



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

CONCENTRACIÓN MICELAR CRÍTICA DE BROMUROS DE OCTILTRIMETILAMONIO Y DECILTRIMETILAMONIO EN AGUA Y EN SOLUCIONES ACUOSAS DE 1,2- PROPANODIOL A 298,15K

PAOLA ANDREA ESCAMILLA SÁNCHEZ

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias, Departamento de Química

Bogotá, Colombia

2015

CONCENTRACIÓN MICELAR CRÍTICA DE BROMUROS DE OCTILTRIMETILAMONIO Y DECILTRIMETILAMONIO EN AGUA Y EN SOLUCIONES ACUOSAS DE 1,2- PROPANODIOL A 298,15K

PAOLA ANDREA ESCAMILLA SÁNCHEZ

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ciencias- Química

Directora:

Profesora Carmen María Romero Isaza

Línea de Investigación: Termodinámica

Grupo de Investigación: Termodinámica Clásica

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias, Departamento de Química

Bogotá, Colombia

2015

Dedicatorias

A mi amado padre Celestial, por su infinito amor y apoyo, a mi maestro y amigo Jesucristo mi Señor y Salvador. Su amor, respaldo y apoyo me acompañan siempre.

A mis padres Gloria Sánchez y Miguel Antonio Escamilla Gómez, y a mi hermano Oscar Escamilla Sánchez. Por el apoyo y amor que me brindan, es nuestro fruto de sacrificios y perseverancia.

En un mundo un poco triste carente de bondad y amor un rayo de luz subsiste en lo profundo de nuestro corazón, mientras tenemos esperanza de mejorar la humanidad con actos altruistas y menos egoístas.

Agradecimientos

A mi Señor, amigo y maestro Jesucristo, gracias a su inagotable amor, apoyo, paciencia y misericordia he podido terminar este hermoso trabajo. Gracias por cada prueba porque sin ellas no hubiera crecido como persona y conocido gente maravillosa.

A mis padres Gloria Sánchez y Miguel Antonio Escamilla, por su amor, respaldo y paciencia. A mi hermano y amigo Oscar Javier Escamilla Sánchez, por sus consejos y amor.

Al Profesor Luis H. Blanco Castañeda, por su apoyo y confianza para este trabajo. Gran ser humano y docente quien me enseñó la humildad, el autoaprendizaje, a no desfallecer y siempre mantener la esperanza y ante todo siempre estar dispuesta a ayudar al que lo necesita. Deja una huella grande para el que tuvo la alegría de conocerlo.

A mi directora de tesis Profesora Carmen María Romero Isaza, por su apoyo en todo mi proceso. Mil gracias por la infinita paciencia, confianza, dedicación y las enseñanzas que fortalecieron mis conocimientos para construir mi camino profesional. Gracias por apoyarme en los momentos más difíciles, en mi vida académica y personal. Dios la bendiga siempre.

A mis amigas Tatiana Morales y Jackelin Guavita, por todos estos años de amistad compartiendo alegrías, tristezas, triunfos y derrotas, aprendiendo juntas en la escuela de la vida. A mi amiga Piedad Serna, por su apoyo, amistad, oraciones, consejos y por todo el amor de madre que me ha brindado. A mí querida Yamile Cuevas por su hermosa amistad, compañía y risas. A Diana Lillo por su apoyo y cariño durante estos años. Que bendición es haberlas conocido.

A mi amigo y profesor Isidro Gutierrez por su amistad, consejos y apoyo. Mil gracias por enseñarme que lo más importante es la humildad y luchar hasta el final.

A mi compañero de laboratorio Juan Miguel Arias, gracias por la amistad, consejos, apoyo y el estar siempre dispuesto a ayudarme. El mundo perdió un gran profesional y excelente persona. Mil gracias desde donde estés.

A mi amigo y doctor Juan Sebastián Abella por compartir sus conocimientos los cuales fueron fundamentales para finalizar este trabajo. Gracias por el optimismo, alegría y ese gran corazón.

A mi compañera de laboratorio Yadhi Patricia Cruz por los consejos académicos y colaboración durante el proceso.

Al Laboratorio de Investigaciones Básicas, a la Universidad Nacional de Colombia y a todas las personas que contribuyeron con el desarrollo de este trabajo.

Resumen

En este trabajo se estudió el efecto de la temperatura sobre las propiedades volumétricas, compresibilidad y la tensión superficial de dos reconocidos surfactantes, el bromuro de octiltrimetilamonio (BOTA) y el bromuro de deciltrimetilamonio (BDETA) en presencia de 1,2-propanodiol en función de la concentración de soluto.

Para esto, se hicieron medidas de densidad, velocidad del sonido y tensión superficial en el rango de temperaturas entre 293,15 y 308,15 K.

Las medidas de densidad y velocidad del sonido en función de concentración a cada temperatura se efectuaron utilizando un densímetro Anton Paar DSA-5000. Las medidas de densidad se utilizaron para determinar los volúmenes molares aparentes de las soluciones y para obtener por extrapolación, los volúmenes molares parciales a dilución infinita. Las medidas de velocidad del sonido se usaron para determinar las compresibilidades adiabáticas y las compresibilidades adiabáticas molares aparentes de las sales en las soluciones acuosas y para obtener por extrapolación la compresibilidad molar parcial a dilución infinita. Las medidas de tensión superficial se hicieron en el tensiómetro LAUDA TVT-2 el cual permite la determinación directa de la tensión superficial de las soluciones a las temperaturas consideradas. A partir de los datos experimentales se calcularon las concentraciones superficiales de exceso.

