

**APLICACIÓN DE ALCANOLAMINAS PARA LA CAPTURA DE CO₂:
MEDICIÓN DE DENSIDADES Y VISCOSIDADES DINÁMICAS DE
DISOLUCIONES ACUOSAS DE TRIETANOLAMINA.**

Oscar Rojas-Valencia, Miriam Estrada Flores, Carmen Reza San German,
Abel Zúñiga Moreno*

Escuela Superior de Ingeniería Química e Industria Extractivas, Instituto Politécnico
Nacional, Edif. Z5, Segundo piso, UPALM, Zacatenco, 07738, México, D.F.

*Tel: 57296000 ext 55932, azunigam@ipn.mx

RESUMEN

En la actualidad las emisiones de CO₂ han ocasionado problemas ambientales como el efecto de invernadero y el calentamiento global de planeta. Las emisiones provienen principalmente de gases de chimenea de las industrias y de los sistemas de transportación terrestre, marítimo y aéreo. A corto plazo no se vislumbra una disminución de estas emisiones, por lo que se es necesario desarrollar un sistema de captura de CO₂ optimo, además de considerar medios de disposición finales de este. Una tecnología que se viene utilizando es la absorción de CO₂ utilizando alcanolaminas, y una parte importante en diseño de columnas de absorción es la disponibilidad de datos de propiedades termofísicas. En el presente trabajo se presentan mediciones de la densidad y viscosidad dinámica de disoluciones acuosas de trietanolamina. Las mediciones se realizaron a temperaturas de 20 a 60 °C. Se presenta la correlación de los datos y el cálculo de propiedades de mezclado y su correlación con la ecuación de Redlich-Kister.

El trabajo se prefiere presentar en póster.

1. Introducción

La captura de CO_2 es un tema de actualidad debido a la necesidad de abatir las emisiones de este gas en la atmósfera. La captura de dióxido de carbono (CO_2) es un tema de actualidad, debido a los problemas que causan las emisiones de este gas en el medio ambiente. Los principales problemas radican en el efecto de invernadero y el calentamiento global de la tierra [1]. En la naturaleza el ciclo del carbono se encuentra balanceado entre las emisiones naturales de este gas y la fijación del mismo por organismos fotosintéticos. Pero se ha creado un desequilibrio por las emisiones de CO_2 producidas por el hombre. Las emisiones provienen de la combustión de combustibles de origen fósil principalmente, y a pesar de que se hacen esfuerzos por desarrollar fuentes de energías más limpias, su implementación se realiza lentamente y no se vislumbra su implementación a nivel masivo en el corto y mediano plazo [2]. Aunado a esto la demanda de energía, y del incremento en el uso de sistemas de transportación terrestre, aérea y marítima origina que las emisiones proyectadas para las próximas décadas aumenten drásticamente [2]. Estos factores han ocasionado la necesidad de desarrollar medios óptimos para la captura de dióxido de carbono. Dentro de las alternativas que están en uso y desarrollo constante es la utilización de soluciones acuosas de alcanolaminas como medio sorbente. Estos compuestos han demostrado alta eficiencia en la absorción de gases ácidos, además que la composición de las mezclas acuosas de aminas puede variarse según la aplicación requerida [3]. Esta aplicación ha ocasionado que estos compuestos estén recibiendo bastante atención y un campo que se ha venido desarrollando intensamente es el de sus propiedades termofísicas [4], que son importantes en el desarrollo y operación de equipos y procesos industriales. En la literatura se pueden encontrar densidades para muy diversas mezclas binarias, ternarias y cuaternarias de alcanolaminas, para el caso de disoluciones acuosas de trietanolamina (TEA) solo fueron encontradas datos reportados por Álvarez et al. [3] y los reportados por Hawrylak et al. [5]. En este trabajo se midieron densidades y viscosidades de la mezcla agua + TEA en el intervalo de temperatura de 293.15 a 333.15 K para el caso de las densidades y de 303.15 a 333.15 K para el caso de viscosidades. Ambos estudios fueron obtenidos a presión atmosférica.

