

## DISEÑO E INSTRUMENTACIÓN DE UNA TORRE DE ABSORCIÓN, PARA ABSORBER EL CO<sub>2</sub> POR MEDIO DE DIETANOLAMINA A NIVEL LABORATORIO

Mario Luis Chew-Hernández<sup>2</sup>, Raúl Gómez Gómez-Tagle<sup>1\*</sup> y Juventino Barojas-Huerta<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM*

<sup>2</sup>*Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco*

[\\*profetagle@comunidad.unam.mx](mailto:profetagle@comunidad.unam.mx)

### Resumen

La absorción es un fenómeno físico o químico o un proceso en el que los átomos, moléculas o iones entran en alguna fase (líquido, o sólido o gaseoso). Este es un proceso diferente de la adsorción, ya que las moléculas que se absorben son absorbidas por el volumen, no por la superficie (como en el caso de la adsorción). El bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es una sustancia obtenida de la combustión, la cual alarmantemente ha estado aumentando la huella de carbono, esta puede ser convertida en carbono verde, materia prima para industrias (bebidas embotelladas y otras industrias), por lo cual se pretende absorber el bióxido de carbono por medio de una absorción. El proceso de absorción tiene las siguientes finalidades: Recuperar un componente deseado (gaseoso), o eliminar un componente no deseado (gaseoso). Se puede tratar, por ejemplo, de la eliminación de una sustancia nociva de una corriente de gases residuales. Obtención de un líquido, un ejemplo sería la producción de ácido sulfúrico por absorción de anhídrido sulfúrico gaseoso en agua. Otro ejemplo es la eliminación de SO o SO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> de las sustancias de hidrocarburos como Gas y Gasolinas, por medio de una DEA (Dietanolamina). En la absorción participan por lo menos tres sustancias, las cuales son el componente gaseoso para separar, el gas portador y el disolvente (absorbente).

El proceso de absorción en los procesos de captura de CO<sub>2</sub> en postcombustión hace uso de la naturaleza reversible de una disolución acuosa alcalina absorbente, por lo general

aminas, de una solución ácida o de un gas ácido. Se requiere establecer controles de las variables del proceso en la operación para Diseñar una Torre de Absorción a nivel Laboratorio y controlar por medio de la instrumentación y control, para el proceso de la absorción CO<sub>2</sub>, por medio de la utilización de una amina.

**Palabras clave:** Bióxido de carbono CO<sub>2</sub>, absorción del CO<sub>2</sub>, diseño de torre de absorción, instrumentación de una torre de absorción, carbono verde, absorción.

## Introducción

En el informe del panel Intergubernamental sobre el cambio Climático (IPCC), los océanos absorben alrededor del 31% de las emisiones de Bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de origen humano, mientras que la vegetación terrestre absorbe alrededor de 24%. Los bosques son los principales sumideros de Carbono a la tierra y se estiman que absorben alrededor de 12 gigatoneladas de Bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) al año (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2014), gracias a la fotosíntesis, sin embargo, la capacidad de absorción de Bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) del planeta está disminuyendo a un ritmo acelerado, por la deforestación, la degradación de los ecosistemas, y el cambio climático.

El Bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es el causante del efecto invernadero, encapsulando el calor de la radiación solar de la atmósfera, y provocando el calentamiento global. Teniendo ya efectos climáticos en el planeta, como el aumento del nivel del mar, el deshielo de los polos, la pérdida de biodiversidad, incendios forestales, por mencionar algunos efectos. De continuar aumentado el nivel de emisiones de Bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), los efectos van a ser mayores, lo que produciría la extinción de especies, la escase de alimentos y agua, llegando a la extinción de los humanos.

Los combustibles fósiles y el gas natural son los principales generadores de Bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Las energías limpias aún no han alcanzado a desarrollar la capacidad de producción de la energía requerida por la humanidad, y la fotosíntesis del fitoplancton y los bosques es cada día menor alarmantemente.

La propuesta del proceso de absorción del Bióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ) del aire, por medio de una Torre de Absorción, es una alternativa, para reducir el nivel del Bióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ) y poder producir carbono verde, y otras aplicaciones industriales del Bióxido de Carbono.