Con los resultados de velocidad del sonido, compresibilidad y tensión superficial se determinó la concentración micelar crítica, Se encontró que en todos los sistemas estudiados, la concentración micelar crítica aumenta a medida que aumenta la concentración del 1,2-propanodiol mientras que no se observa una variación definida con temperatura en el rango considerado.

Los resultados obtenidos acerca de las propiedades fisicoquímicas de las soluciones acuosas de los surfactantes en presencia del 1,2-propanodiol son novedosos y no están disponibles en la literatura.

Los resultados se analizaron en términos del efecto de la temperatura sobre las propiedades de los surfactantes en solución acuosa y del efecto del 1,2-propanodiol

usado como cosolvente. En el rango de temperatura considerado, la concentración micelar crítica no presenta una dependencia con la concentración de diol. Los comportamientos observados para el volumen, velocidad del sonido, compresibilidad y tensión superficial de las soluciones se interpretan en términos de las interacciones soluto-soluto y soluto-solvente.

La concentración micelar crítica del bromuro de octiltrimetilamonio y bromuro de deciltrimetilamonio se incrementa a medida que aumenta la concentración del 1,2-propanodiol, lo cual es consecuencia del carácter hidrofílico del diol.

Palabras clave: bromuro de octiltrimetilamonio, bromuro de deciltrimetilamonio, 1,2-propanodiol, concentración micelar crítica, velocidad del sonido, volumen molar parcial, compresibilidad, tensión superficial.

Abstract

In this work the effect of temperature on volumetric properties, compressibility and surface tension of two renowned surfactants, octyltrimethylammonium bromide (OTAB) and decyltrimethylammonium bromide (DETAB) in the presence of 1,2-propanediol was studied as a function solute concentration.

Measurements of density, sound velocity and surface tension in the temperature range between 293.15 and 308.15 K were performed. Measurements of density and sound velocity as a function of concentration at each temperature were made using a densimeter Anton Paar DSA-5000. Density measurements were used to determine apparent molar volumes of the salts in the aqueous solutions and through extrapolation, partial molar volumes at infinite dilution. The sound velocity measurements are used to determine the adiabatic and the apparent molar adiabatic compressibility and by extrapolation, the partial molar compressibility at infinite dilution. The surface tension measurements were made in TVT-2 LAUDA tensiometer which allows direct determination of the surface tension of solutions at the temperatures considered. From the experimental data, surface excess concentrations were calculated.

With the results of sound speed, compressibility and surface tension, critical micelle concentration was determined. For both salts, the critical micelle concentration increases as the concentration of 1,2-propanediol becomes larger while it is not observed changes with the temperature in the range considered.

The data regarding the physicochemical properties of aqueous solutions of the surfactant in the presence of 1,2-propanediol are novel and are not available in the literature. The results were analyzed in terms of the effect of temperature on the properties of surfactants in aqueous solution and the effect of the 1,2-propanediol used as cosolvent. In the temperature range considered, the critical micelle concentration no dependence with diol concentration. The behavior observed for volume, speed of sound, compressibility and surface tension of the solutions are interpreted in terms of solute-solute interactions and solute-solvent.

The critical micelle concentration octyltrimethylammonium bromide and decyltrimethylammonium bromide increases with increasing the concentration of 1,2-propanediol, which is a consequence of the hydrophilicity of 1,2-propanediol.

Keywords: octyltrimethylammonium bromide, decyltrimethylammonium bromide, 1,2-propanediol, critical micellar concentration, speed of sound, partial molar volume, compressibility, surface tension.

Contenido

	<i>Pág.</i>
Resumen	7
Lista de figuras	13
Lista de tablas	15
Lista de Símbolos y abreviaturas	16
Introducción	18
1. Aspectos teóricos	21
1.1 Surfactantes	21
1.2 Formación de micelas en solución acuosa	24
1.3 Estructura micelar	27
1.3.1 El parámetro de empaquetamiento, forma y tamaño micelar	27
1.3.2 Agregación micelar.....	30
1.4 Factores que afectan la CMC	31
1.4.1 Estructura del surfactante	31
1.4.2 Efecto de la adición de un tercer componente	32
1.4.3 Temperatura	33
1.4.4 Presión.....	33
1.4.5 PH.....	34
1.5 Bromuros de n-alkiltrimetilamonio	34
1.5.1 CMC de bromuros de n-alkiltrimetilamonio	34
1.5.2 Efecto de la presencia de alcoholes en la CMC de los bromuros de n-alkiltrimetilamonio.....	36
1.5.3 Volúmenes molares parciales de bromuros de n-alkiltrimetilamonio.....	38
1.5.4 Propiedades superficiales de bromuros de n-alkiltrimetilamonio.....	40
1.5.5 Métodos para determinar CMC.....	41
2. Sistemas y condiciones experimentales	43
2.1 Reactivos.....	43