2. Parte experimental

Las densidades se obtuvieron utilizando un densímetro de tubo vibrante (modelo 4500

M de Anton Paar). Este densímetro fue calibrado utilizando agua y aire seco como fluidos de referencia. El intervalo de temperaturas estudiado fue de 293.15 a 333.15 K. Las viscosidades fueron obtenidas utilizando viscosímetros de rutina Cannon-Fenske de tamaños 50, 100, 350, 450 y 650 para los diferentes magnitudes de viscosidades estudiadas. Los viscosímetros están calibrados y cuentan con su certificado de calibración. Las mezclas binarias fueron preparadas gravimetricamente utilizando una balanza Metler Toledo.

3. Resultados y discusión

Las densidades del sistema agua + TEA se reportan en la Tabla 1 y se encuentran graficados en la Figura 1. De esta figura podemos extraer los siguientes comportamientos: la densidad disminuye conforme la temperatura se incrementa, y por otro lado esta se incrementa conforme la composición de TEA aumenta en la mezcla, esto a temperatura constante.

Tabla 1. Densidades experimentales de la mezcla agua (1) + TEA (2) de 20 a 60 °C

| x_1 | $T/^{\circ}\text{C}$ | | | | | | | | |
|--------|------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 |
| | $\rho/\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ | | | | | | | | |
| 0.0000 | 1.12643 | 1.12321 | 1.12025 | 1.11734 | 1.11441 | 1.11145 | 1.10844 | 1.10540 | 1.10233 |
| 0.2065 | 1.12590 | 1.12303 | 1.12012 | 1.11718 | 1.11419 | 1.11115 | 1.10807 | 1.10496 | 1.10182 |
| 0.3098 | 1.12581 | 1.12275 | 1.11988 | 1.11688 | 1.11382 | 1.11073 | 1.10755 | 1.10437 | 1.10116 |
| 0.4029 | 1.12540 | 1.12244 | 1.11943 | 1.11637 | 1.11326 | 1.11010 | 1.10691 | 1.10369 | 1.10044 |
| 0.5015 | 1.12435 | 1.12131 | 1.11822 | 1.11506 | 1.11186 | 1.10863 | 1.10538 | 1.10209 | 1.09877 |
| 0.6009 | 1.12235 | 1.11918 | 1.11594 | 1.11262 | 1.10927 | 1.10584 | 1.10252 | 1.09903 | 1.09549 |
| 0.7003 | 1.11723 | 1.11385 | 1.11038 | 1.10779 | 1.10444 | 1.10099 | 1.09774 | 1.09448 | 1.09123 |
| 0.8009 | 1.10578 | 1.10260 | 1.09935 | 1.09598 | 1.09267 | 1.08920 | 1.08584 | 1.08204 | 1.07850 |
| 0.8994 | 1.07634 | 1.07377 | 1.07108 | 1.06828 | 1.06539 | 1.06241 | 1.05933 | 1.05616 | 1.05289 |
| 1.0000 | 0.99819 | 0.99703 | 0.99562 | 0.99400 | 0.99219 | 0.99018 | 0.98800 | 0.98565 | 0.98307 |

En la Figura 2 se muestran las densidades de este sistema medidas en este trabajo a 25, 35 y 45 °C junto con las reportadas por Hayrilak et al [5]. Como se puede observar ambas series de datos siguen la misma tendencia y comportamiento.

