



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v9i1>

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

Simulación del proceso de endulzamiento de gas natural usando solución acuosa de Dietanolamina (DEA)

Simulation of the natural gas sweetening process using Diethanolamine (DEA) aqueous solution

Simulação do processo de adoçamento de gás natural usando solução aquosa de dietanolamina (DEA)

Hernán Patricio Tixi Toapanta ^I

htixi@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-9462-7052>

Natalia Sofía Barahona Alvear ^{II}

natalia.barahona@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-6568-0188>

José Gerardo León Chimbolema ^{III}

gerardo.leon@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-9202-8542>

Correspondencia: htixi@epoch.edu.ec

***Recibido:** 29 de noviembre del 2022 ***Aceptado:** 12 de diciembre de 2022 * **Publicado:** 06 de enero de 2023

- I. Docente, Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- II. Docente, Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- III. Docente, Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

Resumen

La eliminación de los componentes ácidos del gas natural se conoce como endulzamiento, esto se logra mediante su absorción con soluciones básicas como las alcanolaminas, a través de una reacción exotérmica reversible lo que posteriormente permite su regeneración. En esta investigación teórica se realizó la absorción de CO₂ y H₂S presentes en el gas natural utilizando el simulador de procesos ASPEN PLUS con su paquete termodinámico para aminas (modelo de Kent y Eisenberg), empleando como absorbedor una solución acuosa de dietanolamina (DEA). El software ASPEN PLUS es una buena herramienta para el cálculo de variables de operación del proceso. Así pues, se obtuvieron resultados satisfactorios de absorción de CO₂ y H₂S cuando se aumenta el flujo y la concentración de amina. El proceso de absorción se produce de mejor manera a temperaturas bajas y presiones altas; por el contrario, el proceso de desorción mejora a temperaturas altas y presiones bajas. La concentración de CO₂ en el gas limpio se ve influenciada por el número de etapas del absorbedor, no así el H₂S.

Palabras Claves: Proceso de endulzamiento; gas natural; DEA; simulación.

Abstract

The elimination of the acid components of natural gas is known as sweetening, this is achieved by its absorption with basic solutions such as alkanolamines, through a reversible exothermic reaction, which later allows its regeneration. In this theoretical investigation, the absorption of CO₂ and H₂S present in natural gas was carried out using the ASPEN PLUS process simulator with its thermodynamic package for amines (Kent and Eisenberg model), using an aqueous solution of diethanolamine (DEA) as absorber. The ASPEN PLUS software is a good tool for calculating process operation variables. Thus, satisfactory CO₂ and H₂S absorption results were obtained when the flux and amine concentration are increased. The absorption process occurs best at low temperatures and high pressures; on the contrary, the desorption process improves at high temperatures and low pressures. The CO₂ concentration in clean gas is influenced by the number of absorber stages, but H₂S is not.

Keywords: Sweetening process; natural gas; OF THE; simulation.

Resumo

The elimination of the acid components of natural gas is known as sweetening, this is achieved by its absorption with basic solutions such as alkanolamines, through a reversible exothermic reaction, which later allows its regeneration. In this theoretical investigation, the absorption of CO₂ and H₂S present in natural gas was carried out using the ASPEN PLUS process simulator with its thermodynamic package for amines (Kent and Eisenberg model), using an aqueous solution of diethanolamine (DEA) as absorber. The ASPEN PLUS software is a good tool for calculating process operation variables. Thus, satisfactory CO₂ and H₂S absorption results were obtained when the flux and amine concentration are increased. The absorption process occurs best at low temperatures and high pressures; on the contrary, the desorption process improves at high temperatures and low pressures. The CO₂ concentration in clean gas is influenced by the number of absorber stages, but H₂S is not.

Palavras-chave: Processo de adoçamento; gás natural; DA; simulação.

Introducción

El gas natural es un combustible fósil que proviene de los yacimientos de petróleo, contiene metano, etano y otros hidrocarburos. Además, posee contaminantes como nitrógeno, agua, CO₂ y H₂S (1). El contenido de CO₂ y H₂S en el gas natural lo convierte en un gas amargo. Estas sustancias son indeseables ya que si el H₂S está presente en el gas natural entonces causa una severa corrosión a las tuberías, turbinas, compresores y otros equipos (2); también el H₂S es una sustancia química tóxica y venenosa, si se expone al medio ambiente por fuga causa daño al ser humano y animales que estén a los alrededores. Por otro lado, el gas natural con alto contenido de CO₂ disminuye su poder calorífico y también es responsable de los problemas de corrosión porque forma ácido carbónico cuando reacciona con el vapor de agua. Una vez eliminado estas sustancias (CO₂+ H₂S) al gas se le denomina gas dulce (3). La comercialización del gas natural está restringida a un contenido de H₂S menor de 4 ppm y de CO₂ menor del 2%. Debido a ello, es necesario realizar un tratamiento de endulzamiento para que el gas natural entre en especificación y puedan ser transportado. Los procesos de endulzamiento de gas natural surgen con el objetivo de remover estos gases ácidos de la corriente de gas. El endulzamiento de gas por amina se considera el proceso más popular entre los métodos de endulzamiento del gas natural, de hecho, el proceso de endulzamiento del gas natural por amina tiene

