

PÉRDIDAS POR EVAPORACIÓN DE ACETATO DE ETILO Y CLORURO DE METILENO CONTROLADOS POR EL CONSEP

Andrea Chamba, Pablo Paredes
andreavcq33@hotmail.com; pparedes26@gmail.com

Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería Química. Casilla 17-01-3972
Recibido: 15 enero 2013 Aceptado: 25 febrero 2013

RESUMEN

Se estudiaron las pérdidas por evaporación de los solventes acetato de etilo y cloruro de metileno, sustancias controlados por el CONSEP, para lo cual se trabajó a nivel de laboratorio en la ciudad de Quito.

Se consideraron dos condiciones: 1) un sistema estático donde se midió el peso de los solventes en reposo a 22, 24 y 26°C; y 2) un sistema dinámico en el cual se midió el peso de los solventes, que fueron sometidas a velocidades de agitación de: 100, 500 y 900 rpm y a las temperaturas antes mencionadas. En ambos casos se utilizaron dos recipientes de diferente área para evidenciar la evaporación.

Se registraron las pérdidas de peso para el acetato de etilo y cloruro de metileno cada 60 minutos por 8 horas, datos con los que se establece un modelo matemático que relaciona las pérdidas de peso con la temperatura, área de evaporación, número de Reynolds y el tiempo.

Se concluye que las pérdidas por evaporación para las dos sustancias en estudio están relacionadas en forma directamente proporcional con las variables antes mencionadas y que el cloruro de metileno presenta mayor pérdida en peso que el Acetato de Etilo.

PALABRAS CLAVES: Pérdidas por evaporación; acetato de etilo; cloruro de metileno; sustancias químicas; solventes; modelos matemáticos; CONSEP

ABSTRACT

The Ecuadorian Agency of Drug Control has as control substances the Ethyl Acetate and Methylene Chloride. The weight losses by evaporation of these substances were studied at the laboratory of the Chemical Engineering Faculty (2.870 m.s.n.m.).

The research considered two conditions: 1) The weight of the two substances at 22, 24 and 26°C was measured in a static system; and 2) In a dynamic system the weight of the substances under an agitation speed of 100, 500 and 900 RPM, at the same temperatures mentioned was measured it. In both cases, two vessels with different areas were used to evidence the evaporation.

The weight loss of Ethyl Acetate and Methylene Chloride were registered every sixty minutes for eight

hours. With this data, a mathematical model that associates the weight losses with temperature, evaporation area, Reynolds number and the time was established.

The results of this research show that the Methylene Chloride presents more weight loss than Ethyl Acetate.

KEYWORDS: Evaporation losses; ethyl acetate; methylene chloride; chemical substances; solvents; mathematical models; CONSEP

1. INTRODUCCIÓN

Los solventes acetato de etilo y cloruro de metileno son sustancias químicas controladas por el Consejo Nacional de Sustancias Estupefacientes y Psicotrópicas, CONSEP, y son empleadas ampliamente en la industria química.

Una de las exigencias del CONSEP es solicitar a los laboratorios o empresas que desearan elaborar medicamentos y otros productos que contengan vehículos volátiles o solventes, un informe mensual de los datos actuales, reales y precisos sobre la elaboración, existencia y venta de las sustancias sometidas a control.

Según lo anteriormente mencionado se solicita a las empresas proporcionar datos precisos, sin tomar en cuenta las pérdidas a las que puedan estar sujetas las sustancias en el transporte, almacenamiento y proceso, es decir, no existe un control técnico respecto a las pérdidas por evaporación, lo cual perjudica a las empresas.

El propósito de este estudio es analizar las pérdidas por evaporación del acetato de etilo y cloruro de metileno, que se producen cuando se hallan sometidas a un sistema estático y a un sistema dinámico.

La experimentación que se planteó a nivel de laboratorio en la ciudad de Quito (2.870 msnm) se basa en la cuantificación del peso existente en un recipiente y la variación del mismo en función del tiempo, del área de evaporación, temperatura y número de Reynolds.

De este modo se generó una serie de datos que permitieron obtener tendencias lineales de evaporación.

El tratamiento estadístico y la regresión de multivariable, hacen posible obtener una ecuación que logra predecir la pérdida en peso del solvente, generada por la evaporación a determinadas condiciones de temperatura, número de Reynolds y tiempo.