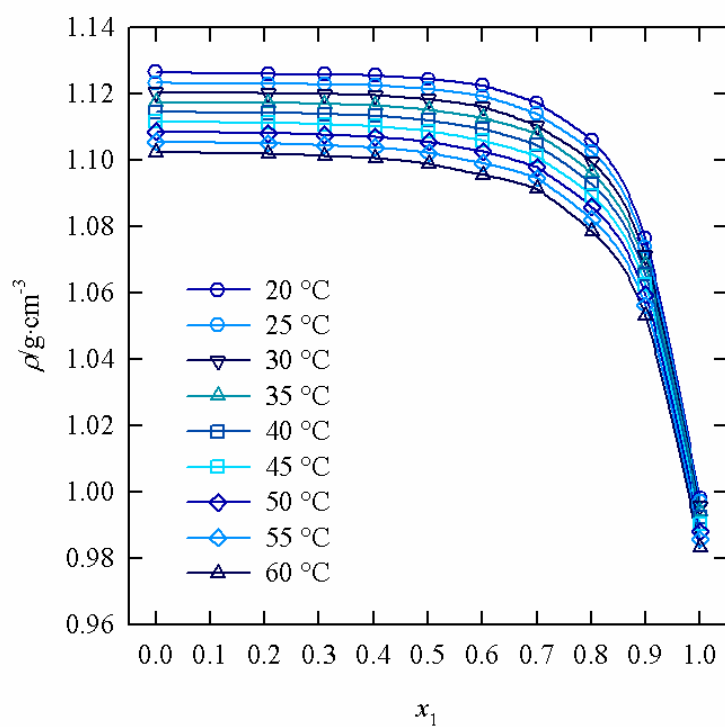


Figura 1. Densidades experimentales del sistema agua (1) + TEA (2) a diferentes temperaturas.

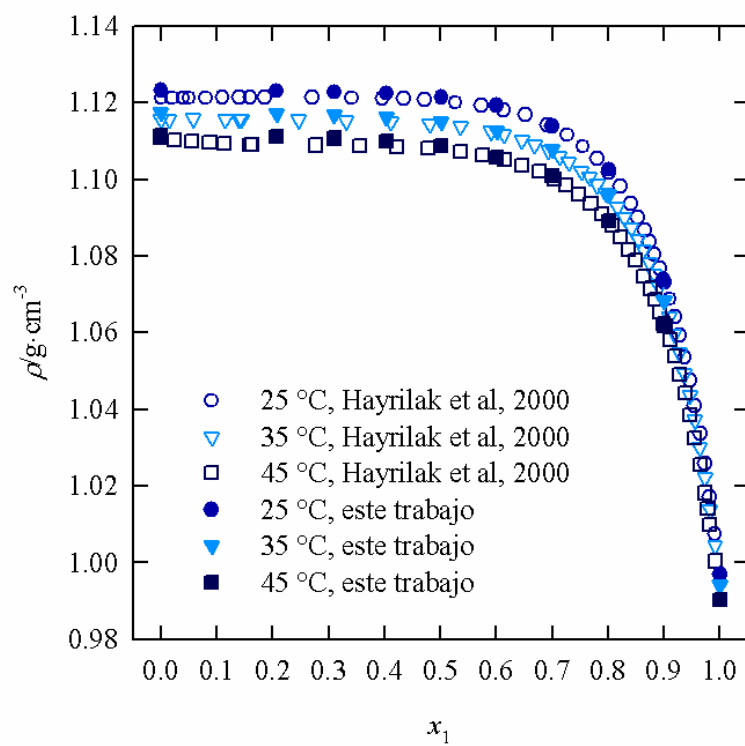


Figura 2. Densidades experimentales del sistema agua (1) + TEA (2) a 25, 35 y 45 °C medidas en este trabajo y las reportadas por Hayrilak et al [6].

Los volúmenes molares en exceso fueron calculados utilizando la siguiente formula.

$$V^E/(\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}) = \left(\frac{x_1 M_1 + x_2 M_2}{\rho_{\text{mez}}} - \left(\frac{x_1 M_1}{\rho_1} + \frac{x_2 M_2}{\rho_2} \right) \right) \quad (1)$$

donde V^E es el volumen molar en exceso en $\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$, ρ_{mez} es la densidad de la mezcla, ρ_1 y ρ_2 son las densidades de los compuestos puros a la misma temperatura de la densidad de la mezcla, M_1 y M_2 son las masas moleculares de los compuestos puros, x_1 y x_2 son las fracciones molares de agua y TEA, respectivamente.

