

Sin embargo, para mantener el estilo de vida que hemos llevado hasta ahora es necesario encontrar nuevas alternativas que nos permitan, en términos prácticos, obtener más producto con menos contaminación y menos recursos.

Las últimas décadas del siglo veinte y los primeros años del siglo veintiuno han demostrado que el modelo dominante del desarrollo global es prácticamente insostenible (Comisión Económica para América Latina [CEPAL], 2016). Debido a esto ha surgido un mayor interés por encontrar nuevas alternativas tecnológicas que sean capaces de mejorar los procesos convencionales, y que logren satisfacer las necesidades económicas, sociales y ambientales. Un ejemplo de proceso convencional es la destilación, la cual a pesar de ser una de las principales operaciones de separación dentro de la industria química, requiere una gran cantidad de energía para su funcionamiento. Por lo anterior, surge la destilación reactiva como alternativa para llevar a cabo procesos más sostenibles, rápidos y eficaces; obteniendo productos más limpios con un mínimo impacto ambiental y que conducen a mayores derramadas económicas.

Se le conoce como destilación reactiva (DR) al proceso en el que las etapas principales de la destilación (reacción química y separación) se llevan a cabo simultáneamente dentro de un mismo aparato (Sakhre, 2019). Esto conlleva diferentes ventajas como: eliminar la limitación debido al equilibrio químico en la reacción; selectividades altas; se evita el uso de solventes en el proceso de extracción; separa mezclas azeotrópicas y de componentes con puntos de ebullición parecidos con mayor facilidad (Del Río Segovia, 2016). En consecuencia, operar con columnas de destilación reactiva genera un impacto ambiental menor en comparación con las columnas de destilación convencionales, aquellas donde las etapas principales se llevan a cabo por separado en aparatos diferentes, además proporciona un ahorro de recursos energéticos y de materia prima considerables; es por ello que desde el siglo pasado esta tecnología ha sido de interés para los investigadores y los industriales.

La primera patente del proceso de DR se realizó en la década de 1920, pero fue en 1980 que la Eastman Company logró sintetizar acetato de metilo usando DR por primera vez. Después del éxito alcanzado por la compañía, varios países y universidades europeas se unieron para trabajar en una estrategia de desarrollo para el proceso de destilación reactiva bajo el nombre de “the umbrella of brite Euran Project” (Sakhre, 2019). El presente trabajo tiene como objetivo explicar las ventajas del proceso de destilación reactiva en su implementación como alternativa a los procesos convencionales. Así pues, abordaremos más a fondo las razones por las cuales las columnas de destilación reactiva son tan convenientes, considerando parámetros como su funcionamiento, sus aportaciones al ahorro energético, económico y otros factores externos.

2. Desarrollo

La destilación convencional es un proceso muy antiguo que permite separar las sustancias de una mezcla líquida. Al calentar el líquido, sus constituyentes se vaporizan de acuerdo con sus respectivas temperaturas de ebullición; un condensador permite enfriar estos vapores para recuperar las sustancias respectivas en recipientes adecuados (Green y Southard, 2019). En la industria química, cuando se lleva a cabo este proceso las reacciones químicas y la separación de los productos se efectúan de forma secuencial; frecuentemente esto implica un alto costo, debido a que se desperdician grandes cantidades de energía (Medina-Leaños, Segovia-Hernández y Félix-Flores, 2011). El costo de operación de las columnas de destilación convencional es, por lo general, la parte más costosa de la mayoría de los procesos industriales en los que participa (Hernández Hernández, 2016).

Además de su elevado costo de operación, las columnas de destilación convencionales pueden presentar una gran cantidad de impurezas en el producto final. También impactan directamente al medio ambiente, puesto que la quema de combustibles fósiles para llevar a cabo el proceso de separación produce grandes emisiones de carbono (Gutiérrez-Guerra, Segovia-Hernández y

Hernández, 2009). Estos problemas pueden disminuirse de manera importante con la implementación de la destilación reactiva (DR); que como ya se mencionó es la ejecución simultánea de reacción y separación en un mismo equipo y se emplea para reacciones en fase líquida. La aplicación de la DR puede aportar ahorros de hasta el 80% de los costos de energía final de capital asociados con la reacción convencional de separación, por lo cual, esta tecnología ocupa un lugar excepcional en la intensificación de procesos químicos; además, tiene un amplio ámbito de aplicación como método de separación (Keller, 2014).