De la experimentación se concluye que para los dos solventes existe un mayor porcentaje de pérdida en un sistema dinámico (proceso), debido a la agitación que involucra, en comparación con el sistema estático (almacenamiento) donde la pérdida es menor.

2. PÉRDIDAS POR EVAPORACIÓN DE LOS SOLVENTES

2.1 Solventes

El término solventes se refiere a sustancias orgánicas en estado líquido, utilizadas para disolver sólidos, gases u otros líquidos.

La mayoría de ellos son derivados del petróleo o sintéticos. Es importante mencionar que no hay ningún solvente 100% seguro, todos son tóxicos en distintos niveles.

2.1.1 Cloruro de metileno. El cloruro de metileno es un compuesto halogenado, líquido incoloro de leve aroma dulce, también conocido

como diclorometano. El cloruro de metileno no se presenta de forma natural en el medio ambiente. Su fórmula es CH_2Cl_2 .

2.1.2 Acetato de etilo. El acetato de etilo, también llamado etanoato de etilo según la IUPAC, es un éster de fórmula $\text{CH}_3\text{-COO-CH}_2\text{-CH}_3$. Es un líquido incoloro, olor característico a frutas, muy inflamable. Es poco soluble en agua y miscible en cloroformo y éter.

2.2 Pérdidas por evaporación

La evaporación es el proceso físico por el cual una sustancia en fase líquida pasa a la fase de vapor o estado gaseoso a una temperatura determinada, tras haber adquirido energía suficiente para vencer la tensión superficial. A diferencia de la ebullición, este proceso se produce a cualquier temperatura, siendo más rápida la evaporación cuando más elevada es ésta y no es necesario que toda la masa alcance el punto de ebullición. En la evaporación, el cambio de estado ocurre solamente en la superficie del líquido.

Existen pérdidas en cantidades considerables de acetato de etilo y cloruro de metileno, sustancias químicas sujetas a control por el CONSEP, que son frecuentemente empleadas a nivel industrial. A continuación se indica las actividades en las cuales existen pérdidas por evaporación de estas sustancias:

- Transporte de los solventes vía marítima de diferentes países productores.
- Transporte a través de tuberías.
- Almacenamiento en tanques.
- Transporte en carro tanques a las distintas ciudades.
- Almacenamiento en centros de distribución final.
- Envasado del solvente en contenedores IBC y tambores.
- Proceso.

2.3 Análisis de Regresión Multivariable

Se conoce como Análisis de Regresión Multivariable al método estadístico que permite establecer una relación matemática entre un

conjunto de variables $x_1, x_2 \dots x_k$ (covariantes o factores) y una variable dependiente Y.

$$Y=f(x_1,x_2,x_3,\dots,x_k)$$

El objetivo de un modelo de regresión es obtener una ecuación que permita “predecir” el valor de Y una vez conocidos los valores de $X_1, X_2 \dots X_k$. Se conocen como modelos predictivos. El modelo que se plantea en regresión múltiple viene expresado por:

$$Y_i=\beta_0+\beta_1x_{i1}+\beta_2x_{i2}+\dots+\beta_kx_{ik}+\varepsilon$$

Donde:

Y= Variable dependiente.

x_i = Variables independientes.

β_0 = Origen cuando todas las variables independientes son 0.

β_i = Pendiente o coeficiente de regresión de la variable i.

ε = Componente de error

Además para ajustar el modelo se utilizó el método de los mínimos cuadrados

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Sistema estático

- Se selecciona dos recipientes cilíndricos con diferentes áreas, que se colocan en un ambiente hermético con el propósito de mantener la temperatura constante (caja aislada, un foco y un regulador de intensidad de luz), para lo cual se utilizó una caja aislada.
- Se mide un volumen determinado de sustancia con la ayuda de una probeta y se coloca en el recipiente, se cierra y se pesa.
- Se coloca el recipiente con el solvente sin la tapa dentro de la caja aislada y se introduce el termómetro dentro de la sustancia, fijando la temperatura en 22°C y procurando mantenerla constante, con la ayuda del regulador de intensidad de luz.

- A intervalos de 60 minutos se saca el recipiente, se lo tapa y se mide el peso.
- Este procedimiento se lo realiza para tres muestras tanto para el acetato de etilo como para el cloruro de metileno. En el primer caso con una duración de 480 minutos y para el segundo de 360 minutos.
- El procedimiento anterior se lo repite para las temperaturas de 24 y 26°C.