Los volúmenes molares en exceso del sistema agua (1) + TEA (2) se encuentran graficados en la Figura 3. Los valores son negativos como puede observarse en la Figura 3.

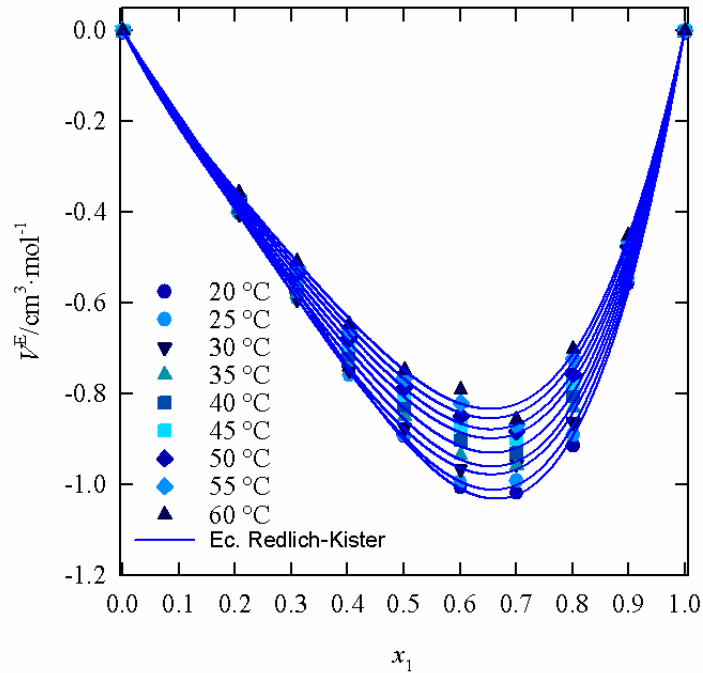


Figura 3. Volúmenes molares en exceso del sistema agua (1) + TEA (2) a diferentes temperaturas.

Por otro lado, estos volúmenes molares en exceso fueron correlacionados utilizando la siguiente expansión de Redlich-Kister [6].

$$V^E = (x_1 - x_1^2) \left(A_0 + A_1(2x_1 - 1) + A_2(2x_1 - 1)^2 + A_3(2x_1 - 1)^3 \right) \quad (2)$$

donde A_0 , A_1 , A_2 , y A_3 son parámetros ajustables. Estos parámetros fueron determinados para cada temperatura de medición estudiada, utilizando mínimos cuadrados. Los

parámetros encontrados se reportan en la Tabla 2. La línea que une los puntos de la grafica reportada en la Figura 3 corresponden a valores calculados con la ecuación de Redlich-Kister.

Tabla 2. Parámetros de la ecuación de Redlich-Kister para los volúmenes molares en exceso del sistema binario agua (1) + TEA (2).

| $T/^{\circ}\text{C}$ | A_0 | A_1 | A_2 | A_3 | σ |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|----------|
| 20 | -3.6063 | -2.8193 | -0.9595 | 0.2132 | 0.0130 |
| 25 | -3.5848 | -2.5946 | -1.0248 | 0.2413 | 0.0114 |
| 30 | -3.5082 | -2.3465 | -0.9986 | -0.0049 | 0.0118 |
| 35 | -3.4248 | -2.3786 | -1.0517 | 0.3253 | 0.0097 |
| 40 | -3.3257 | -2.2629 | -1.0386 | 0.2465 | 0.0100 |
| 45 | -3.2276 | -2.1252 | -0.9981 | 0.1007 | 0.0099 |
| 50 | -3.1492 | -2.1085 | -0.9859 | 0.2057 | 0.0108 |
| 55 | -3.0696 | -2.0351 | -0.9323 | 0.2355 | 0.0150 |
| 60 | -2.9918 | -1.9980 | -0.9340 | 0.3031 | 0.0202 |

Las viscosidades dinámicas del sistema binario agua + TEA se encuentran reportados en la Tabla 3 y se encuentran graficados en Figura 4. La magnitud de la viscosidad disminuye conforme la temperatura aumenta y aumenta conforme la composición del compuesto mas viscosos (TEA) aumenta en la mezcla binaria.