Simulación del proceso de endulzamiento de gas natural usando solución acuosa de Dietanolamina (DEA)

varias ventajas, es un proceso continuo y con capacidad para regenerar el solvente (4). El propósito de este trabajo es simular el proceso de endulzamiento de gas natural usando dietanolamina (DEA), es una amina secundaria de fórmula química $\text{HN}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_2$, a temperatura ambiente presenta forma de cristales sólidos, es higroscópico, tiene un olor a pescado en descomposición y actúa como una base débil. En la industria petrolera la DEA es utilizada como extractor de dióxido de carbono y de sulfuro de hidrógeno, en torres de absorción (5), se recomienda para el tratamiento de gases que tienen contenido de H_2S alto ya que es mucho menos corrosivo que la MEA, pero la solución es muy viscosa a altas concentraciones. La DEA se utiliza para endulzar corrientes de gas natural que contienen hasta 10 %_{mol} de gases ácidos. Los casos con DEA se han diseñado para funcionar con soluciones de concentraciones entre 30 y 35 %_v, incluso a esta concentración la DEA no es corrosiva (6). Para la simulación se utilizó la herramienta computacional ASPEN PLUS. El presente artículo consta de: materiales, métodos, resultados con su respectivo análisis y por último conclusiones.

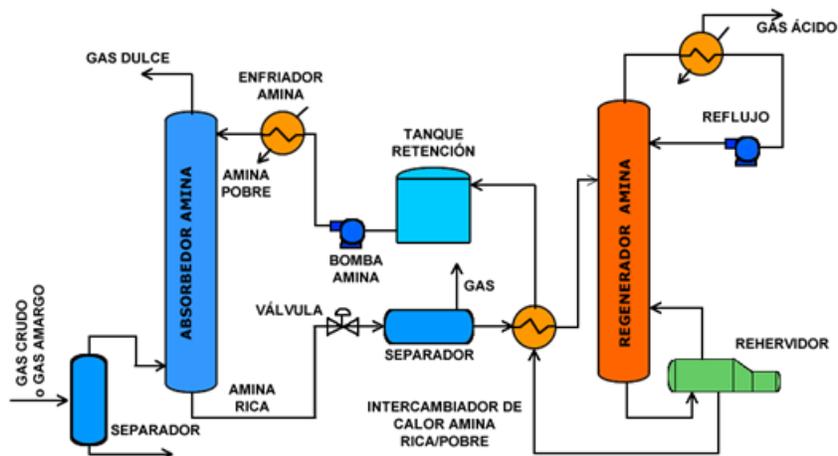
Materiales y métodos

a) Descripción del proceso de endulzamiento de gas natural usando dietanolamina (DEA)

El proceso de endulzamiento se lleva a cabo en un sistema compuesto por una torre absorbidora y una torre regeneradora. La primera unidad es donde se efectúa la absorción del gas ácido, es decir, donde se obtiene el gas dulce o tratado. La segunda unidad es necesaria para recuperar y reacondicionar la amina. El gas amargo entra a la columna de absorción por la parte inferior, y por la parte superior entra la solución acuosa de amina pobre y se ponen en contacto ambas corrientes, produciéndose la absorción de los gases ácidos. Saliendo por el tope el gas dulce o limpio y por el fondo de la columna un líquido denominada amina rica. Esta amina rica contiene absorbido el gas ácido ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{S}$). Para separar el CO_2 y H_2S de la amina rica, se pasa esta mezcla a una columna regeneradora, en donde se separa por el tope el gas ácido y por el fondo la amina pobre. En la Figura 1 se muestra el diagrama de flujo básico de una unidad de endulzamiento de gas natural usando amina (5).

Simulación del proceso de endulzamiento de gas natural usando solución acuosa de Dietanolamina (DEA)

Figura 1. Diagrama de flujo del Proceso de Endulzamiento de gas natural



b) Caso de Estudio

Se tomó como base un gas natural cuya composición y condiciones se muestran en las Tablas 1 y 2, respectivamente. (6)

Tabla 1. Composición del gas natural

COMPUESTO	FRACCION MOLAR
C ₁	0.8608
C ₂	0.0620
C ₃	0,0203
C ₄	0.0039
NC ₄	0.0053
IC ₅	0.0022
NC ₅	0.0013
C ₆	0.0005
C ₇	0.0007
C ₈	0.0001
C ₉	0.0001

Simulación del proceso de endulzamiento de gas natural usando solución acuosa de Dietanolamina (DEA)