2.2 Preparación de soluciones.....	43
2.3 Determinación de la densidad y velocidad del sonido.....	43
2.4 Determinación de la tensión superficial.....	45
2.5 Determinación del tiempo de equilibrio.....	48
3. Propiedades volumétricas y compresibilidades de soluciones acuosas de bromuros de octiltrimetilamonio y deciltrimetilamonio en presencia de 1,2-propanodiol.....	49
3.1 Determinación de propiedades volumétricas y de la compresibilidad adiabática y aparente	49
3.2 Volumen molar aparente, volumen molar parcial y compresibilidades de soluciones acuosas de bromuros octiltrimetilamonio y deciltrimetilamonio en presencia de 1,2-propanodiol.....	50
3.2.1 Volúmenes molares aparentes.....	50
3.2.2 Volúmenes molares parciales a dilución infinita	52
3.2.3 Compresibilidad adiabática molar aparente.....	55
4. Propiedades superficiales de soluciones acuosas de bromuros octiltrimetilamonio y deciltrimetilamonio en presencia de 1,2-propanodiol.....	58
4.1 Determinación de las propiedades superficiales.....	58
4.2 Exceso superficial	60
5. Concentración micelar crítica de soluciones acuosas de bromuros de octiltrimetilamonio y deciltrimetilamonio en presencia de 1,2-propanodiol.....	64
6. Conclusiones y recomendaciones.....	73
6.1 Conclusiones.....	73
6.2 Recomendaciones.....	75
Anexo A: Determinación de la tensión superficial, densidad y velocidad del sonido para determinar tiempos de equilibrio del Bromuro deciltrimetilamonio a 298.15K.....	76
Anexo B Determinación de las incertidumbres de las medidas experimentales	77
Anexo C Densidad y volumen molar aparente para las soluciones de BOTA y BDETA en agua y mezclas 1,2-propanodiol.....	79
Anexo D Velocidad del sonido, compresibilidad adiabática y compresibilidad adiabática molar aparente para las soluciones de BOTA y BDETA en agua y mezclas 1,2-propanodiol	87
Anexo E. Tensión superficial, concentración de exceso superficial y área superficial para las soluciones de BOTA y BDETA en agua y mezclas 1,2-propanodiol.....	103
Bibliografía.....	111

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Orientación de los surfactantes en la interfase.....	21
Figura 2. Representación de los diferentes surfactante.....	22
Figura 3. Ejemplos de surfactantes aniónicos.....	23
Figura 4. Ejemplos de surfactantes catiónicos.....	23
Figura 5. Ejemplos de surfactantes no iónicos.....	24
Figura 6. Ejemplos de surfactantes anfóteros.....	24
Figura 7. Modelos micelares propuestos McBain y Hartley	25
Figura 8. Representación esquemática de la CMC de acuerdo a algunas propiedades físicas.....	27
Figura 9. Geometría esférica de una micela en medio acuoso.....	27
Figura10. Algunas estructuras de micelas en medios acuosos: esférica, cilíndrica hexagonal, cubica y lamelar.....	29
Figura 11. Imágenes de una micela de bromuro de deciltrimetilamonio. La imagen izquierda muestra a las 43 moléculas de surfactante que conforman la micela. La imagen superior derecha muestra a la micela rodeada con los contra iones y las moléculas de agua.....	30
Figura 12. Volumen molar parcial en la región premicelar de BDETA en mezclas alcohol-agua a 298,15 K	39
Figura 13. Representación esquemática del densímetro Anton Paar DSA 5000.....	45
Figura 14. Tensiómetro Lauda TVT2 y termostato Lauda E100.....	46.
Figura 15. Representación esquemática del funcionamiento del tensiómetro Lauda TVT2.....	47
Figura 16. Volumen molar aparente de BOTA en función de la concentración en solución acuosa y en mezclas 1,2-propanodiol a diferentes temperaturas.....	51
Figura 17. Volumen molar aparente de BDETA en función de la concentración en soluciones acuosa y en mezclas 1,2-propanodiol a diferentes temperaturas.....	51.
Figura 18. Volumen molar parcial a dilución infinita de BOTA y BDETA en función de la temperatura en soluciones acuosa y en mezclas 1,2-propanodiol a diferentes temperaturas.....	54
Figura 19. Velocidad del sonido (v) y compresibilidad adiabática (K_S) de soluciones acuosas de BOTA y BDETA y en función de la concentración a 298,15 K.....	55
Figura 20. Compresibilidad adiabática molar aparente de BOTA en función de la concentración en soluciones acuosa y en mezclas 1,2-propanodiol a diferentes temperaturas.	57

Figura 21. Compresibilidad adiabática molar aparente de BDETA en función de la concentración en soluciones acuosa y en mezclas 1,2-propanodiol a diferentes temperaturas.....	57
Figura 22. Tensión superficial de soluciones de BOTA y BDETA en agua y en mezclas 1,2-propanodiol-agua en función de la concentración a 293,15 y 303,15K.....	58
Figura 23. Exceso superficial de soluciones de BOTA Y BDETA en agua y mezclas 1,2-propanodiol-agua en función de la fracción molar a 298,15K.....	61
Figura 24. Exceso superficial de soluciones de BOTA y BDETA $X_{OH}=0.02481$ 1,2-propanodiol-agua en función de la fracción molar a diferentes temperaturas.....	62
Figura 25. Área superficial de soluciones de BOTA Y BDETA $X_{OH}=0.02481$ 1,2-propanodiol-agua en función de la fracción molar a diferentes temperaturas.....	63
Figura 26 Tensión superficial (Y), velocidad del sonido (v) y compresibilidad adiabática (K_S) de soluciones acuosas de BOTA en función de la concentración a 298,15 K.....	63
Figura 27. Tensión superficial (Y), velocidad del sonido (v) y compresibilidad adiabática (K_S) de soluciones de BOTA en mezclas 1,2-propanodiol-agua ($X_{OH}=0,02481$ del alcohol), en función de la concentración a 298,15 K.....	64
Figura 28. Tensión superficial (Y), velocidad del sonido (v) y compresibilidad adiabática (K_S) de soluciones de BOTA en mezclas 1,2-propanodiol-agua ($X_{OH}=0,03489$), en función de la concentración a 298,15 K.....	65
Figura 29 Tensión superficial (Y), velocidad del sonido (v) y compresibilidad adiabática (K_S) de soluciones acuosas de BDETA en función de la concentración a 298,15 K.....	66
Figura 30 Tensión superficial (Y), velocidad del sonido (v) y compresibilidad adiabática (K_S) de soluciones de BDETA en mezclas 1,2-propanodiol-agua $X_{OH}=0,02481$ del alcohol, en función de la concentración a 298,15 K.....	66
Figura 31. Tensión superficial (Y), velocidad del sonido (v) y compresibilidad adiabática (K_S) de soluciones de BDETA en mezclas agua-1,2-propanodiol ($X_{OH}=0,03466$ del alcohol), en función de la concentración a 298,15 K.....	67
Figura 32 .Tensión superficial (Y), velocidad del sonido (v) y compresibilidad adiabática (K_S) de soluciones de BDETA en mezclas agua-1,2-propanodiol ($X_{OH}=0,04963$ del alcohol), en función de la concentración a 298,15 K.....	68