Tabla 3. Viscosidades dinámicas de la mezcla binaria agua (1) + trietanolamina (2) de 30 a 60 °C.

| x_1 | $T/^{\circ}\text{C}$ | | | |
|--------|--------------------------------|--------|--------|--------|
| | 30 | 40 | 50 | 60 |
| | $\eta/\text{mPa}\cdot\text{s}$ | | | |
| 0.0000 | 405.1 | 195.2 | 104.3 | 61.51 |
| 0.2065 | 286.8 | 149.6 | 79.84 | 46.94 |
| 0.3098 | 229.8 | 121.9 | 67.56 | 39.91 |
| 0.4029 | 184.2 | 98.79 | 54.39 | 32.03 |
| 0.5015 | 142.8 | 73.16 | 41.58 | 24.98 |
| 0.6009 | 94.60 | 55.90 | 31.51 | 19.49 |
| 0.7003 | 51.91 | 29.41 | 16.42 | 11.79 |
| 0.8009 | 26.86 | 16.53 | 10.97 | 7.571 |
| 0.8994 | 6.533 | 6.667 | 3.482 | 2.634 |
| 1.0000 | 0.7929 | 0.6571 | 0.5521 | 0.4712 |

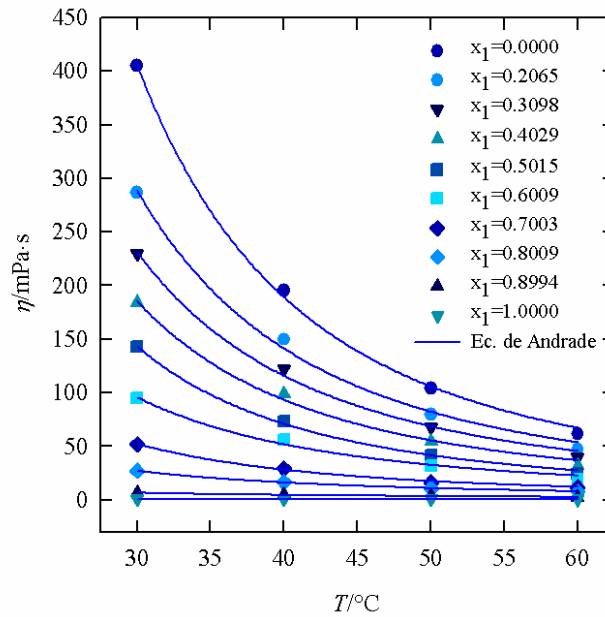


Figura 4. Viscosidades dinámicas del sistema agua + TEA a diferentes composiciones.

Las desviaciones de viscosidad se calcularon de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\Delta\eta = \eta - (x_1\eta_1 + x_2\eta_2) \quad (3)$$

donde η es la viscosidad de la mezcla, η_1 y η_2 son las viscosidades de los fluidos puros a la misma temperatura y presión.

Las desviaciones de viscosidad se encuentran graficadas en la figura 4, como se puede observar las desviaciones son negativas y su valor absoluto disminuye conforme aumenta la temperatura. Para correlacionar estas desviaciones se utilizó una expansión similar a la ecuación 2, para diferenciar los parámetros ajustables se utilizó la letra B y sus valores para las diferentes temperaturas se reportan en la Tabla 4.