CO ₂	0.0346
H ₂ S	0.0010
H ₂ O	0.0020
N ₂	0.0052

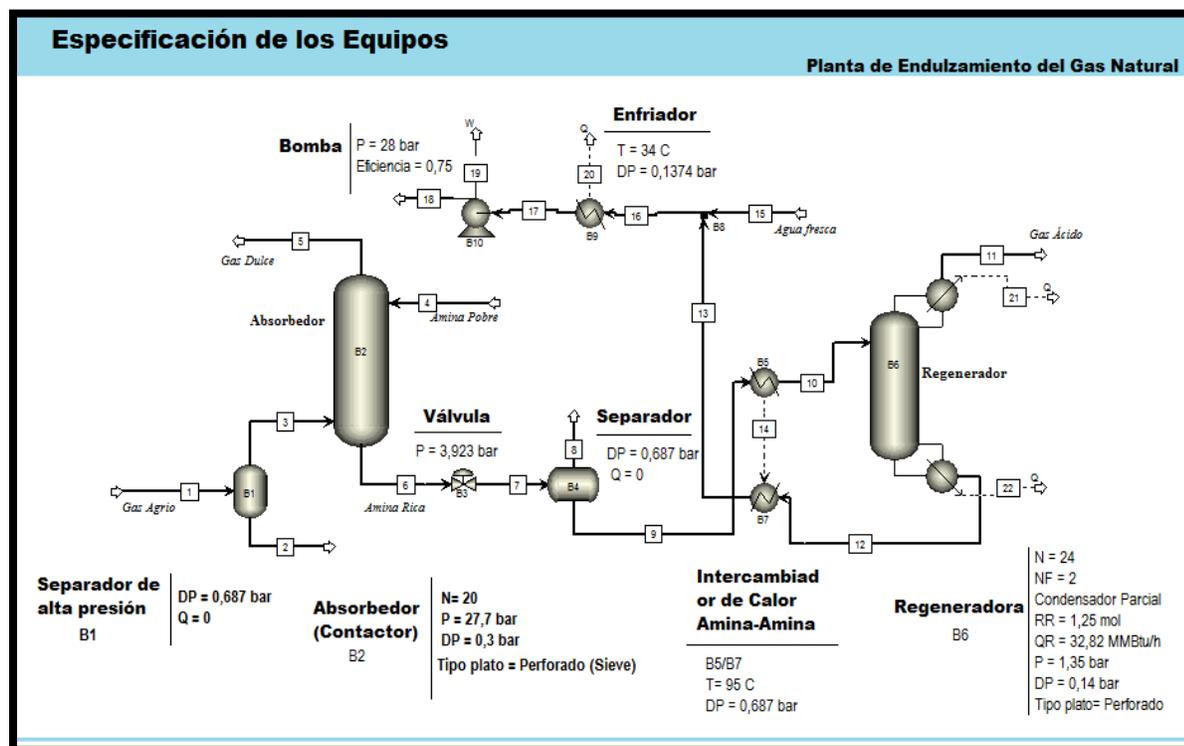
Tabla 2. Condiciones de alimentación de la solución acuosa DEA

Propiedad	Valor	Unidad
Flujo	2793	Kmol/h
Presión	28,7	Bar
Temperatura	35	°C
Compuesto		
DEA	28	%m
H ₂ O	72	%m

En la Figura 2 se presenta el diagrama de flujo y las especificaciones de las operaciones unitarias utilizadas en ASPEN PLUS para modelar el proceso de endulzamiento.

Simulación del proceso de endulzamiento de gas natural usando solución acuosa de Dietanolamina (DEA)

Fig. 2. Especificaciones de los equipos del proceso de endulzamiento de gas natural usando DEA.



c) Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad se realizó solamente en la columna de absorción. Se evaluó el flujo, la presión y la composición de H₂S y CO₂ del gas amargo, también se evaluó la temperatura y composición de amina pobre en función de la eficacia de la remoción de H₂S y CO₂ del gas natural. El caso base representa la simulación de arranque y a partir de esta se le realiza ciertas perturbaciones a la planta para observar la respuesta a estos cambios.

d) Predimensionamiento de la columna de absorción

Se utilizó la herramienta Tray and Rate Sizing (dimensionamiento del plato) con el fin de estimar:

- El diámetro de la columna usando Tray sizing.
- La longitud del vertedero.
- La velocidad de desagüe del vertedero.

Simulación del proceso de endulzamiento de gas natural usando solución acuosa de Dietanolamina (DEA)

Con respecto al uso de Rate sizing se procedió a introducir el diámetro de la columna calculada y además se le suministró cierta geometría del plato como altura del vertedero, altura del claro, factor de espumeo (calculados para que el $\Delta P = 8-10$ mmHg) (Treybal, 1980).

Después del cálculo se verifica que el porcentaje de inundación de la torre debe estar en un rango entre 70 y 85 % y la caída de presión entre platos en el valor antes mencionado

Tabla 3. Especificación del plato

Especificación	Valor
Factor de espuma	0.7
Altura vertedero (<i>Weir heights</i>)	4 in
Claro (<i>Clearance</i>)	3.5 in
Ancho tope bajante (<i>width at top</i>)	5 in
Diámetro de la perforación	½ in

Resultados y discusión

Balance de materia y energía

La Tabla 4 presenta los resultados por corriente del balance de materia y energía en estado estacionario.

