



Casa abierta al tiempo

**Universidad Autónoma Metropolitana**

Azcapotzalco

# **Universidad Autónoma Metropolitana**

## Proyecto de Integración en Ingeniería Química

### Diseño y simulación del proceso de destilación para la purificación de óxido de etileno

Axel Santín Chávez

Matrícula: 209330014

Asesor interno: M en C. Carlos Rogelio Tapia Medina

Departamento de Energía

Asesor externo: Ing. Víctor Quiroga Sigler

Pemex Petroquímica

Agosto 2014

## CONTENIDO

Resumen .....	1
Introducción.....	2
Objetivos del proyecto.....	4
CAPÍTULO 1 Producción de óxido de etileno.....	5
1.1    Introducción.....	5
1.2 Principios de operación industrial .....	7
1.3 Descripción del proceso utilizado como caso de estudio .....	8
1.3.1.- Reacción de óxido de etileno y separación.....	11
1.3.2.- Sistema de remoción de CO <sub>2</sub> .....	13
1.3.3.- Desorción y reabsorción de óxido de etileno.....	15
1.3.4.- Refinación y purificación de óxido de etileno.....	18
1.3.5.- Nuevo sistema de refinación y purificación de óxido de etileno.....	19
1.3.6.- Síntesis de glicoles y evaporación .....	20
1.3.7.- Secado de glicol y purificación .....	23
1.3.8.- Separación de glicoles pesados.....	25
CAPÍTULO 2 Fundamentos de equilibrio líquido-vapor .....	27
2.1 Presión de vapor .....	27
2.2 Medidas de composición .....	28
2.3 Diagramas binarios de equilibrio.....	29
2.4 Volatilidad relativa .....	31
2.5 Cálculos de punto de burbuja .....	33
2.6 Equilibrio líquido-vapor no ideal .....	34
2.7 Selección de un modelo termodinámico.....	35
CAPÍTULO 3 Generalidades de destilación .....	42
3.1 Grados de libertad en una columna de destilación .....	42
3.2 Método de McCabe-Thiele para mezclas binarias.....	43
3.3 Método de Fenske-Underwood para mezclas multicomponente.....	51
3.4 Métodos rigurosos, introducción. ....	52
3.5 Método de resolución .....	60
CAPÍTULO 4 Diseño del proceso de destilación.....	65
4.1 Consideraciones básicas en sistemas de separación .....	65
4.2 Diagrama de bloques para purificación de óxido de etileno, área 400A .....	67

4.3 Diagrama de flujo de proceso simplificado e integración energética.....	68
4.4 Análisis de variables.....	69
4.5 Secuencia de cálculo.....	77
CAPÍTULO 5 Simulación del proceso de destilación en Aspen Hysys v7.3 .....	83
5.1 Introducción.....	83
5.2 Criterios de simulación.....	96
5.3 Simulación sección 400-A.....	96
5.4 Simulación área 400-B .....	112
CAPÍTULO 6 Resultados de las simulaciones.....	118
6.1 Resultados simulación sección 400-A.....	118
6.2 Resultados simulación sección 400-B .....	137
CAPÍTULO 7 Análisis y discusión de resultados .....	150
7.1 Análisis y comparación, sección 400-A .....	150
7.2 Análisis y comparación, sección 400-B .....	153
Conclusiones.....	157
Referencias .....	158
Apéndice.....	159
A.1 Diagrama de flujo de proceso 5181-X-104A. Refinación y purificación de óxido de etileno .....	159
A.2 Diagrama de flujo de proceso 5181-X-104B. Nuevo sistema de refinación y purificación de óxido de etileno .....	159