LISTA DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Parámetro crítico de empaquetamiento sobre la geometría de una micela en medios acuosos.	28
Tabla 2	Concentración micelar crítica del bromuro deciltrimetilamonio en agua bajo diferentes presiones a 298,15 K	34
Tabla 3	Valores de la CMC de bromuros n-alkiltrimetilamonio en agua a 298,15K	35
Tabla 4	Concentración micelar crítica del bromuro deciltrimetilamonio en soluciones acuosas a diferentes temperaturas	36
Tabla 5	Efecto de algunos alcoholes en la CMC de soluciones acuosas de bromuros n-alkiltrimetilamonio	37
Tabla 6	Volumen molar parcial de bromuros de alkiltrimetilamonio extrapolados a dilución infinita en la región premicelar (V_1) y en la región posmicelar (V_m) en agua a diferentes temperaturas	38
Tabla 7	Volumen molar parcial en la región premicelar de BDETA en mezclas alcohol-agua a 298,15 K	39
Tabla 8	Volumen molar parcial a dilución infinita de BOTA en soluciones acuosa y en mezclas 1,2-propanodiol a diferentes temperaturas.	53
Tabla 9	Volumen molar parcial a dilución infinita de BDETA en soluciones acuosa y en mezclas 1,2-propanodiol a diferentes temperaturas.	53
Tabla 10	Expansibilidades molares parciales a dilución infinita de soluciones de BOTA y BDETA en agua y mezclas 1,2-propanodiol.	54
Tabla 11	Pendiente límite de la curva de tensión superficial vs fracción molar ($\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$) de BOTA.	60
Tabla 12	Pendiente límite de la curva de tensión superficial vs fracción molar ($\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$) de BDETA.	60
Tabla 13	Valores de la concentración micelar crítica (CMC) de soluciones acuosas del Bromuro octiltrimetilamonio y en presencia de 1,2-propanodiol desde 293.15 a 308.15K	69
Tabla 14	Valores de la concentración micelar crítica (CMC) de soluciones acuosas del Bromuro deciltrimetilamonio y en presencia de 1,2-propanodiol desde 293.15 a 308.15K.	70

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI
A_{\min}	Área mínima por molécula de surfactante	m^{-2}
m	Molalidad	mol/kg
n	Número de moles	mol
R	Constante de los gases	J/mol K
T	Temperatura absoluta	K
V	Volumen total	m^3
V_g	Volumen de gota	m^3
\bar{V}_2^0	Volumen molar parcial a dilución infinita del soluto	m^3/mol
x_i	Fracción molar del componente i	-----
M	Peso molecular	mol /Kg
\bar{E}_2^0	Expansibilidad molar parcial a dilución infinita	$m^3 \cdot \text{mol}^{-1}K^{-1}$
K_s	Compresibilidad adiabática	bar^{-1}
k_{ϕ_s}	Compresibilidad adiabática molar aparente	$\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \text{bar}^{-1}$
A	Área de exceso superficial	m^{-2}
m	masa	kg

Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI
ρ	Densidad solución	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
ρ_0	Densidad solvente	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
γ	Tensión superficial	$\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$
Γ	Concentración superficial de exceso	$\text{mol} \cdot \text{m}^{-2}$
Δ	Cambio	-----

Superíndices

Superíndice	Término
<i>o</i>	Dilución infinita
<i>E</i>	Exceso

Abreviaturas

Abreviatura	Término
BOTA	Bromuro de Octiltrimetilamonio
BDeTA	Bromuro de deciltrimetilamonio
BDTA	Bromuro de dodeciltrimetilamonio
BHTA	Bromuro de hexadeciltrimetilamonio
BTBA	Bromuro de tetrabutilamonio
BTTA	Bromuro de tetradeciltrimetilamonio
CMC	Concentración micelar crítica

Introducción

Los diferentes avances en la biotecnología, nanotecnología y las industrias química y farmacéutica han aumentado el interés en las propiedades de los surfactantes en solución acuosa. Muchos estudios se han desarrollado alrededor de estos compuestos para conocer su comportamiento. Es bien sabido que la formación de micelas depende de varios factores como presión, temperatura, la naturaleza misma del surfactante y de la presencia de otros compuestos en la solución acuosa.

Las sales de amonio cuaternario son un tipo de surfactantes que ha sido estudiado durante décadas y se ha determinado su concentración micelar crítica CMC por diferentes técnicas.