La DR se ha utilizado e investigado con éxito en el pasado para varias reacciones como eterificación, esterificación, hidrogenación, hidrodesulfuración y polimerización. Una de las primeras patentes en este campo fue la aplicación de la esterificación catalizada homogéneamente, la cual se remontan a la década de 1920 (Harmsen, 2007). Por otro lado, es importante resaltar que en los últimos años han aparecido un número creciente de artículos acerca de la DR; esto revela claramente el creciente interés en esta área. Estas investigaciones han permitido el surgimiento de nuevas empresas dedicadas al desarrollo e implementación de tecnologías de destilación reactiva; un ejemplo claro es la empresa CDTECH, la cual hizo su primera implementación comercial en una planta de éter metil tert-butílico (MTBE) en Charter Oil, Houston, Texas en 1981, como se mencionó antes. Desde entonces, ellos han implementado 123 unidades comerciales (Ng, 2006). Otro claro ejemplo es Chemoxy International en Reino Unido la cual comercializa, entre otros, columnas de destilación reactiva (Chemoxy, 2020).

En la Figura 1, se muestra un esquema del proceso convencional de síntesis de acetato de metilo que consiste en ocho columnas de destilación debido a la presencia de dos azeótropos entre el acetato de metilo y el metanol y entre el acetato de metilo y el agua. La compañía Eastman-Kodak desarrolló un proceso de destilación reactiva en el que sólo se necesita una columna para producir acetato de metilo de alta pureza. Además, la columna de destilación reactiva única consumía cinco veces menos energía y tenía cinco veces menos costos de inversión de capital que el proceso convencional de unidades múltiples (Keller, 2014). En el acetato de metilo producido por la compañía Eastman-Kodak, el proceso de los flujos de reactivos se controlan exactamente en estequiometría. Si esto no se controla con precisión, el metanol contaminaría el producto o el ácido acético contaminaría el agua de coproducto. El proceso no tiene capacidad de respaldo para recuperarse de este tipo de errores (Sakhre, 2019).

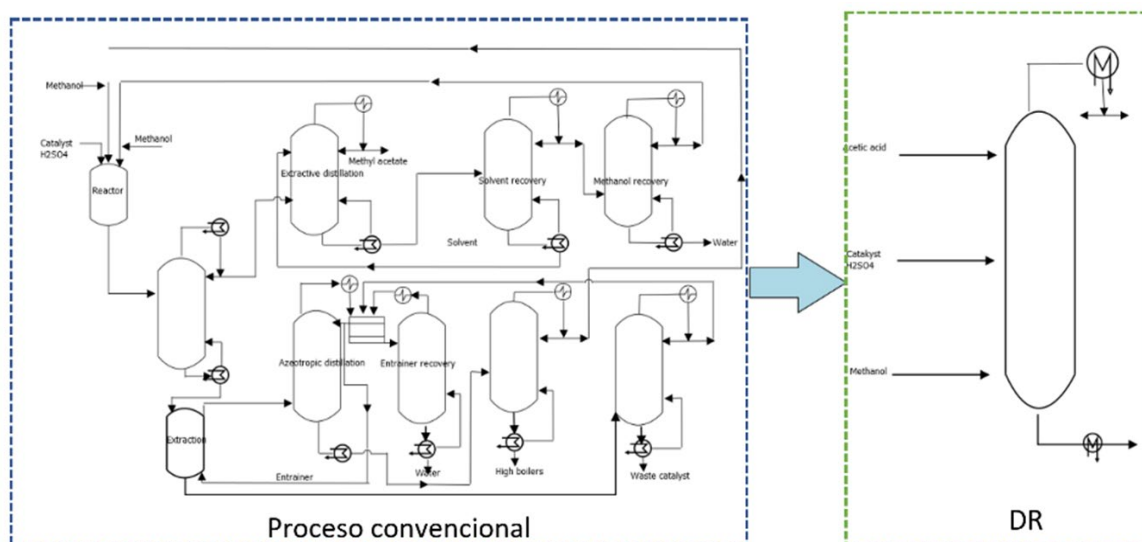


Figura 1. Procesos convencionales (izquierda) e intensificado (derecha) de síntesis de acetato de metilo. El proceso convencional consiste en un reactor seguido de ocho columnas de destilación y una de extracción. El proceso intensificado (Eastman-Kodak) usa tecnología de destilación reactiva. Adaptado de Keller (2014).