3.2. Sistema dinámico

- Para crear un sistema dinámico se cuenta con la ayuda de un agitador magnético.
- Se sigue el procedimiento anterior del sistema estático con la diferencia que se somete a cada solvente a tres agitaciones, 100, 500 y 900 rpm.
- Para cada solvente se determina la cantidad evaporada, por diferencia de pesos en el transcurso del tiempo.

4. RESULTADOS

Los resultados obtenidos se muestran en las tablas 1 y 2 para los dos recipientes.

Tabla 1. Peso evaporado de acetato de etilo a diferentes condiciones de temperatura y turbulencia.

t, min	T°, K	Re	AE1= 19,78 cm ²		AE2= 39,69 cm ²	
			m Ecuación de Regresión Múltiple	Peso, g	m Ecuación de Regresión Múltiple	Peso, g
480	295,15	0,00	5,56*10 ⁻⁴	5,28	06,32*10 ⁻⁴	12,04
	297,15	0,00	5,99*10 ⁻⁴	5,69	07,96*10 ⁻⁴	15,16
	299,15	0,00	6,81*10 ⁻⁴	6,46	09,05*10 ⁻⁴	17,24
	295,15	2137,11	5,71*10 ⁻⁴	5,42	06,94*10 ⁻⁴	13,22
	297,15	2185,08	6,17*10 ⁻⁴	5,86	08,54*10 ⁻⁴	16,27
	299,15	2236,47	7,02*10 ⁻⁴	6,67	09,60*10 ⁻⁴	18,28
	295,15	10685,53	6,45*10 ⁻⁴	6,13	09,02*10 ⁻⁴	17,19
	297,15	10925,42	7,06*10 ⁻⁴	6,70	10,46*10 ⁻⁴	19,93
	299,15	11182,34	8,06*10 ⁻⁴	7,65	11,35*10 ⁻⁴	21,61
	295,15	19233,95	7,44*10 ⁻⁴	7,06	10,48*10 ⁻⁴	19,96
	297,15	19665,76	8,19*10 ⁻⁴	7,78	11,72*10 ⁻⁴	22,34
	299,15	20128,21	9,35*10 ⁻⁴	8,88	12,41*10 ⁻⁴	23,64

Tabla 2. Peso evaporado de cloruro de metileno a diferentes condiciones de temperatura y turbulencia.

t min	T°, K	Re	AE1= 19,78 cm ²		AE2= 39,69 cm ²	
			m Ecuación de Regresión Múltiple	Peso, g	m Ecuación de Regresión Múltiple	Peso, g
360	295,15	0,00	34,17*10 ⁻⁴	24,33	42,21*10 ⁻⁴	60,32
	297,15	0,00	41,53*10 ⁻⁴	29,57	52,50*10 ⁻⁴	75,01
	299,15	0,00	48,90*10 ⁻⁴	34,82	60,37*10 ⁻⁴	86,26
	295,15	3278,33	35,43*10 ⁻⁴	25,23	45,60*10 ⁻⁴	65,16
	297,15	3318,31	42,97*10 ⁻⁴	30,60	55,90*10 ⁻⁴	79,88
	299,15	3369,14	50,53*10 ⁻⁴	35,98	63,81*10 ⁻⁴	91,17
	295,15	16391,66	40,22*10 ⁻⁴	28,64	59,58*10 ⁻⁴	85,13
	297,15	16591,55	48,49*10 ⁻⁴	34,53	69,96*10 ⁻⁴	99,97
	299,15	16845,70	56,80*10 ⁻⁴	40,45	77,99*10 ⁻⁴	111,44
	295,15	29504,99	44,63*10 ⁻⁴	31,78	74,21*10 ⁻⁴	106,04
	297,15	29864,78	53,61*10 ⁻⁴	38,17	84,70*10 ⁻⁴	121,02
	299,15	30322,27	62,67*10 ⁻⁴	44,62	92,88*10 ⁻⁴	132,71

Mediante regresión múltiple se obtiene la pendiente de la curva m (g/cm² min), en función de la temperatura en Kelvin y el número de Reynolds para las dos sustancias:

a. Acetato de etilo

Recipiente 1

$$m = 0,4195808 - 0,0028511T - 1,9572738 * 10^{-7}Re + 4,8499312 * 10^{-6}T^2 + 1,6706180 * 10^{-13}Re^2 + 6,8535407 * 10^{-10}T * Re$$