Desde hace años se ha venido investigando el efecto de otras sustancias sobre las propiedades micelares de estas sales en agua. A partir de los resultados obtenidos, el interés en los sistemas surfactante-agua-alcohol ha crecido notoriamente ya que tienen aplicaciones que van desde la recuperación de petróleo, remediación ambiental, procesos de separación basados en tensoactivos, y la catálisis micelar; recientemente se han utilizado en sistemas avanzados de administración de fármacos y como microrreactores para la preparación de partículas de tamaño nanométrico.

Al inicio de los años 80 se comenzó un estudio acerca del efecto de los alcoholes sobre algunas propiedades fisicoquímicas de estos surfactantes en agua. En el caso de la concentración micelar crítica se ha encontrado que el efecto en el aumento o disminución de la CMC depende de la naturaleza del alcohol. Por otra parte su estudio es importante por la información que proporciona acerca del efecto que pueden ejercer sobre las interacciones entre los surfactantes seleccionados y el agua.

En este trabajo se estudió el efecto de la concentración de 1,2-propanodiol sobre las propiedades volumétricas, la tensión superficial y la compresibilidad de soluciones acuosas de bromuros de octiltrimetilamonio y deciltrimetilamonio en solución acuosa en el rango de temperaturas entre 293,15 y 308,15 K a intervalos de 5 K.

Las sales de amonio fueron escogidas ya que son reconocidos surfactantes que constituyen una serie en la que los bromuros de octiltrimetilamonio C_8TAB y deciltrimetilamonio $C_{10}TAB$ son compuestos asimétricos que contienen una cadena alifática y difieren entre sí en dos grupos metileno.

Como cosolvente se seleccionó el 1,2-propanediol ya que si bien hay estudios sobre el efecto de alcoholes monohidroxilados en la concentración micelar de algunas sales de amonio no hay datos en literatura sobre el efecto del 1,2-propanediol ni de otros polioles sobre las sales seleccionadas; estudios previos sugieren que la presencia de un segundo grupo hidroxilo en la molécula del cosolvente cambia el balance de las influencias hidrofóbica e hidrofílica y en consecuencia su efecto sobre la estructura del agua y la concentración micelar del surfactante.

Las determinaciones experimentales se realizaron a partir de medidas de tensión superficial, densidad y velocidad del sonido. Los resultados se utilizaron para calcular los volúmenes molares aparentes, la compresibilidad y la tensión superficial de las sales en presencia de agua y de 1,2-propanediol.

Las medidas de densidad y velocidad del sonido en función de concentración a cada temperatura se efectuaron utilizando un densímetro Anton Paar DSA-5000. Las medidas de densidad se utilizaron para determinar los volúmenes molares aparentes de las soluciones y para obtener por extrapolación, los volúmenes molares parciales a dilución infinita. Las medidas de velocidad del sonido se usaron para determinar las compresibilidades molares de los sistemas de estudio y también para obtener por extrapolación la compresibilidad molar parcial a dilución infinita. Las medidas de tensión superficial se hicieron en un tensiómetro LAUDA TVT-2 el cual permite la determinación directa de la tensión superficial de las soluciones a las temperaturas consideradas en este trabajo.

Con los resultados de velocidad del sonido, compresibilidad y tensión superficial se determinó la concentración micelar crítica, Se encontró que en todos los sistemas estudiados, la concentración micelar crítica aumenta a medida que aumenta la

concentración del 1,2-propanodiol mientras que no se observa una variación definida con temperatura en el rango considerado.

Los resultados obtenidos acerca del efecto del 1,2-propanodiol sobre las propiedades fisicoquímicas de las soluciones acuosas de los surfactantes son novedosos y no están disponibles en la literatura. Los resultados se analizaron en términos del efecto de la temperatura sobre las propiedades de los surfactantes en solución acuosa y del efecto del 1,2-propanodiol usado como cosolvente. Los resultados se interpretan en términos de las interacciones soluto-soluto y soluto-solvente.

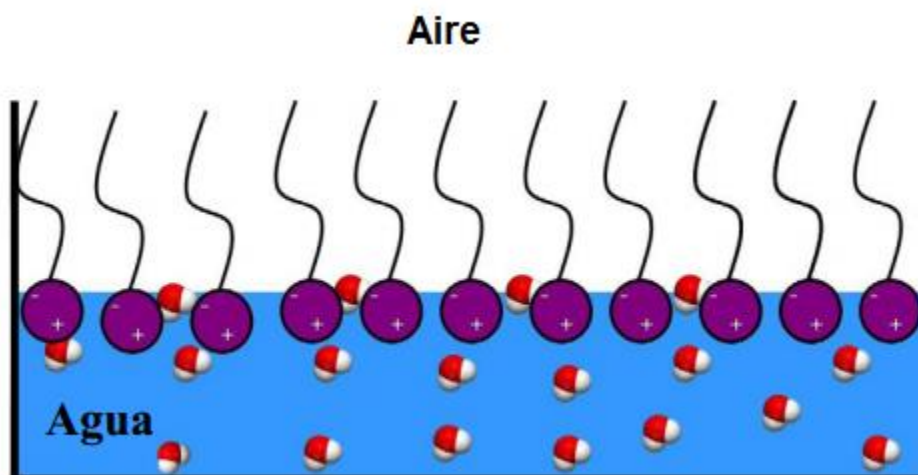
Este trabajo hace parte de la línea de investigación “Estudio fisicoquímico de interacciones en solución” del Grupo de Termodinámica Clásica de la Universidad Nacional de Colombia, el cual es dirigido por la profesora Carmen María Romero y contribuirá a esclarecer el efecto de alcoholes en soluciones acuosas de solutos hidrofóbicos y de las interacciones soluto-agua.

