)

Este matraz se acopla a una columna de fraccionamiento conocida como columna Vigreux, por medio de un conector; la longitud de la columna determina qué tan completa será la destilación.

Mientras más larga sea la columna, más efectiva será la separación.

Además, se precisa de un termómetro para registrar la temperatura mientras transcurre el tiempo, para que sea posible tener bajo control el proceso de destilación. (Pavia, 2011)

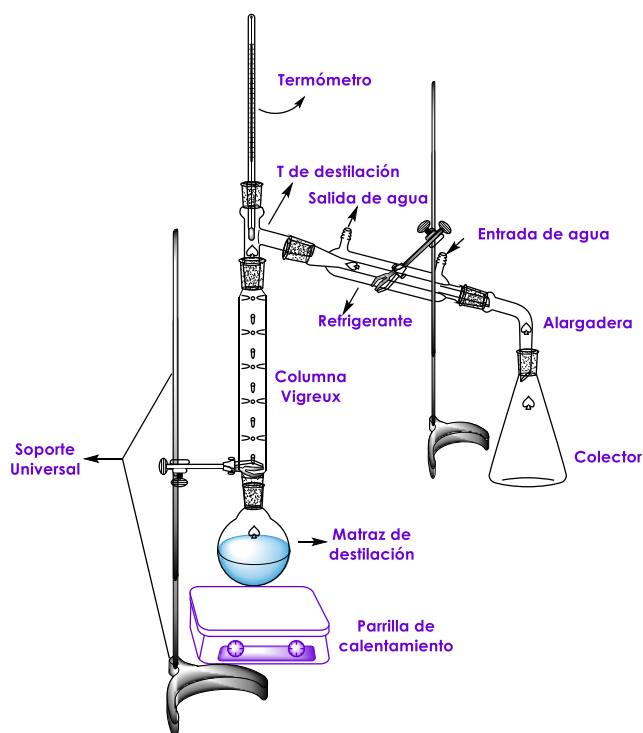


Figura 2. Aparato de destilación fraccionada. Fuente: elaboración propia.

Cabe señalar que la estructura interna de la columna está diseñada para simular varias destilaciones simples sucesivas, lo cual sucede porque el vapor asciende paulatinamente por la columna, se condensa de manera temporal en la parte superior y vuelve a ascender de forma reiterada.

En seguida, la salida de esta columna se conecta a un condensador (refrigerante) que ocasiona el enfriamiento del vapor de la sustancia separada y purificada, la cual es almacenada en un recipiente específico para recolectarla. Luego se incrementa nuevamente la temperatura hasta alcanzar el punto de ebullición del siguiente componente, el segundo más volátil, repitiéndose el proceso descrito, en el que cada componente se almacena en un recipiente específico para este. (Kelter, 2008)

Eficiencia de la columna

Una forma común de establecer la eficiencia de la columna es a través del concepto número de platos teóricos, el cual coincide con la cantidad de ciclos de evaporaciones-condensaciones que se producen durante el viaje de los vapores a lo largo de la columna. Se basa en el hecho teórico de que se puede considerar la columna como constituida por platos o recipientes diferentes a medida que se asciende en ella y en donde se acumulan y hierven las diferentes fracciones cada vez más ricas en el componente más volátil al ascender, es decir cada plato teórico corresponde a una destilación simple consecutiva en el proceso global. La destilación simple corresponde a la columna de un solo plato, dos destilaciones simples consecutivas a otra de dos platos, y así sucesivamente. (Pavia, 2011)

Aunque en la columna mostrada en la Figura 2 los ciclos de evaporación-condensación no se producen "por platos" sino de forma continua conforme se avanza hacia la parte alta, se puede considerar que a medida que la columna es más larga, la cantidad de platos teóricos presentes aumenta. (Kelter, 2008)

En la Tabla 1 se muestra una relación aproximada entre el número de platos teóricos necesarios para la separación de una mezcla ideal de dos componentes y sus puntos de ebullición. (Chickos, 2020)

Tabla 1. Relación del número de platos teóricos necesarios para la separación de una mezcla ideal de dos componentes. Fuente: elaboración propia.

Diferencia de los puntos de ebullición °C	Número de platos teóricos
108	1
72	2
54	3
43	4
36	5
20	10
10	20
7	30
4	50
2	100

Note que la cantidad de platos teóricos necesarios es más grande en la medida en que se acercan los puntos de ebullición, de hecho, una mezcla de dos componentes cuya diferencia en los puntos de ebullición sea de 108 °C o más se separa con la

destilación simple, mientras que si la diferencia es de unos 30 °C se necesitan más de cinco platos teóricos, aproximadamente.

Aplicaciones

La destilación fraccionada es una técnica de separación física que presenta muchos beneficios, por lo que es uno de los métodos más importantes y mayormente utilizados en la separación de mezclas líquidas, tanto en la industria como en el laboratorio. En lo que respecta a su uso en la escala industrial es empleada en las instalaciones de refinación de petróleo, al separar el crudo en las fracciones que lo componen. (The Editors of Encyclopaedia Britannica, 2018).

Se utiliza para la obtención y el procesamiento del gas natural que se extrae en estos procesos industriales. Además, se usa en las plantas químicas y procedimientos petroquímicos para el procesamiento de sustancias como el fenol o el formaldehído. (The Editors of Encyclopaedia Britannica, 2018).

Se utiliza en las plantas criogénicas de separación de aire para descomponer el aire de la atmósfera en sus constituyentes principales.

La destilación fraccionada también es empleada para la desalinización del agua de mar.

A escala de laboratorio se emplea en la purificación de reactivos y productos, como en la obtención de ciclopentadieno a través de la destilación de dicitopentadieno comercial, por ejemplo. (Guzmán, 2005).