La Absorción es un proceso de transferencia de masa, de uno o más componente son transferidos de una fase discreta a otra. Es donde se absorbe un componente o más de una mezcla utilizando un diluyente adecuado llamado absorbente. Estudiar el proceso de transferencia de masa, en la absorción del  $\text{CO}_2$  en el aire, por medio de una sustancia en contradifusión donde se difunde el Bióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ), y selección de la sustancia más adecuada. La absorción química utilizando alcoaminas forma parte de los procesos más frecuentes usados y de los más eficientes: en el tratamiento del gas se utilizan soluciones acuosas de aminas para remover el Bióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ), y el sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Los tipos de aminas que se pueden utilizar son los siguientes: Monoetanolamina (MEA), Dietanolamina (DEA), Diisopropanolamina (DIPA), Metildietanolamina (MDEA), y Diglicolamina (DGA) (Erdmann *et al.*, 2012).

La selección de la columna de absorción, las cuales se distinguen tres tipos, de spray, de platos de burbujeo y de lechos empacados. La columna de espray es una torre en donde se alimenta por la parte superior un disolvente en forma de espray, la columna de platos en donde pueden ser los platos perforados, platos de válvulas, y columna empacada. Existen diferentes clases de empaques como anillos Racing, sillas Berl, anillos Pall, montura Intalux, los cuales puede ser de diferentes materiales cerámicos, metálicos o plásticos.

El diseño de una columna de absorción se basa en estos principios básicos. Las bases del diseño es determinar la altura y el número de etapas teóricas de la columna necesarios para lograr la separación deseada.

La construcción de un prototipo de torre de absorción a nivel laboratorio, donde se estudia el comportamiento del proceso de absorción del bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y sus variables a fin de determinar las condiciones a controlar por medio de la instrumentación.

## Objetivo

Diseñar y proporcionar los elementos para instrumentar un Torre de absorción, para absorber o eliminar el  $\text{CO}_2$  utilizando dietanolamina en un prototipo a nivel laboratorio.

Objetivos específicos: Diseño de una columna de Absorción; Determinar los Balances de Masa, Transferencia de Masa; Definir las bases para instrumentar la columna de absorción, variable medida y variable controlada.

## Materiales y métodos

Software Coco-Chemset

Sustancias

- Aire
- Bióxido de Carbono
- Dietanolamina
- Agua

La transferencia de masa enuncia una ecuación para el diseño

$$\int_1^2 dA = \int_1^2 \frac{D(Vca)}{K(ca-ca^*)} = \int_1^2 \frac{d(Lca)}{K(ca-ca^*)}$$

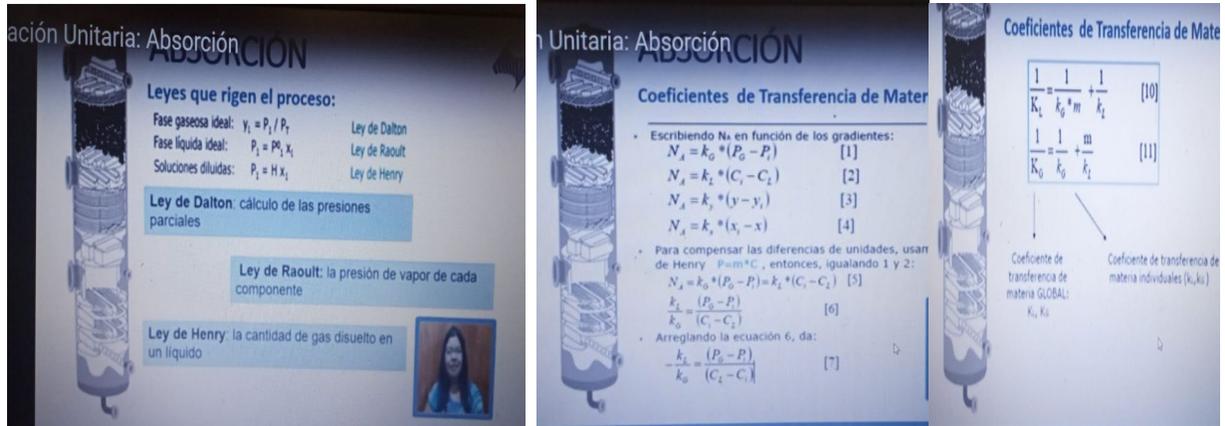
V= proporción de flujo volumétrico de la fase V en Lt/ min

L = proporción volumétrica de la fase L en lt/min

Ca= la concentración del soluto o sustancia a transferir , en  $\text{kgmol/m}^3$

K es el coeficiente de transferencia de masa en  $\text{kgmol/ h It}$  (Foust, 1982).