Aspectos Teóricos

1.1 Surfactantes

Los surfactantes o agentes superficiales son moléculas anfífilas que poseen un grupo polar y una o más cadenas apolares como se aprecia en la Figura 1. En la parte polar se encuentra la cabeza del surfactante, la cual presenta afinidad hacia el agua y es, por lo tanto, hidrofílica. La cola del surfactante es apolar y por ser hidrofóbica, presenta poca afinidad por el agua. Normalmente está constituida por una o dos cadenas hidrocarbonadas y su longitud oscila entre 8 y 18 átomos de carbono. Debido a su estructura, al contacto con el agua las moléculas individuales se orientan de tal modo que la fracción polar de la molécula se orienta hacia el seno de la solución, mientras que la región no polar se orienta hacia la interfase líquido-aire produciendo una acumulación de las moléculas de surfactante en la interfase [1]–[4].

Figura 1 Orientación de los surfactantes en la interfase [5] .



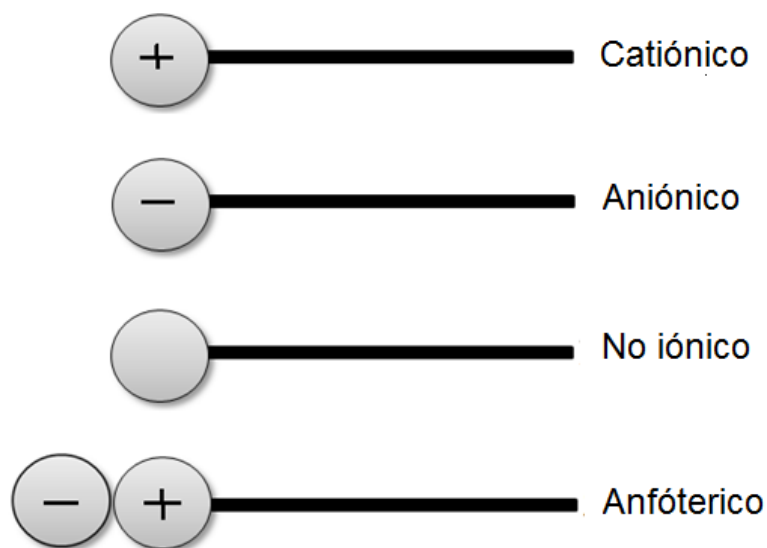
La solubilidad de los surfactantes depende principalmente del balance entre las interacciones de las regiones hidrofílicas e hidrofóbicas, así solo puede disolverse una cantidad determinada de surfactante en su forma monomérica. Al aumentar la concentración se alcanza un límite debido a la agregación de un determinado número de

moléculas de surfactante o monómero que constituye una estructura única denominada micela [2] . Estos agregados se forman de modo que las regiones apolares se orientan hacia el interior del agregado mientras que las cabezas polares se orientan hacia el exterior, en contacto con el agua.

Los surfactantes, al ser adicionados al agua disminuyen de manera importante su tensión superficial y tienden a concentrarse en la interfase líquido–aire. Debido a este efecto son utilizadas como espumantes, detergentes, emulsionantes, dispersantes y humectantes[6]-[[7]. En las últimas décadas se ha extendido la infinidad de aplicaciones de surfactantes en áreas de alta tecnología como electrónica, grabación magnética, biotecnología, microelectrónica y la investigación viral [7].

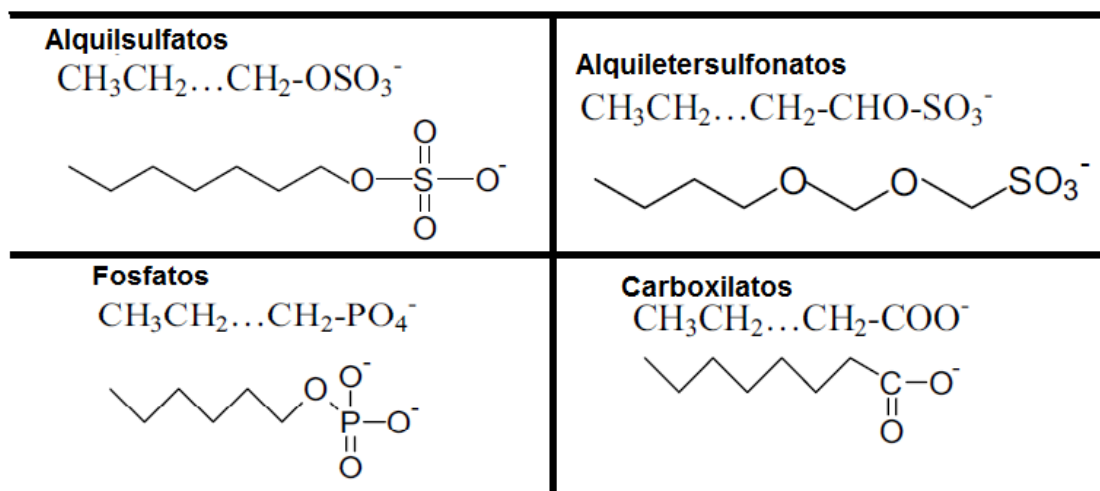
Dependiendo de la naturaleza de la parte polar los surfactantes se clasifican en cuatro categorías[3], [8]. En la Figura 2 se observa la representación de los distintos tipos de surfactantes.