Tabla 4. Balance de materia y energía.

	Gas Natural	Amina Pobre	Gas Dulce	Amina Rica	Gas ácido	Circulación amina
	1	4	5	6	11	12
T °C	30	35	35	53.4	98.6	114.6
P bar	28.7	28	27.7	28	1.35	1.57
Vapor Frac	1	0	1	0	1	0
Mole Flow kmol/hr						

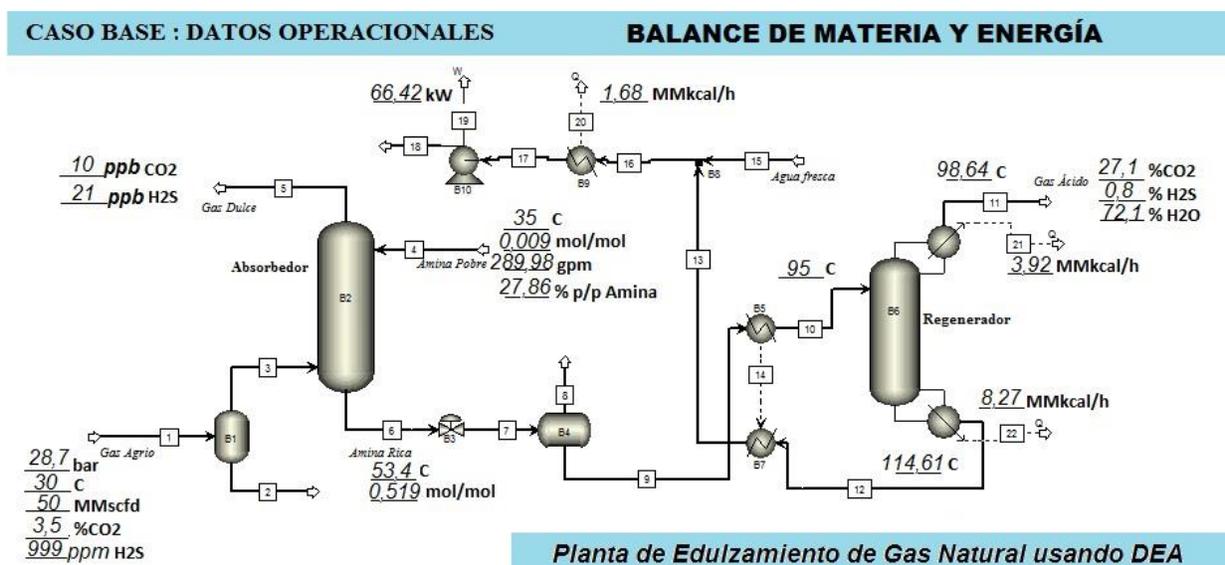
Simulación del proceso de endulzamiento de gas natural usando solución acuosa de Dietanolamina (DEA)

Mass Flow kg/hr	47886.762	65468.666	44033,141	69321.932	8006.91	61314.933
Volume Flow cum/hr	2039.128	65.826	2090.156	70.498	7224.64	67.347
Enthalpy MMkcal/hr	-52.31	-198.73	-44.12	-206.92	-21.161	-178.804
Components	Mole Flow kmol/hr					
CO ₂	86.058	1.487	0	86.124	1.422	27.50
H ₂ S	2.487	0.077	0	2.49	0.074	0
N ₂	12.93	0	12.934	0	0	0
H ₂ O	4.97	2617.976	6.008	2616.923	0	0
DEA	0	173.46	0	173.46	0	173.46
C ₁	2143.749	0	2143.745	0.004	0	0
C ₂	154.457	0	154.457	0	0	0
C ₃	50.491	0	50.491	0	0	0
IC ₄	9.7	0	9.7	0	0	0
NC ₄	13.182	0	13.182	0	0	0
IC ₅	5.472	0	5.472	0	0	0
NC ₅	3.233	0	3.233	0	0	0
C ₆	1.244	0	1.244	0	0	0
C ₇	1.741	0	1.741	0	0	0
C ₈	0.249	0	0.249	0	0	0
C ₉	0.249	0	0.249	0	0	0

En la Figura 3 se muestra en forma resumida los valores más importantes de la simulación usando la solución acuosa de DEA. Esto corresponde a un 94.62 % de recuperación de CO₂ y 99.94 % de recuperación de H₂S que sale por el fondo de la columna con la amina rica.

Simulación del proceso de endulzamiento de gas natural usando solución acuosa de Dietanolamina (DEA)

Figura 3. Resultados del balance de materia y energía



Columna de absorción

La Tabla 5 muestra las fracciones de recuperación de los componentes en el tope y fondo de la columna. Se puede observar que existe un cambio en la corriente 6 del fondo de la columna, se aprecia que los solutos H₂S y CO₂ se concentran en un 94.5 % para el CO₂ y en un 99.94% para el H₂S.