El proceso utiliza las leyes de Dalton, Raoult, Henry y se estudia el equilibrio.



(a)

(b)

(c)



(d)

**Figura 1. (a) Ley de Raoult, Dalton, Henry**  
**(b) Las relaciones del flujo molar con los coeficientes de transferencia**  
**(c) Relaciones coeficientes de transferencia de la fase líquida y gaseosa,**  
**(d) Gráficas del equilibrio en la transferencia**  
 (Welty *et al.*, 2008; Glaymar *et al.*, 2016).

De acuerdo con la literatura técnica, se procede a simular con Chemset.

Selección de componentes, y la operación columna simple de 10 platos.

Edición del 6° Congreso Nacional de Tecnología (CONATEC 2023)  
Colegio de Técnicos Académicos de la FES Cuautitlán–UNAM

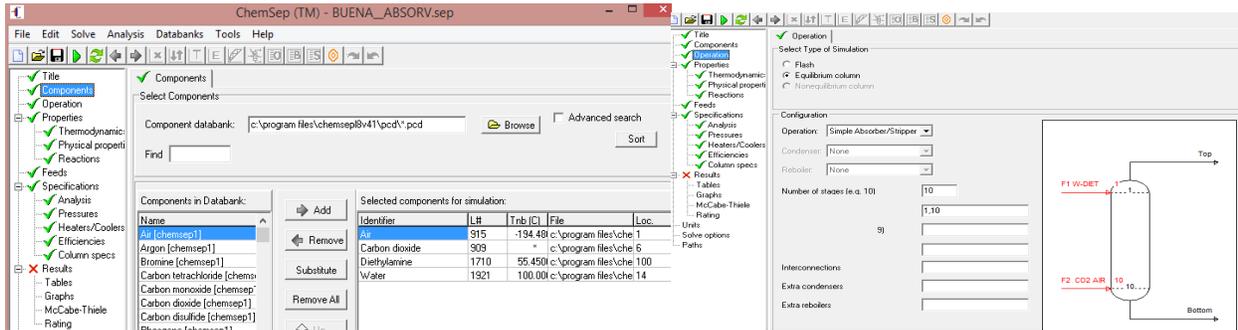


Figura 2. (e)

(f)

Selección de la termodinámica y se cargan los datos de equilibrio con ley de Henry.

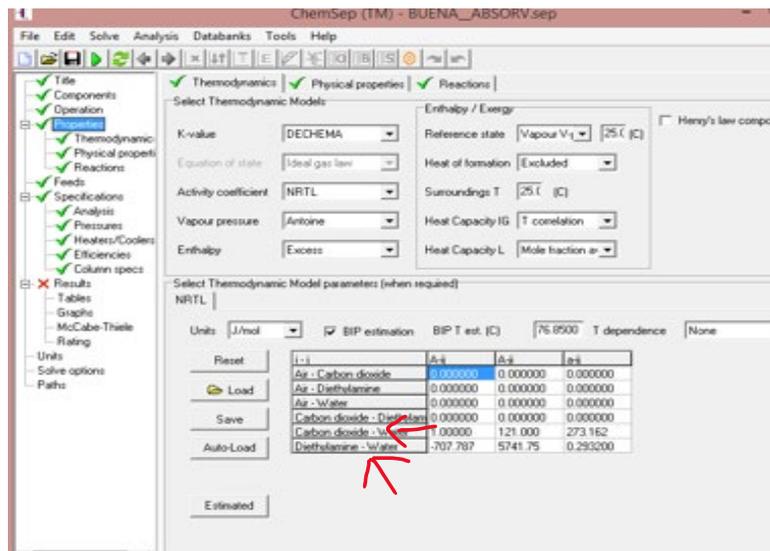


Figura 3. (g) selección de Termodinámica

Se cargan datos de las corrientes.