Figura 2 Representación de los diferentes surfactantes.



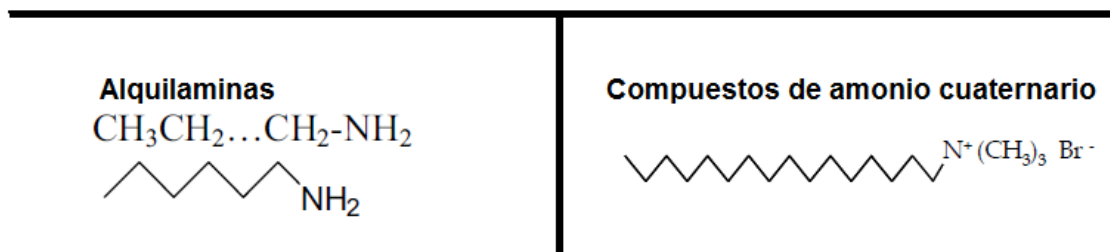
- ❖ **Surfactantes aniónicos.** El grupo polar de la molécula lleva una carga negativa. Son de bajo costo y son los más utilizados en la industria. La parte hidrofílica de las moléculas puede ser un grupo carboxilato, sulfato, sulfonato o fosfato [6], [9]. Algunos ejemplos se muestran en la (figura 3).

Figura 3 Ejemplos de surfactantes aniónicos.



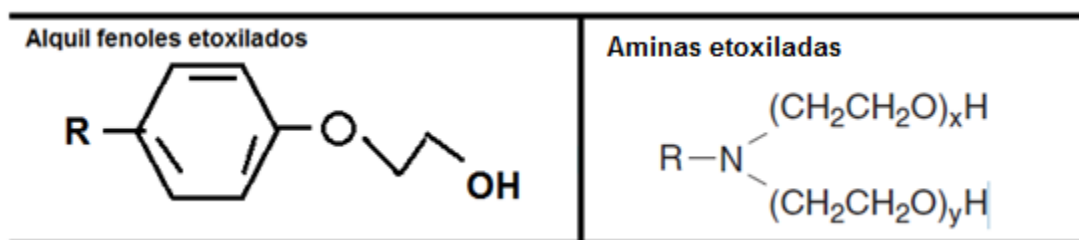
❖ Surfactantes catiónicos. El grupo polar de la molécula lleva una carga positiva. Dentro de ellos se encuentran las sales de aminas primarias, secundarias, terciarias y las sales de amonio cuaternario. Son utilizados como agentes antisépticos y en la industria de cosméticos, fungicidas, germicidas, suavizantes y acondicionadores para el cabello, y en un gran número de procesos químicos [6].

❖ **Figura 4.** Ejemplos de surfactantes catiónicos.



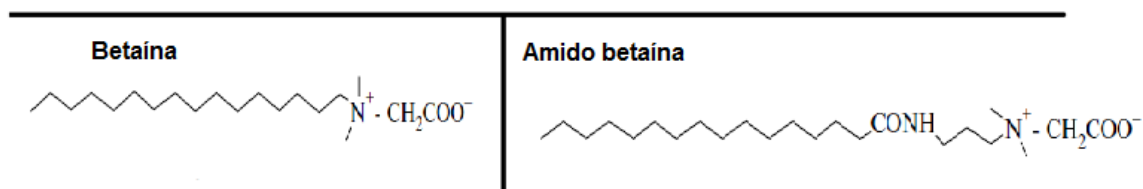
❖ Surfactantes no iónicos. El grupo polar no lleva una carga neta.

Figura 5. Ejemplos de surfactantes no iónicos.



- ❖ Surfactantes anfotéricos o zwitteriónicos. Las moléculas tienen grupos con cargas positivas y negativas, como las sulfobetainas. Muestran una buena compatibilidad con otros tensoactivos.

Figura 6. Ejemplos de surfactantes anfóteros.



1.2 Formación de micelas en solución acuosa

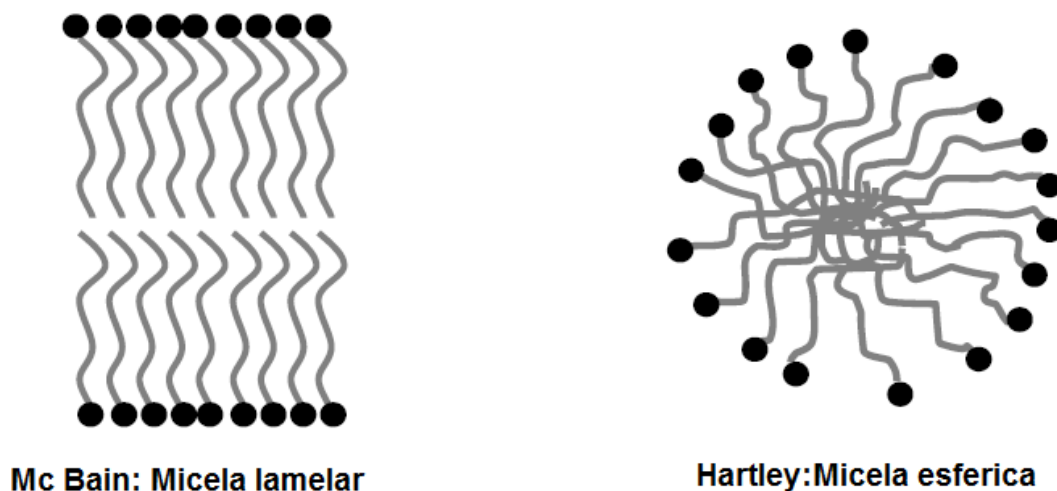
Los surfactantes en soluciones acuosas muy diluidas se encuentran de forma monomérica. Cuando se aumenta su concentración en la solución, las moléculas individuales comienzan a agregarse de un modo reversible para formar estructuras llamadas micelas. Las micelas consisten en un núcleo formado por los residuos apolares en el que se minimiza la interacción con el medio acuoso pues los grupos polares, que son estos grupos los que interactúan predominantemente con agua, se orientan hacia el exterior. [10]–[14].