## Índice de figuras

Figura 2.1 Diagrama Presión de vapor contra temperatura para óxido de etileno y acetaldehído.....	28
Figura 2.2 Diagrama Txy para óxido de etileno y acetaldehído a 1.013 atm. ....	30
Figura 2.3 Diagrama xy para el sistema óxido de etileno/acetaldehído .....	31
Figura 2.4 Diagrama para coeficientes de actividad, sistema agua-óxido de etileno .....	34
Figura 2.5 Diagrama xy para el sistema agua-óxido de etileno .....	35
Figura 2.6 Diagrama xy para óxido de etileno-agua, datos experimentales.....	39
Figura 2.7 Diagrama xy sistema óxido de etileno-agua, modelo NRTL .....	40
Figura 2.8 Diagrama xy, Experimental , NRTL, e Ideal.....	41
Figura 3.1 Columna de destilación .....	44

## RESUMEN

El presente proyecto aborda el diseño y la simulación por computadora del proceso de destilación en una planta de producción de óxido de etileno. Se comparan dos diferentes esquemas de destilación por medio del cálculo de las cargas térmicas de los equipos de transferencia de calor utilizados y el consumo energético de bombas hidráulicas. En este proyecto se utilizó el simulador de procesos Aspen Hysys v7.3 para la simulación de las columnas de destilación y sus respectivos equipos auxiliares.

La sección de destilación 400-A consiste en dos columnas de destilación fraccionada, la primera columna separa el óxido de etileno y acetaldehído del agua, formaldehído y monoetilenglicol. La segunda columna tiene el objetivo de separar óxido de etileno del acetaldehído. Los equipos auxiliares consisten en 10 bombas hidráulicas y 5 intercambiadores de calor de tubo y coraza (2 rehervidores y precalentador en integración energética, 1 condensador y 1 enfriador) Esta sección, de acuerdo con los datos arrojados por la simulación, ocupa una carga térmica de calentamiento de 11,950,000 kcal/h y una carga de enfriamiento de 6,703,120 kcal/h. En cuanto a las bombas hidráulicas, se tiene un consumo energético de 79 kW

La sección de destilación 400-B consiste en una sola columna de destilación fraccionada. Esta columna realiza en un solo paso la purificación de óxido de etileno. Los equipos auxiliares consisten en 6 bombas hidráulicas y 5 intercambiadores de calor de tubo y coraza (1 rehervidor, precalentador y rehervidor lateral en integración energética, 1 condensador y 1 enfriador) Esta sección, de acuerdo con los datos arrojados por la simulación, ocupa una carga térmica de calentamiento de 16,430,000 kcal/h y una carga de enfriamiento de 15,779,210 kcal/h. En cuanto a las bombas hidráulicas, se tiene un consumo energético de 49 kW

De acuerdo con los resultados anteriores, el esquema de destilación 400-A resultó ser el más satisfactorio en cuanto a consumo de servicios de vapor de calentamiento y agua de enfriamiento.

## INTRODUCCIÓN

El óxido de etileno es un hidrocarburo derivado del etileno, el cual fue sintetizado por primera vez en 1895 por Charles Wutz, por medio del proceso de la clorhídrica y en 1925 se logra el primer proceso industrial por UCC (Union Carbide Corporation) usando este primer método. Posteriormente, en 1931, L. Lefort realiza la oxidación directa de etileno para obtener óxido de etileno. Para 1937, este último método se transforma en un proceso industrial por UCC, utilizando catalizadores para una mejor selectividad. En el proceso de oxidación directa se obtienen subproductos en el efluente del reactor de oxidación, siendo el de mayor proporción agua, seguido de dióxido de carbono, monoetilenglicol, formaldehído y acetaldehído. La obtención de óxido de etileno puro involucra varios pasos de refinación en columnas de absorción y desorción para la remoción de dióxido de carbono y en columnas de destilación para la separación final del óxido de etileno de los demás componentes.