Edición del 6° Congreso Nacional de Tecnología (CONATEC 2023)  
Colegio de Técnicos Académicos de la FES Cuautitlán–UNAM

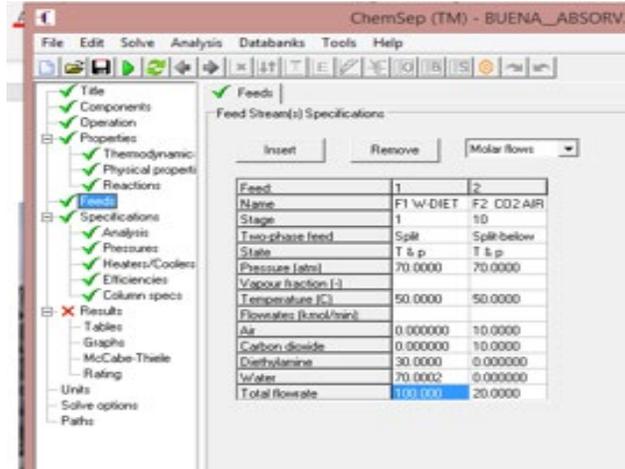


Figura 4. (h) condiciones de entrada

Se cargan datos y se maneja la presión de en la columna de 70 atm y se corre la simulación, nos da los datos de salida y graficas del comportamiento.

Stream	F1 W-DIET	F2 CO2 AI	V.F2 CO2	L.F2 CO2	Top	Bottom
Stage	1	10	10	10	1	10
Pressure (atm)	70.0000	70.0000	70.0000	70.0000	70.0000	70.0000
Vapour fraction (-)	0.000000	0.600000	1.00000	0.000000	1.00000	0.000000
Temperature (C)	35.0000	1.95135	1.95135	1.95135	36.5333	31.0480
Enthalpy (C/kmol)	-3.853E+07	-4.516E+06			337847	-3.155E+07
Entropy (C/kmol/K)	-83997.2	-48023.2			-35153.1	-74514.1
Total molar flow (kmol/min)	100.000	15.0000	9.00001	6.00001	2.3418E-17	124.160
Total mass flow (kg/min)	3455.16	584.891	326.354	258.536	6.8122E-16	4306.52
Vapour std.vol.flow (m3/s)						
Liquid std.vol.flow (m3/s)						
Mole flows (kmol/min)						
Air	0.000000	5.00000	4.63334	0.366662	2.3330E-17	14.1257
Carbon dioxide	0.000000	10.0000	4.36668	9.63334	7.5330E-32	10.0000
Diethylamine	30.0000	0.000000	0.000000	0.000000	7.2270E-20	30.0283
Water	70.0002	0.000000	0.000000	0.000000	1.6026E-20	70.0065
Mole fractions (-)						
Air	0.000000	0.333333	0.514814	0.0611103	0.996230	0.113770
Carbon dioxide	0.000000	0.666667	0.485186	0.938890	3.2166E-15	0.0005411
Diethylamine	0.299999	0.000000	0.000000	0.000000	0.00308602	0.241850
Water	0.700001	0.000000	0.000000	0.000000	6.8432E-04	0.563838
Mass flows (kg/min)						
Air	0.000000	144.800	134.181	10.6185	6.7565E-16	409.082
Carbon dioxide	0.000000	440.091	192.173	247.918	3.3152E-30	440.091
Diethylamine	2194.11	0.000000	0.000000	0.000000	5.2856E-18	2196.18
Water	1261.05	0.000000	0.000000	0.000000	2.8871E-19	1261.17
Mass fractions (-)						
Air	0.000000	0.247567	0.411152	0.0410717	0.991817	0.0949913
Carbon dioxide	0.000000	0.752433	0.588848	0.958928	4.8665E-15	0.102192
Diethylamine	0.635023	0.000000	0.000000	0.000000	0.00775906	0.509966
Water	0.364976	0.000000	0.000000	0.000000	4.2381E-04	0.292851
Combined feed and product f						
Total molar	0.869565	0.130435	0.130435	0.130435	2.0364E-19	1.07965

Figura 5. (i) Tabla de corrientes.