Tabla 5. Fracción de recuperación en la columna de absorción

Componentes	Tope 5	Fondo 6
CO ₂	0.05373	0.94627
H ₂ S	0.00058	0.99941
N ₂	0.00238	0.99761
H ₂ O	1	2.49E-06
DEA	1.76E-07	1
C ₁	1	1.65E-06
C ₂	1	4.97E-07
C ₃	1	6.73E-08
IC ₄	1	4.39E-09

Simulación del proceso de endulzamiento de gas natural usando solución acuosa de Dietanolamina (DEA)

NC ₄	1	6.24E-08
IC ₅	1	6.70E-09
NC ₅	1	3.55E-08
C ₆	1	1.88E-08
C ₇	1	7.04E-09
C ₈	1	2.25E-09
C ₉	1	7.58E-10

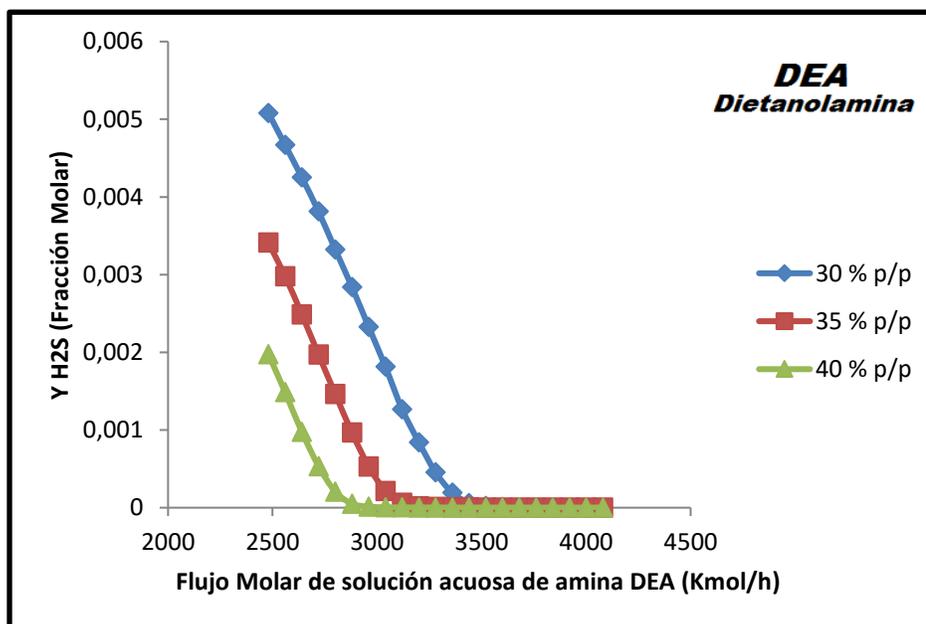
Análisis de sensibilidad

Se realiza un análisis de sensibilidad paramétrica para estudiar el efecto que tiene la variación del flujo molar de la solución acuosa de amina DEA a diferentes concentraciones en peso de 30, 35, y 40 %_m en función de la composición molar en fase vapor de H₂S y CO₂, rendimiento de remoción de H₂S y CO₂ y por último con respecto a la relación molar de gas ácido/mol DEA.

La Figura 4 se observa que al aumentar el flujo molar de la solución acuosa DEA a diferentes concentraciones, la composición molar de H₂S presente en el gas dulce se reduce, y a partir de un cierto flujo molar se vuelve asintótico al eje x. Este punto de quiebre en la curva representa el flujo molar mínimo, es decir, no es necesario gastar más amina porque la composición molar de H₂S permanece constante.

Simulación del proceso de endulzamiento de gas natural usando solución acuosa de Dietanolamina (DEA)

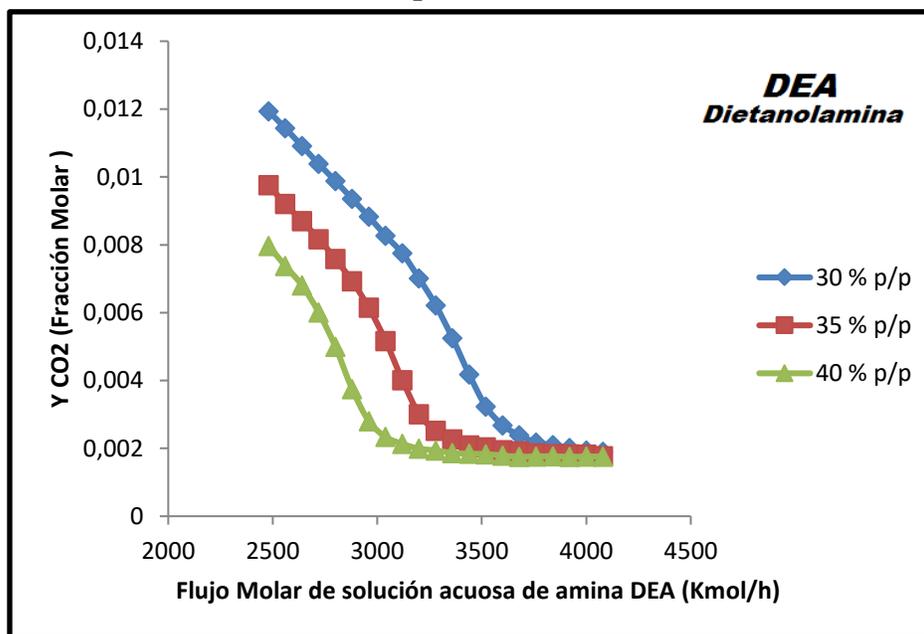
FIGURA 4. Variación del flujo molar de la solución acuosa de amina en función de la composición molar de H₂S