Las principales investigaciones sobre el proceso de DR se han enfocado en los aspectos teóricos, la mejora del rendimiento en las aplicaciones existentes y la exploración de nuevas aplicaciones (Harmsen, 2007). Particularmente, se investiga ampliamente la integración de las reacciones químicas con la separación física en una sola unidad, característica inherente de este tipo de procesos; lo cual conduce normalmente a una reducción considerable en la inversión de capital y en los costos de operación (Sakhre, 2019). Dicho beneficio económico puede ser causado por la reducción de la materia prima utilizada, la disminución de las corrientes de reciclo y la reducción de los costos de las bombas, tuberías e instrumentación (Medina-Leaños, Segovia-Hernández, y Félix-Flores, 2011). Aunque, por otra parte, la destilación reactiva se ve limitada a sistemas en donde las volatilidades relativas entre los reactantes y los productos coinciden, de tal forma que los productos puedan ser fácilmente removidos de la región donde se está llevando a cabo la reacción, evitando pérdidas de reactantes (Hernández Hernández, 2016). Asimismo, es aplicable a mezclas multicomponentes y multirreactivas, mezclas altamente no ideales como las azeotrópicas y con solubilidad limitada. Por otro lado, si la DR se aplica a la reacción exotérmica, el calor de la reacción puede utilizarse para la vaporización del líquido; esto conduce a un ahorro de los costos de energía por la reducción de los trabajos de calderas (Tuchlenski et al., 2001).

Otras de las ventajas de este tipo de operación unitaria es que necesita pocos datos iniciales en el modelado del equilibrio fisicoquímico, y puede ser fácilmente formalizado como algoritmo reduciendo así el tiempo computacional y simplificando laboriosos y extensos experimentos a gran escala (Keller, 2014). De igual forma, esta tecnología requiere menores medidas de precaución y, además, presenta a menudo mayor confiabilidad del sistema debido a la reducción de equipos y conexiones; esto a su vez generará una disminución en las emisiones de gases como el dióxido de carbono y un ahorro energético (Sakhre, 2019). En contraparte, el diseño y operación de los sistemas de destilación reactiva son considerablemente más complejos que aquellos involucrados ya sea en los reactores convencionales o en las columnas de destilación convencionales (Taylor y Krishna, 2000) debido a que involucra fenómenos de transporte, equilibrio químico y de fases en sistemas multicomponentes al mismo tiempo. El diseño se basa en establecer las dimensiones, condiciones de operación, estructura, reacciones involucradas y medidas de seguridad necesarias para la columna de destilación (Vela y Vázquez, 2012). Además, ya que la DR depende de la naturaleza del sistema, cuando las transformaciones químicas son complejas y suceden en fase gas o a presiones muy altas, llevar a cabo la destilación y reacción en un mismo equipo puede no ser conveniente (Sánchez-Daza, Pérez-Cisneros, Ortiz-Muñoz y Luna-Ortega, 2006). También, debe incluirse en el diseño de columnas de destilación reactiva la minimización de la pérdida de exergía o trabajo útil (Sakhre, 2019).

Dada la importancia que ha ido ganando la DR, aunado a lo anterior se están desarrollando conocimientos de diseño para combinaciones novedosas de reacción y separación como destilación extractiva reactiva y reacción catalítica en columnas de destilación de pared divisoria. Esto muestra que el campo de la destilación reactiva está siendo extendido y tendrá mucho mayor impacto en el futuro cercano. Es por ello que la destilación reactiva puede verse como la precursora en el campo de la intensificación de procesos (Dragomir, 2004).