La destilación es el método de separación predilecto, por su capacidad de producir componentes de alta pureza, a pesar de un alto costo energético. En general, la alimentación a una columna de destilación para la obtención de óxido de etileno puro (99.5% peso, mínimo) consta de una mezcla acuosa conteniendo principalmente agua, óxido de etileno, formaldehído, acetaldehído y monoetilenglicol. Se debe asegurar un alto grado de pureza para que el producto sirva de materia prima en la industria química. Para el diseño y cálculo de una columna de destilación se deben de tomar en cuenta diversos factores propios de la mezcla que se desea separar, tales como composición, solubilidad, volatilidad relativa, temperaturas de ebullición, burbuja, rocío. Particularmente para sistemas no ideales, se utilizan modelos termodinámicos de equilibrio que incluyen coeficientes de actividad tales como NRTL (Non-random two-liquid) Wilson, UNIQUAC (Universal Quasi Chemical)

El proceso de purificación de óxido de etileno se ha estudiado y propuesto como invención en diversas patentes (US 3,745,092, US 4,134,797, US 6,833,057 B1) registradas en la Oficina de Patentes de Estados Unidos. Uno de los procesos más utilizados fue desarrollado por B. Ozero en 1979 en el cual se alimenta óxido de etileno “crudo” a dos de columnas de fraccionamiento con etapas de contacto líquido-gas. En este proceso, se obtiene una corriente final de vapor donde se concentran acetaldehído y formaldehído, y una corriente secundaria, líquida, extraída en una etapa de la zona de rectificación que contiene óxido de etileno con 20 partes por millón (ppm) de formaldehído. Los inconvenientes de este proceso son el uso de dos columnas de destilación, con sus respectivos equipos auxiliares, lo cual

aumenta costos construcción y operación. En 1994, B. Bessling propuso un proceso simplificado, indicado en la patente US 6, 833,057 B1 en el cual, se realiza la purificación completa de óxido de etileno en una sola columna de destilación, obteniendo una corriente de producto libre de formaldehído y menos de 20 ppm de acetaldehído.

Por otro lado, el uso de simuladores de proceso es una herramienta de gran utilidad para el diseño y la simulación de equipos relacionados con los procesos de la industria química, pues con ellos se pueden realizar cambios en casi cualquier variable de proceso, de una manera fácil, sin tener que realizarlos en “campo” para determinar los efectos que puedan producir. En particular, para columnas de destilación, el diseño debe realizarse por métodos rigurosos de cálculo y los métodos “cortos” sólo deben ser utilizados como una primera aproximación al diseño real. En este caso, es recomendable el uso de simuladores de proceso dada su capacidad para realizar un gran número de operaciones.

La producción de óxido de etileno es de vital importancia para la industria petroquímica dado que es el precursor y materia prima de distintos productos como pinturas epóxicas, detergentes, y refrigerantes. En el caso particular de Pemex Petroquímica, se producían en primera instancia, 200,000 toneladas métricas al año (TMA) de óxido de etileno en el centro petroquímico Morelos del año 1988 al año 2004, con la primera fase de expansión se producían 240,000 TMA. En la segunda fase de expansión en curso se planean producir 360,000 TMA. Debido a este aumento a la producción, se añadió una nueva columna de destilación que funciona en paralelo con dos columnas de destilación existentes. Resulta conveniente expresar el consumo energético de cualquier sistema de producción, ya que esto influye en los costos de operación y del uso de servicio auxiliares como generación de vapor, corrientes de enfriamiento etc. La finalidad de este proyecto es realizar la simulación del proceso de destilación para comparar las cargas térmicas asociadas con los equipos utilizados en cada esquema de destilación.

## **OBJETIVOS DEL PROYECTO**

### Objetivo general

- Diseñar y simular dos esquemas de destilación para la purificación de óxido de etileno mediante el simulador de procesos Aspen Hysys v 7.3

### Objetivos específicos

- Diseñar y simular un esquema de destilación alternativo al que opera en la planta de óxido de etileno del centro petroquímico Morelos, de Coatzacoalcos, Veracruz.
- Calcular las cargas térmicas y el consumo energético de los equipos auxiliares en cada esquema de destilación: condensadores, rehervidores y bombas
- Comparar los dos esquemas de destilación con base a las cargas térmicas y al consumo energético