En la Figura 5 que indica la composición molar de CO₂ en el gas dulce, se observa el efecto de variación de flujo molar de solución acuosa DEA a diferentes concentraciones y se ve que tiene un comportamiento semejante al de H₂S, al aumentar el flujo molar de DEA la composición molar de CO₂ en la fase gas disminuye y a partir de cierto valor se vuelve asintótico al eje x y la concentración permanece constante.

Simulación del proceso de endulzamiento de gas natural usando solución acuosa de Dietanolamina (DEA)

Figura 5 Variación del flujo molar de la solución acuosa de amina en función de la composición molar de CO₂.



La Figura 6 y 7 representa el efecto de la variación de flujo molar de solución acuosa de DEA a diferentes concentraciones en el rendimiento de remoción de H₂S y CO₂. Se puede observar que la remoción de estos solutos (H₂S y CO₂) aumenta a medida que aumenta el flujo molar de amina y a partir de un punto se vuelve como una asíntota horizontal, indicando que no es necesario seguir gastando más amina, por consiguiente, para el H₂S se obtuvo una elevada remoción con un valor de 99.99 % mientras que la remoción de CO₂ es de 96 %. Al comparar el efecto que tiene la concentración de la solución acuosa DEA se puede explicar que a mayor concentración (40 %_m) el gasto de amina es menor y por el contrario a menor concentración (30 %_m) el flujo de amina es mayor.

Simulación del proceso de endulzamiento de gas natural usando solución acuosa de Dietanolamina (DEA)

Figura 6 Variación del flujo molar de la solución acuosa de amina en función del porcentaje de remoción de H₂S

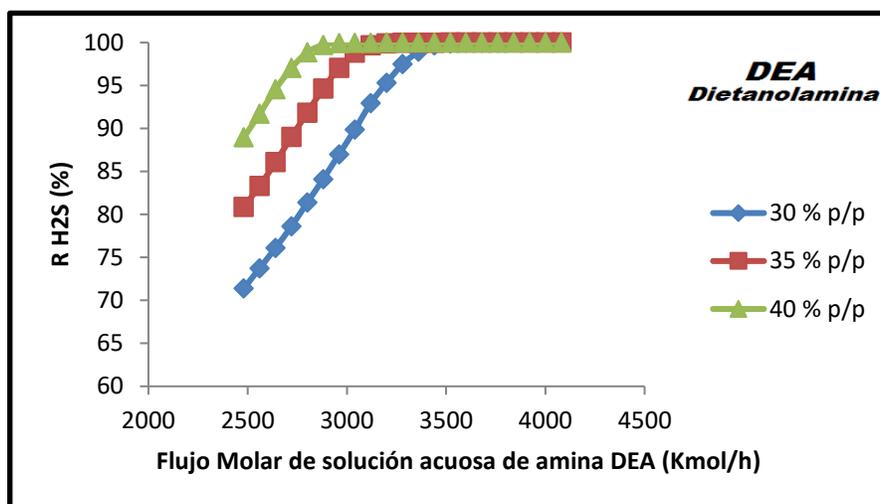
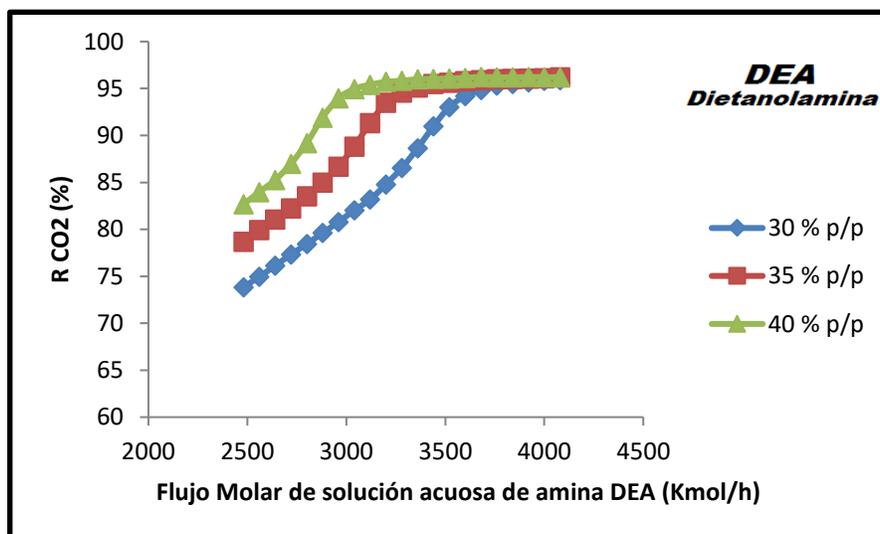