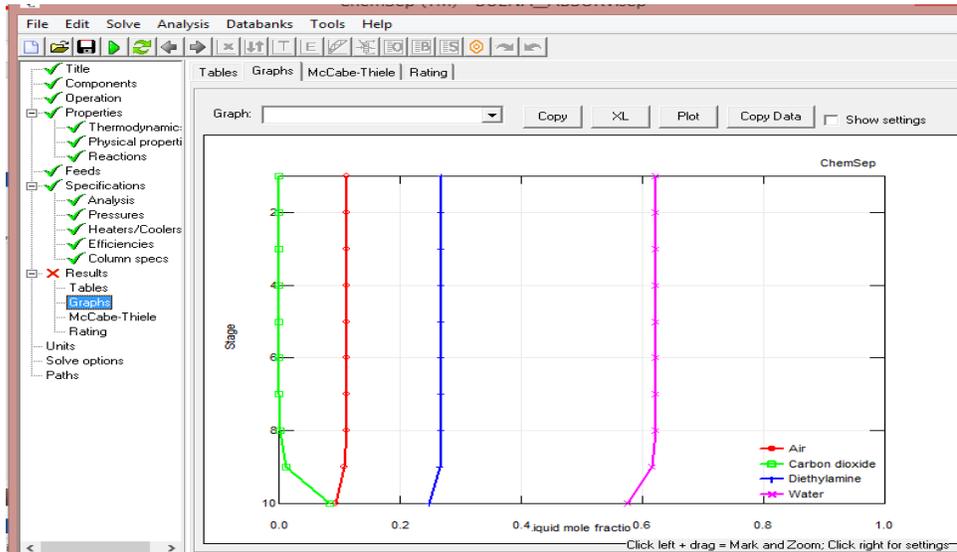


Figura 6. (j) Gráficas de transferencia de masa comportamiento. Figuras e, f, g, h, i, j capturas de del simulador chemset, (Gómez *et al.*, 2023).

## Resultados

La Figura 7 se observa la corriente de la absorción de Bióxido de carbono y aire prácticamente en su totalidad. Por lo que el proceso es eficiente.

Stream	F1 W-DIET	F2 CO2 AI	V.F2 CO2	L.F2 CO2	Top	Bottom
Stage	1	10	10	10	1	10
Pressure (atm)	70.0000	70.0000	70.0000	70.0000	70.0000	70.0000
Vapour fraction (-)	0.000000	0.600000	1.00000	0.000000	1.00000	0.000000
Temperature (C)	35.0000	1.95135	1.95135	1.95135	36.5333	31.0480
Enthalpy (J/kmol)	-3.853E+07	-4.516E+06			337847	-3.155E+07
Entropy (J/kmol/K)	-83997.2	-48023.2			-35153.1	-74514.1
Total molar flow (kmol/min)	100.000	15.0000	9.00001	6.00001	2.3418E-17	124.160
Total mass flow (kg/min)	3455.16	584.891	326.354	258.536	6.8122E-16	4306.52
Vapour std.vol.flow (m3/s)	=	=	=	=	=	=
Liquid std.vol.flow (m3/s)	=	=	=	=	=	=
Mole flows (kmol/min)						
Air	0.000000	5.00000	4.63334	0.366662	2.3330E-17	14.1257
Carbon dioxide	0.000000	10.0000	4.36668	5.63334	7.5330E-32	10.0000
Diethylamine	30.0000	0.000000	0.000000	0.000000	7.2270E-20	30.0283
Water	70.0002	0.000000	0.000000	0.000000	1.6026E-20	70.0065
Mole fractions (-)						
Air	0.000000	0.333333	0.514814	0.0611103	0.996230	0.113770
Carbon dioxide	0.000000	0.666667	0.485186	0.938890	3.2166E-15	0.0805411
Diethylamine	0.299999	0.000000	0.000000	0.000000	0.00308602	0.241850
Water	0.700001	0.000000	0.000000	0.000000	6.8432E-04	0.563838
Mass flows (kg/min)						
Air	0.000000	144.800	134.181	10.6185	6.7565E-16	409.082
Carbon dioxide	0.000000	440.091	192.173	247.918	3.3152E-30	440.091
Diethylamine	2194.11	0.000000	0.000000	0.000000	5.2856E-18	2196.18
Water	1261.05	0.000000	0.000000	0.000000	2.8871E-19	1261.17
Mass fractions (-)						
Air	0.000000	0.247567	0.411152	0.0410717	0.991817	0.0949913
Carbon dioxide	0.000000	0.752433	0.588848	0.958928	4.8665E-15	0.102192
Diethylamine	0.635023	0.000000	0.000000	0.000000	0.00775906	0.509966
Water	0.364976	0.000000	0.000000	0.000000	4.2381E-04	0.292851
Combined feed and product f						
Total molar	0.869565	0.130435	0.130435	0.130435	2.0364E-19	1.07965

Figura 7. Eficiencia en la absorción de Bióxido de carbono y aire.

## Discusión

A presiones bajas 1 o 2 atm y temperaturas mayores de 85 °C, resulta muy difícil la absorción, por lo que se determinó elevar la presión 70 atm.