Esta técnica también se usa para reciclar solventes que ya fueron utilizados, mediante la purificación.

Destilación fraccionada vs destilación simple

Cuando se tiene una mezcla ideal de dos componentes A y B y esta se somete a la ebullición, los primeros vapores producidos son ricos en el componente más volátil (digamos que A), no obstante, si se colecta y analiza la fracción producida muy al comienzo de una destilación simple, esta no

es del componente A puro, siempre habrá una cantidad del componente menos volátil (B) aunque en menor proporción. La proporción de uno y otro componente en la fracción colectada estará en dependencia de la diferencia entre sus puntos de ebullición, de forma que a mayor diferencia en los puntos de ebullición más rica es la primera fracción en el componente A (más volátil) y viceversa. Si se sigue adelantando la destilación, las fracciones subsecuentes van siendo cada vez menos ricas en A, al mismo tiempo que va aumentando la temperatura de ebullición, y a partir de cierto momento la proporción de B se hará dominante, hasta que finalmente la última fracción será muy concentrada en el componente menos volátil, pero nunca será tampoco de este componente puro, hasta la última gota habrá alguna cantidad de A. (Guzmán, 2005).

Ahora supongamos que la mezcla inicial de A y B es de 50% de cada uno y que ebulle a 90 °C, supongamos además que recolectamos una pequeña cantidad del primer destilado. Al analizar esta fracción nos encontramos con una proporción porcentual de 70% de A y 30% de B. Al someter la fracción recolectada a una nueva destilación tendremos que el nuevo punto de ebullición se coloca ahora en 85 °C y que separemos de nuevo la fracción inicial, resultando está en proporciones de 90% de A y 10% de B. Si sometemos a re-destilación la pequeña cantidad inicial de cada ciclo de forma repetitiva, finalmente podremos alcanzar un líquido muy cercano al componente A puro, sin embargo, como solo tomamos una pequeña cantidad de líquido de cada destilación anterior para someterlo a una nueva, tendremos al final la pérdida de la mayoría del material con el que comenzamos el experimento. (Guzmán, 2005).

Obviamente este procedimiento de separación es demasiado tedioso e ineficiente y por suerte nunca será necesario ejecutarlo en la práctica usual. La destilación fraccionada se diferencia de la destilación simple solo en el hecho de que se inserta una columna de fraccionamiento entre la T de destilación y el condensador, como se muestra en la Figura 2. (Pavia, 2011)

La columna de fraccionamiento debe estar rellena de un material apropiado como una esponja de acero

inoxidable, el cual hace que la mezcla de los componentes A y B esté sujeta continuamente a evaporaciones-condensaciones sucesivas, a medida que el material se desplaza hacia arriba, a zonas más frías, en la columna. Con cada ciclo de evaporación-condensación a lo largo de la columna la composición del vapor se va enriqueciendo en el componente más volátil (A) y finalmente este componente A, casi puro, emerge de la parte alta de la columna, se condensa en el condensador y termina en el frasco colector. (Pavia, 2011)

Si el proceso de destilación se hace durante el tiempo necesario, idealmente todo el componente A terminará en el frasco colector y quedará solo el componente B en el frasco de destilación. La destilación fraccionada debe llevarse a cabo lentamente para permitir que se produzcan muchos ciclos de evaporación-condensación a lo largo de la columna. (Pavia, 2011)

Una vez que casi se haya agotado el componente A, la temperatura de ebullición de la mezcla en el frasco de destilación comenzará a aumentar y durante esta etapa de transición se deberá cambiar el frasco colector para recoger una segunda fracción que contiene tanto A como B. Más adelante, la temperatura vuelve a estabilizarse cerca del punto de ebullición del componente B puro que es lo que queda prácticamente en el frasco colector; de nuevo se cambiará el frasco para recoger la tercera y última fracción del componente B casi puro. (Pavia, 2011)

Note que la separación se ha hecho mucho mejor que utilizando varias etapas consecutivas de destilación simple.

La destilación pudo haberse interrumpido una vez que se alcanza la estabilidad de la temperatura cerca del punto de ebullición del componente B puro y haber tomado esta fracción directamente del frasco de destilación, sin embargo, es mejor continuar

hasta el final, a fin de dejar como residuo sin destilar las posibles impurezas de alto punto de ebullición que pudieron estar presentes en la mezcla original o que se formaron por descomposición térmica durante el proceso. (Pavia, 2011)

Referencias

The Editors of Encyclopaedia Britannica. (21 de junio de 2024). Distillation chemical process. <https://www.britannica.com/science/distillation>.

Brown, T. L., LeMay Jr, H. E., Bursten, B. E., Murphy, C. J. y Woodward, P. M. (2012). *Química: La ciencia central*. Pearson.

Chang, R. y Goldsby, K. A. (2013). *Química*. McGraw-Hill.

Chickos, J., Garin, D. y D'Souza, D. Libretext Chemistry. (29 de junio de 2020). Distillation. https://chem.libretexts.org/Demos%2C_Techniques%2C_and_Experiments/Wet_Lab_Experiments/Organic_Chemistry_Labs/Misc/Distillation.

Fessenden, R.J. y Fessenden J.S. (1993). *Organic Laboratory. Techniques*. USA: Brooks/Cole.

Gilbert, J. C. y Martin S. F. (2010). *Experimental Organic Chemistry A Miniscale and Microscale*. USA: Brooks and Cole.

Guzmán, D. (2005). *Introducción a la técnica instrumental*. IPN.

Kelter, P. B., Mosher, M. D. y Scott, A. (2008). *Chemistry The Practical Science*. Boston: Cengage Learning.

Pavia, D. L., Lampam G. M., Kriz G. S. y Engel, R. (2011). *A Small Scale Approach to Organic Laboratory Techniques*. Brooks and Cole.