Recipiente 2

$$m = -0,61858 + 0,00410T + 3,64322 * 10^{-7}Re - 6,78506 * 10^{-6}T^2 - 4,28756 * 10^{-13}Re^2 - 1,13322 * 10^{-9}T * Re$$

b. Cloruro de metileno

Recipiente 1

$$m = -0,09712 + 0,00031T - 7,02052 * 10^{-7}Re + 9,21077 * 10^{-8} - 1,11779 * 10^{-13}Re^2 + 2,50992 * 10^{-9}T * Re$$

Recipiente 2.

$$m = -2,787482 + 0,018342T + 2,06519 * 10^{-7}Re - 3,01009 * 10^{-5}T^2 + 1,91639 * 10^{-13}Re^2 - 3,51409 * 10^{-10}T * Re$$

4.1 Modelo matemático

El tratamiento estadístico de los datos, permite obtener un modelo matemático que cuantifica la pérdida de peso del solvente en función del tiempo y del número de Reynolds

$$W_{Evap} = m * AE * t \quad (1)$$

Donde:

W_{Evap} = Peso del solvente evaporado, g
 m = Constante de condiciones de operación (pendiente de la curva), g/cm²min.

$m_{\text{sistema estático}} = f(T)$

$m_{\text{sistema dinámico}} = f(T, Re)$

t = Tiempo de almacenamiento o de agitación, min.

T = temperatura del sistema, K

AE = Área de evaporación, cm²

Si el recipiente posee un área de superficie del líquido, A y otro de salida de vapores, a , el área de evaporación es:

$$AE = \frac{A-a}{\ln\left(\frac{A}{a}\right)} \quad (2)$$

4.2 Relación de la pérdida del solvente evaporado en función del tiempo

Se presentan cuatro gráficos representativos para los dos solventes, en los que se visualizan

las pérdidas por evaporación en gramos para un área, temperatura y número de Reynolds determinados, en función del tiempo.

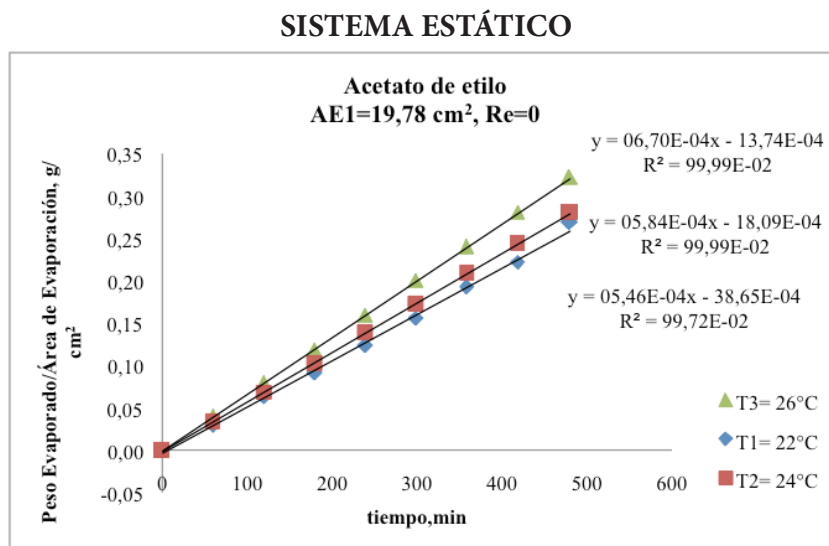


Figura 1. Relación peso evaporado / Área de Evaporación en función del tiempo, para el acetato de etilo con AE1= 19,78 cm²a Re = 0