3. Conclusiones

La destilación reactiva es una alternativa viable para sustituir los procesos convencionales de destilación ya que ofrece múltiples beneficios, por ejemplo, el ahorro económico reflejado en la reducción de espacio, materiales y energía. Además, tiene menos riesgos para el operador, un menor impacto ambiental y requiere menos mantenimiento; lo que la ha llevado a posicionarse como una alternativa sostenible en la industria del futuro. Sin embargo, la destilación reactiva no aplica cuando las transformaciones químicas son complejas y ocurren en diferentes fasos o a presiones muy altas.

Referencias

- Chang, R. y Goldsby, K. (2017). Química. Ed. McGrawHill, México.
- Chemoxy International Ltd. (2020). Reactive distillation. Recuperado el 16 de diciembre de 2020 de: <https://www.chemoxy.com/reactive-distillation/>
- Comisión Económica para América Latina (CEPAL). (2016). Horizontes 2030: La igualdad en el centro del desarrollo sostenible. Trigésimo sexto período de sesiones de la CEPAL. Naciones Unidas. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40159/4/S1600653_es.pdf
- Del Río Segovia, J. L. (2016). Propuesta de la obtención de acetato de etilo, utilizando un solo equipo para la reacción química y la separación por destilación, a partir de ácido acético y etanol (Tesis de licenciatura en ingeniería química industrial). Instituto Politécnico Nacional. <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/22132/25-1-16964.pdf>
- Dragomir, R. M. (2004). Synthesis and Design of Reactive Distillation Columns (Tesis doctoral). University of Manchester Institute of Science and Technology. https://www.research.manchester.ac.uk/portal/files/31674357/FULL_TEXT.PDF
- Green, D & Southard, M. (2019). Perry's Chemical Engineers' Handbook. McGraw-Hill Education, USA.
- Gutiérrez-Guerra, R., Segovia-Hernández, J. G., & Hernández, S. (2009). Reducing energy consumption and CO2 emissions in extractive distillation. Chemical Engineering Research and Design, 87(2), 145–152. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2008.07.004>
- Harmsen, G. J. (2007). Reactive distillation: The front-runner of industrial process intensification. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 46(9), 774–780. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2007.06.005>
- Hernández Hernández, E. (2016). Simulación dinámica y control de columnas de destilación reactiva (Tesis de maestría). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. <https://hdl.handle.net/20.500.12371/2567>
- Keller, T. (2014). Reactive Distillation. En A. Górak & Ž. Olujić (Eds.), Distillation (pp. 261-294). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386878-7.00008-5>
- Medina-Leaños, R., Segovia-Hernández, J.G., & Félix-Flores, M.G. (2011). Desempeño dinámico de secuencias de destilación reactivas térmicamente acopladas en diferentes condiciones de operación. Revista Mexicana de Ingeniería Química, 10(1), 147-160. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-27382011000100015&lng=es&tlng=es.
- Sánchez-Daza, O, Pérez-Cisneros, E.S., Ortiz-Muñoz, E. y Luna-Ortega, C. (2006). Diseño de procesos de destilación reactiva bajo control cinético caso: Metátesis de penteno. Revista Mexicana de Ingeniería Química 5(Supl. 1), 129-135.
- Sakhre, V. (2019). Reactive Distillation: Modeling, Simulation, and Optimization. En Distillation Modelling, Simulation and Optimization. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.85433>
- Ng, F.T.T. (2006). Recent Advances in Catalytic Distillation. En Encyclopedia of Chemical Processing (Online). Taylor and Francis Group. <https://doi.org/10.1201/NOE0824755638>
- Taylor, R., & Krishna, R. (2000). Modelling reactive distillation. Chemical Engineering Science, 55(22), 5183–5229. [https://doi.org/10.1016/S0009-2509\(00\)00120-2](https://doi.org/10.1016/S0009-2509(00)00120-2).
- Tuchlenski, A., Beckmann, A., Reusch, D., Düssel, R., Weidlich, U., & Janowsky, R. (2001). Reactive distillation industrial applications, process design & scale-up. Chemical Engineering Science, 56(2), 387–394. [https://doi.org/10.1016/S0009-2509\(00\)00240-2](https://doi.org/10.1016/S0009-2509(00)00240-2)
- Vela, N.S. y Vásquez, R. (2012). Diseño preliminar de una columna de destilación reactiva. Universidad de los Andes.