**FORMATO DE EVALUACIÓN DE PROYECTO DE INTEGRACIÓN EN INGENIERÍA QUÍMICA**

PI-E-QUI

Trimestre de evaluación:  Fecha:  PI-E-QUI

**DATOS DEL ALUMNO**

Nombre:  Matrícula:

Correo personal:

**ASESOR RESPONSABLE / DATOS DE LA EMPRESA**

Nombre del asesor/Empresa:

No. económico:  Adscripción/Departamento o sección:

Área de investigación:

Correo institucional:

Firma

**COASESOR O ASESOR EXTERNO / JEFE O RESPONSABLE LEGAL DE LA EMPRESA**

Nombre del asesor/Jefe o Responsable legal:

No. económico/Teléfono:  Adscripción/Puesto:

Área de investigación/Departamento:

Correo electrónico:

Firma

**MODALIDAD DEL PROYECTO**

Proyecto tecnológico     Proyecto de investigación     Estancia profesional     Experiencia profesional

**TÍTULO DEL PROYECTO**

**OBJETIVO GENERAL**

**UNIDADES DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE QUE SE EVALÚAN**

Clave	UEA	Evalúan
1100120	Proyecto de Integración en Ingeniería Química I	MB <input checked="" type="radio"/> B <input type="radio"/> S <input type="radio"/> NA <input type="radio"/>
1100130	Proyecto de Integración en Ingeniería Química II	MB <input type="radio"/> B <input type="radio"/> S <input type="radio"/> NA <input type="radio"/>
1100140	Introducción al Trabajo de Investigación en Ingeniería Química	MB <input type="radio"/> B <input type="radio"/> S <input type="radio"/> NA <input type="radio"/>

Nombre y firma del Coordinador de Estudios

Dr. Ricardo Luna Paz





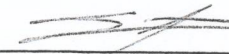
**AUTORIZACIÓN DE INSCRIPCIÓN A PROYECTO DE INTEGRACIÓN EN INGENIERÍA QUÍMICA**

PI-A-QUI

Trimestre en que se autoriza la propuesta:  Fecha:  PI-A-QUI


**DATOS DEL ALUMNO**

Nombre:  Matrícula:   
Correo personal:

  
Firma

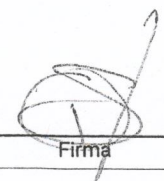
**ASESOR RESPONSABLE / DATOS DE LA EMPRESA**

Nombre del asesor/Empresa:   
No. económico:  Adscripción/Departamento/Sección:   
Área de investigación:   
Correo institucional:

  
Firma

**COASESOR O ASESOR EXTERNO / JEFE O RESPONSABLE LEGAL DE LA EMPRESA**

Nombre del asesor/Jefe o Responsable legal:  *Analista de la Sección de Programación Escolar*  
No. económico/Teléfono:  Adscripción/Puesto:   
Área de investigación/Departamento:   
Correo electrónico:

  
Firma

**MODALIDAD DEL PROYECTO**

Proyecto tecnológico     Proyecto de investigación     Estancia profesional     Experiencia profesional

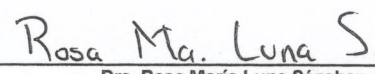
**TÍTULO DEL PROYECTO**

**OBJETIVO GENERAL**

**UNIDADES DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE QUE SE AUTORIZAN**

Clave	UEA	Trimestre de inicio de vigencia	Trimestre de fin de vigencia
1100120	Proyecto de Integración en Ingeniería Química I	<input type="text" value="14-P"/>	<input type="text" value="14-O"/>
1100130	Proyecto de Integración en Ingeniería Química II	<input type="text" value="—"/>	<input type="text" value="—"/>
1100140	Introducción al Trabajo de Investigación en Ingeniería Química	<input type="text" value="—"/>	<input type="text" value="—"/>

Nombre y firma del Coordinador de Estudios

  
Dra. Rosa María Luna Sánchez

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA  
CASA ABIERTA AL TIEMPO ADMINISTRADO  
CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA  
26 MAR 2014  
Sello de la Coordinación de Estudios  
UNIDAD AZCAPOTZALCO