Tabla 4. Parámetros de la ecuación de Redlich-Kister para el caso de las desviaciones de viscosidad de la mezcla binaria agua (1) + trietanolamina (2).

| $T/^{\circ}\text{C}$ | B_0 | B_1 | B_2 | B_3 | σ |
|----------------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|
| 30 | -254.4966 | -123.5384 | -91.3898 | 43.6356 | 2.78 |
| 40 | -91.9125 | -79.9779 | 3.6874 | -42.4555 | 2.05 |
| 50 | -40.8645 | -51.9339 | -10.7441 | 19.3260 | 1.34 |
| 60 | -22.1198 | -16.8293 | -1.1128 | -10.1172 | 0.60 |

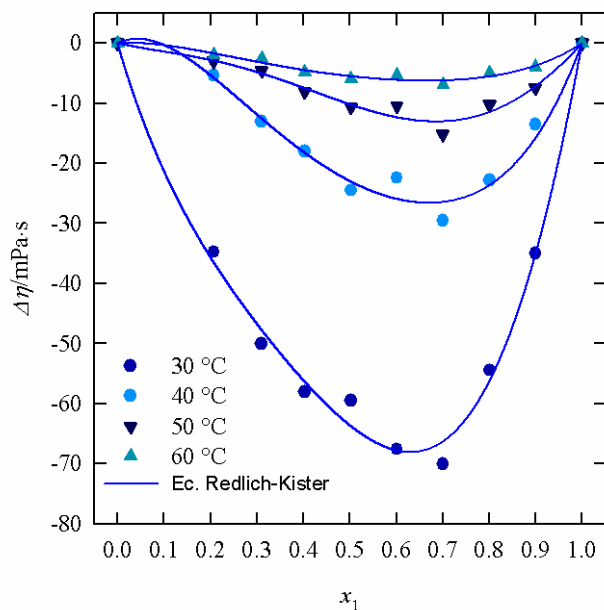


Figura 4. Desviaciones de viscosidad del sistema agua + TEA a diferentes temperaturas.

4. Conclusiones

En este trabajo se midieron las densidades y viscosidades de la mezcla binaria agua (1) + TEA (2) en el intervalo de temperatura de 293.15 a 333.15 K. Se calcularon y correlacionaron las propiedades de mezclado para ambas propiedades. Ambas propiedades de mezclado fueron negativas en todo el intervalo de temperatura estudiado.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen al IPN y CONACYT por el apoyo recibido.

6. Referencias

- [1] Cunningham, W. P. y Cunningham, M. A.. Principles of Enviromental Science. 4th Ed. Mc. Graw-Hill, 2008.
- [2] Globalization, Transport, and the Environment. OECD Publishing, 2010
- [3] Alvarez, E.; Gómez-Díaz, D.; La Rubia, M.D.; Navaza. J.M. Densities and viscosities of aqueous ternary mixtures of 2-(methylamino)ethanol and 2-(ethylamino)ethanol with diethanolamine, triethanolamine, n-

methyldiethanolamine, or 2-amino-1-methyl-1-propanol from 298.15 to 323.15 K. *J. Chem. Eng. Data*, **51**, 2006, 955-962.

- [4] Rebolledo-Libreros, M.E.; Trejo, A. Density and Viscosity of aqueous blends of three alkanolamines: *n*-methyldiethanolamine, diethanolamine, and 2-amino-2-methyl-1-propanol in the Range of (303 to 343) K. *J. Chem. Eng. Data*, **51**, 2006, 702-707
- [5] Hawrylak, B.; Burke, S.E.; R. Palepu. Partial Molar and excess volumes and adiabatic compressibilities of binary mixtures of ethanolamines with Water. *J. Solution Chem.* **29**, 2000, 575-594.
- [6] Redlich, O.; Kister, A. T. Thermodynamics of Nonelectrolyte Solutions. Algebraic Representation of Thermodynamic Properties and the Classification of Solutions. *Ind. Eng. Chem.* **1948**, *40*, 345-348.