La presión de 70 atm y temperaturas de 30-35 °C, son las más adecuadas,

Siendo la corriente de Dietanolamina-agua a 30%, 30 kg mol/min de Dietanolamina, 70 kg mol/min de agua, a una temperatura de 35 °C, y presión de 70 atm y la corriente de CO<sub>2</sub> -aire de 10 y 5 kg mol/min respectivamente a una temperatura de entrada de 1.95 °C y 70 atm, obteniéndose en el domo restos y absorbiendo la corriente Dietanolamina-agua el Bióxido de carbono y el aire, prácticamente en su totalidad. Se puede llevar a cabo la absorción y por un proceso inverso (desorción) se purifica la dietanolamina, con lo cual se puede canalizar el Bióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) °C, inyectando al subsuelo y generar el carbono verde.

## Conclusión

Gracias a la simulación de la columna de Absorción, se pudo observar que se requieren presiones de más de 65 atm para llevar a cabo la absorción, y se requieren temperaturas que pueden oscilar entre los 30 a 70 °C, recomendable sobre 35 °C, y las variables a controlar son los flujos de alimentación. A menor temperatura mayor absorción del CO<sub>2</sub>. Por lo que se requiere controlar presión, temperatura, flujos de alimentación siendo la variable medida el flujo de la mezcla Dietanolamina-Agua y la variable controlada la mezcla Aire-Bióxido de Carbono.

## Agradecimientos

Agradecemos a Chemseo.org, gracias a su simulador libre se pueden llevar a cabo la simulación del proceso y visualizar procesos que no pueden ser posible llevarlos a cabo en un pequeño laboratorio. Agradezco a mis alumnos Juan Jesús Uranga Ramírez, Laura Ahislin Vargas Ugalde, Vanessa Dorantes González, por su valiosa colaboración. A los



doctores José Luis Ruiz, Eligio Pastor Rivera de la FESC, UNAM por todas sus aportaciones. Al Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco y a la Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán.

## Referencias

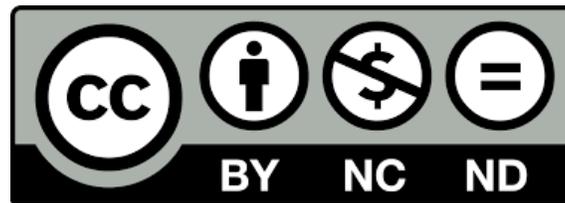
- Foust, A. A., Wensel L. A., Clump C.W., Maus, L., Andersen L. B. (1982). Principios De Operaciones Unitarias, Cia Ed. Continental, S.A. de C.V., México. 14ª impresión.
- Geankoplis, C. (1978). Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias, Editorial Continental, S.A. de C.V., México, 3ª impresión 1988.
- Glaymar, Hernández, Jimenez, Maury. (2016). Operaciones Unitarias: Absorción, youtube.com, <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=fxo2S2fdqhM>
- Ocón, G. J., Tojo B. G. (1970). Problemas de Ingeniería Química TII Ed. Aguilar.
- Rueda, M. J., Gutiérrez O, F.J. (2018), Diseño de la Columna de Absorción y sus auxiliares en una planta de desulfuración de gases de combustión, Dpto. Ingeniería Química y Ambiental de la Escuela Superior de Ingeniería, Sevilla, España.
- Salazar, P. A. (2012). Estudio y Selección de Material Empaque Estructurado: Metálico, Polimérico o Cerámico, para Operar Eficientemente una Columna de Absorción de Gases Contaminantes Provenientes de Hornos Tabiqueros, Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Química.
- Welty, J. R., Wicks C. E., Wilson, R. E., Rorrer, G. L. (2008). Fundamentals of Momentum, Heat, and Mass Transfer, 5ª Ed. Ed. Willey, cap 29, pag 551 a 563.



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).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



#### 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:

Chew-Hernández, M. L., Gómez-Tagle, R. G., y Barojas-Huerta, J.(2023). Diseño e instrumentación de una torre de absorción, para absorber el CO<sub>2</sub> por medio de dietanolamina a nivel laboratorio. *MEMORIAS DEL CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGÍA (CONATEC)*, Año 6, No. 6, septiembre 2023 - agosto 2024. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM.

[https://tecnicosacademicos.cuautitlan.unam.mx/CongresoTA/memorias2023/Mem2023\\_Paper04-E.html](https://tecnicosacademicos.cuautitlan.unam.mx/CongresoTA/memorias2023/Mem2023_Paper04-E.html)