Figura 7 Variación del flujo molar de la solución acuosa de amina en función del porcentaje de remoción CO₂

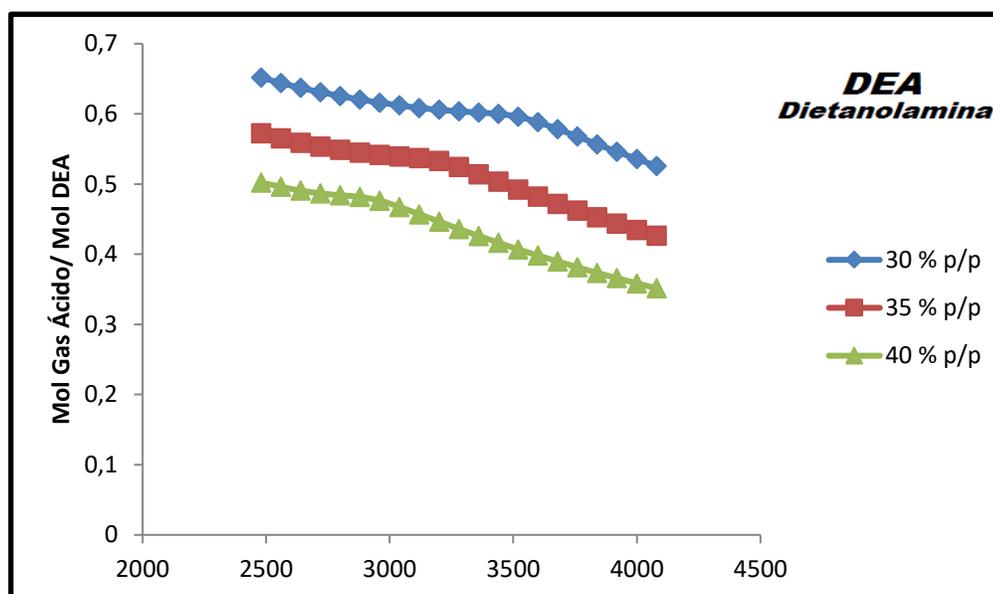


En la Figura 8 se puede observar también el efecto de la variación de flujo molar de la solución acuosa de amina DEA a diferentes concentraciones con respecto a la relación molar de gas ácido (H₂S+CO₂) por mol de DEA. A medida que el flujo molar de amina aumenta, la relación mol gas ácido/mol DEA disminuye, es decir, presenta un comportamiento lineal de pendiente negativa. Al comparar con

Simulación del proceso de endulzamiento de gas natural usando solución acuosa de Dietanolamina (DEA)

respecto a las diferentes concentraciones, se observa que esta relación molar gas ácido/ mol DEA disminuyen y tienen un comportamiento lineal paralelo entre ellas. Logrando una relación molar de gas ácido/mol DEA bajo a concentraciones altas (40 %_m) mientras que altas relaciones mol de gas ácido/mol DEA se obtiene a bajas concentraciones de amina (30 %_m).

Figura 8 Variación del flujo molar de la solución acuosa de amina en función de la relación molar gas ácido/mol DEA.



En la Tabla 6, muestra los resultados del cierre del balance de materia y energía de la columna de absorción. El cierre del balance es satisfactorio.

Tabla 6. Cierre del balance de materia y energía

	Total	In	Out	Rel. diff
Flujo	kmol/hr	5283.201	5283.201	1.72E-16
FlujoMási	kg/hr	113355.0	113355.0	1.28E-16
Entalpía	MMkcal/	-251	-	1.22E-07

Predimensionamiento de la columna

En la Tabla 7 muestra los resultados para el caso base.

Tabla 7. Resultados del Tray sizing.

Parámetros	Unidad	MEA
Tipo de platos		Sieve
Número de pasos		1
Número de platos		20
Espaciado de plato	m	0.6096
Porcentaje de inundación	%	0.85
Método de cálculo inundación		Glitsch
Factor de espuma		0.83
Plato de cálculo		18
Diámetro de la columna	m	1.6181
Área bajante/Área columna		0.1066
Velocidad bajante	m/s	0.1057
Longitud vertedero	m	1.1970
Área columna	m ²	2.0564
Área activa	m ²	1.6179
Área del bajante	m ²	0.2162

El diámetro de la columna calculado está por encima de 1m, por lo cual se especifica que el espaciado de plato debe ser de 600 mm. La relación área bajante/ área columna está en un valor aceptable ya que este valor corresponde a 12 % del área de la columna. La longitud del vertedero corresponde al 75 % del diámetro de la columna.