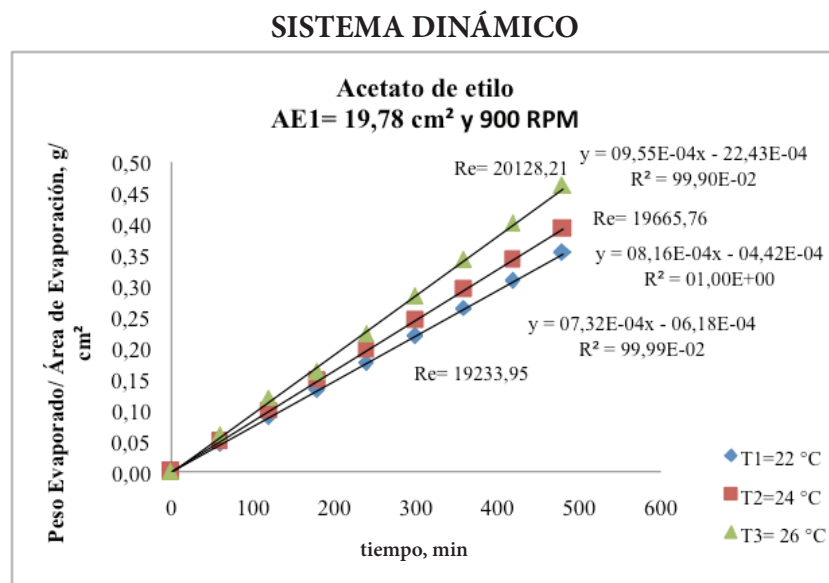


Figura 2. Relación Peso evaporado / Área de evaporación en función del tiempo, para el acetato de etilo con AE1= 19,78 cm²a 900 rpm

SISTEMA ESTÁTICO

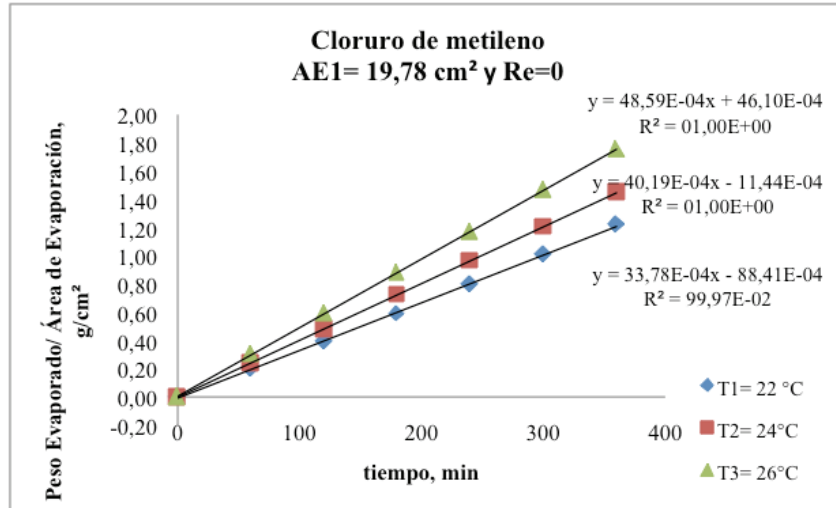


Figura 3. Relación Peso evaporado / Área de evaporación en función del tiempo, para el cloruro de metileno con AE1= 19,78 cm² a Re = 0

SISTEMA DINÁMICO

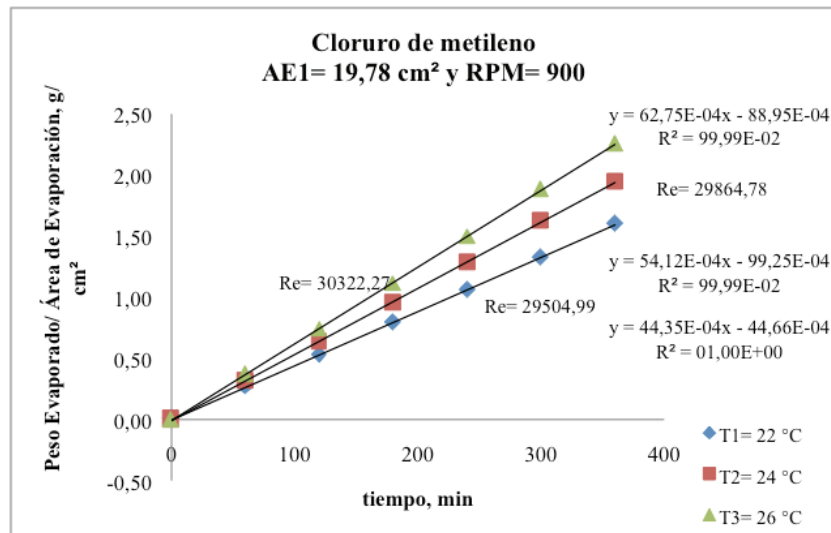


Figura 4. Relación Peso evaporado / Área de evaporación en función del tiempo, para el cloruro de metileno con AE1= 19,78 cm² a 900 rpm