La velocidad por el bajante está dentro del valor correspondiente al intervalo sugerido de 0.0305 - 0.2135 m/s. La Tabla 8 muestra los resultados de la simulación. Todos los parámetros obtenidos satisfacen los requerimientos de la columna. El factor de inundación está dentro del intervalo de 70 - 85 % y en especial para sistema espumoso que recomienda un factor de 0.70. La caída de presión por etapas o platos va desde un 0.008 - 0.009 bar el cual está un poco por arriba del valor recomendado

Simulación del proceso de endulzamiento de gas natural usando solución acuosa de Dietanolamina (DEA)

de 0.007 bar (0.1 psi) mientras que la caída de presión de la columna esta alrededor de 0.2 bar. Los bajantes (downcomer) tiene una altura de backup de líquido que es menor que la mitad de la suma del espaciado del plato y altura de vertedero ($S+hw$) como se recomienda, el cual contribuye a asegurar de que no ocurra inundación. La velocidad de líquido por los bajantes está dentro del rango recomendado 0.0305 - 0.2135 m/s.

Tabla 8. Resultados del Predimensionamiento de la columna

Resumen(Tray Rating)	Unidad	MEA
Etapa de comienzo de sección:		1
Etapa de final de sección		20
Máximo factor de inundación:		0.7119
Etapa:		18
Caída de presión por etapa:	Bar	0.00958
Panel:		
Caída de presión de la sección:	bar	0.1899
Resultados del bajante (Downcomer)		
Maximum backup/Espaciado de bandeja:		0.4871
Etapa:		19
Localización:		
Backup:	M	0.2969
Máxima velocidad/ de Diseño:		
Etapa:		19
Localización:		
Velocidad:	m/s	0.1069

Conclusiones

La simulación de absorción de H_2S y CO_2 del gas natural caso estudio, con la amina primaria DEA, cerró satisfactoriamente en su balance de materia y energía, obteniéndose un gas dulce con las especificaciones requeridas. Temperaturas bajas permite evitar la degradación de la amina y evitar problemas de corrosión. Al aumentar la concentración de la solución de amina DEA utilizada afecta

Simulación del proceso de endulzamiento de gas natural usando solución acuosa de Dietanolamina (DEA)

al flujo de amina gastado ya que este disminuye. Las especificaciones de la columna de absorción utilizadas proporcionan una satisfactoria hidráulica de la columna. Para cada situación en particular el simulador permite encontrar el caudal mínimo de solución de DEA que se debe alimentar para extraer la cantidad de CO₂ deseada, técnicamente es necesario trabajar con caudales de solución de DEA por encima del caudal mínimo.

Referencias

1. Aspen Tehcnology, Inc ASPEN PLUS Manual, (2002), Physical Property Model. Arnold, K. & Stewart, M., (1989).
2. Surface Production Operations. Volume 2: Design of Gas - Handling Systems and Facilities. Gulf Publising Company Editions. Houston, Texas, E.U. pp 141-180.
3. DuPart, M.S., Bacon, T.R., y Edwards, D.J. (1963), Understanding Corrosion in Alkanolamine Gas Treating Plants, Part 1. Hydrocarbon Processing (April): pp.80.
4. Kent R.L., Eisenberg B., (1976), Better data for amine treating, Hydrocarbon Processing, February; pp. 87-90.
5. Kohl, A.L. & Riesenfeld, F.C., (1985), Gas Purification, Four Edition. Gulf Publising Company Editions. Houston, Texas, E.U. pp. 29-109.
6. Martínez, Marcías J., (1995), Endulzamiento del gas natural, Ingeniería de gas, principios y aplicaciones, Ingenieros Consultores S.R.L., Maracaibo, Venezuela.
7. Rojey, A., Jaffret, C., Cornot-Gandolphe, S., Durand, B., Jullians, S., Valais, M., (1997). Natural Gas: Production processing transport. Technip-Paris Editions. France.
8. Serrano, R. A. & Zavala, C. M., (2004). Operación de una Planta Piloto de Endulzamiento de Gas Natural. Tesis de Licenciatura. Universidad las Américas. Cholula, Puebla, México. Mayo.
9. Tennyson, R.N. and Schaaf, R.P. (1977), Guidelines Can Help Choose Proper Process for Gas-Treating Plants, Oil & Gas J 75 (2): pp.78.
10. Treybal. R. E., (1980). Operaciones con Transferencia de Masa. Ed. Mc.Graw Hill, Europe.

Simulación del proceso de endulzamiento de gas natural usando solución acuosa de Dietanolamina (DEA)

©2023 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).