5. DISCUSIÓN

- Para la experimentación se utilizaron dos recipientes de diferente diámetro para evidenciar el efecto del área en la evaporación. Cada recipiente posee dos áreas a considerarse: una es el área de superficie del líquido y la otra es la de salida de vapores. Con este antecedente se consideró pertinente determinar un área representativa de evaporación, para lo cual se hizo uso de la media logarítmica, que es un

valor intermedio entre la media aritmética y la media geométrica. La media logarítmica se la representa mediante la ecuación 2:

$$AE = \frac{A-a}{\ln\left(\frac{A}{a}\right)} \quad (2)$$

Donde:

AE=Área de evaporación

A= Área de la superficie del líquido

a= Área de salida de vapores

- Para el tratamiento estadístico se propuso un modelo que relaciona las pérdidas por evaporación con la temperatura y el número de Reynolds, este modelo se lo representa con la ecuación de un paraboloides, llamado también modelo completo de segundo grado, porque contiene todos los términos de primer y segundo orden. Con esta ecuación los errores obtenidos son menores que con la ecuación lineal.
- La ecuación de un paraboloides permite elevar al máximo el flujo másico de un solvente (la pendiente de la regresión $WE_{\text{evap}}/AE=f(t)$), en función de la temperatura y el Número de Reynolds, esto se debe a que va a existir un valor máximo de flujo másico, es decir, un punto donde de todo el solvente contenido en un recipiente se habrá evaporado en un determinado tiempo.
- En lo que respecta al peso evaporado de los solventes, se observa que el porcentaje de evaporación es más alto en el sistema dinámico que en el estático. Esta evaporación es más evidente para el cloruro de metileno debido a que su volatilidad es mayor que la del acetato de metilo, en un 0,14% en el sistema estático y de 29,72% en el sistema dinámico a una temperatura de 299,15 K en un tiempo de 8 horas.

6. CONCLUSIONES

- La pérdida por evaporación de los solventes depende tanto del área del líquido en el recipiente como del área de salida de los vapores del solvente.
- La evaporación de los solventes depende de la temperatura debido a que la presión de vapor de los líquidos varía con la temperatura en forma creciente, por lo que deberá tenerse cuidado en el almacenamiento y manejo de los solventes en sitios adecuados.
- Se concluye que un factor importante en la evaporación es la agitación, ya que esta facilita el transporte de masa, sin embargo en un sistema estático también se registran pérdidas

mínimas, debido al movimiento interno de las moléculas de los solventes.

AGRADECIMIENTO

Al Consejo Nacional de Sustancias Estupefacientes y Psicotrópicas, CONSEP, por su colaboración para el desarrollo de este trabajo

BIBLIOGRAFÍA

- ARIAS, Víctor Hugo. *Coficiente de transporte de masa para evaporación de metil isobutil cetona, butil cellosolve y metanol*. Trabajo de Grado. Ingeniero Químico. Universidad Central del Ecuador. Escuela de Ingeniería Química. Quito. 1995. 66 p.
- CONSEP. Gobierno Nacional de la República de Ecuador. *Ley de sustancias estupefacientes y psicotrópicas, codificación* [en línea]. Quito. 2011. [fecha de consulta: 23 de septiembre de 2011]. Disponible en: http://www.consep.gob.ec/index.php?cod_categoria=4&cod_sub=39
- MÁRQUEZ, Fernando. *Sistema de Gestión para el Manejo de Sustancias Químicas y Residuos Tóxicos* [en línea]. Concepción, Chile, 2011. [fecha de consulta: 29 de septiembre de 2011]. Disponible en: <http://www2.udec.cl/sqrt/fich/ACETATO.htm>
- NOBOA, Gabriel. *Modelo matemático predictivo para determinar las pérdidas por evaporación de la gasolina*. Trabajo de Grado. Ingeniero Químico. Universidad Central del Ecuador. Escuela de Ingeniería Química. Quito. 1999. 25 p.
- ORTIZ, Nelly. *Diseño del sistema de fiscalización para el CONSEP de químicos y reactivos utilizados en los campos petroleros de Petroproducción*. Trabajo de Grado. Ingeniero Químico. Universidad Central del Ecuador. Escuela de Ingeniería Química. Quito. 2009. 223 p.
- PACHACAMA Caiza, Juan. *Cinética de evaporación de los solventes orgánicos acetonas, acetato de etilo, tolueno y xileno*. Trabajo de Grado. Doctor en Química. Universidad Central del Ecuador. Escuela de Química. Quito. 2011. 20 p.
- TREYBAL Robert E. *Operaciones de transferencia de masa*. 2° edición. Madrid: Mc Graw Hill, 1980. 862 p.