La formación de los agregados micelares es un ejemplo de auto-organización y es consecuencia de la interacción desfavorable entre las cadenas apolares y el agua, es decir a la hidratación hidrofóbica, lo que produce una distorsión en la estructura del solvente y una reducción de la energía libre de la solución. Cuando en un sistema acuoso, la distorsión de la estructura del solvente es poca, es debido a que la cadena

hidrofóbica del surfactante es corta, por lo cual la magnitud de la fuerza responsable de la interacción es pequeña y en consecuencia hay poca tendencia en la formación de micelas [7].

La palabra micela fue introducida por primera vez en el año 1913 por McBain; años después en 1936 Hartley, establece el primer modelo geométrico para representar las características estructurales de las micelas. Se ha encontrado que durante el proceso de agregación se pueden formar agregados globulares o alargados. La Figura 7 ilustra distintos tipos de micelas[15], [16].

Figura 7. Modelos micelares propuestos por McBain y Hartley [16].



La formación micelar se puede presentar tanto en medios acuosos como en presencia de otros solventes. Por su importancia en distintos procesos industriales y biológicos, la gran mayoría de estudios de agregados micelares se realizan en medios acuosos.

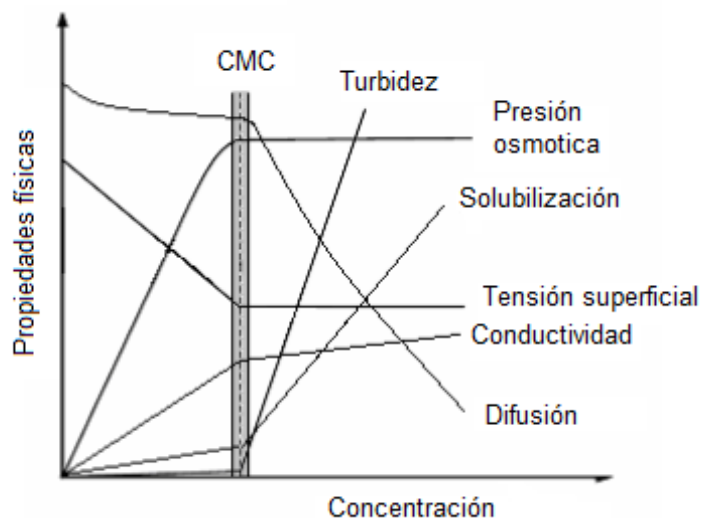
Cuando se forman micelas se aprecia que varias propiedades físicas del sistema como la tensión superficial, la intensidad de la luz dispersada, la conductividad o la velocidad de la luz sufren un cambio brusco a una concentración característica que se denomina concentración micelar crítica (CMC). Esta concentración es característica de la naturaleza del surfactante y en especial del balance entre la interacción hidrofóbica entre el agua y las regiones apolares del surfactante y de la hidratación hidrofílica de sus grupos polares así como los efectos electrostáticos repulsivos que se presentan cuando

hay iones involucrados. En el proceso de agregación de las moléculas de surfactante hay un equilibrio dinámico de asociación-disociación [9], [17]–[19].

La CMC es la forma más simple de caracterizar un surfactante. Por debajo de la CMC, es posible que se formen agregados generalmente dímeros o trímeros, aunque para surfactantes iónicos la repulsión electrostática se opondría a la formación de tales agregados; poca evidencia indica la presencia de esos agregados premicelares [19], [20]. Los numerosos estudios realizados no muestran pruebas concluyentes de la existencia de agregados premicelares excepto en soluciones de detergentes iónicos con cadenas superiores a 16 [20] aunque otros estudios contradicen esa información diciendo que si hay formación de estos agregados en la región premicelar [21].

La concentración micelar crítica es característica de la naturaleza del surfactante. Experimentalmente el valor de la CMC puede ser determinada por el cambio de propiedades fisicoquímicas de la solución al ir incrementando la concentración del surfactante, ya que las propiedades de la solución muestran un cambio abrupto al alcanzar la CMC [9], [22]. En la figura 8 se muestra la representación gráfica de la variación de propiedades fisicoquímicas como presión osmótica, turbidez, solubilidad, tensión superficial, conductividad y difusión en función de la concentración; puede observarse claramente el cambio abrupto en las propiedades con la concentración así como el punto de intersección encontrado que corresponde a la CMC [7]–[9], [19], [23]–[25]. Se observa que los cambios observados en las diferentes propiedades físicas, no suceden exactamente a la misma concentración por esto algunos autores mencionan que se presenta en un rango de concentraciones. Sin embargo para varios investigadores las diferencias pueden depender de la técnica utilizada y de los diversos procedimientos gráficos utilizados posteriormente [19].

Figura 8. Representación esquemática de la CMC de acuerdo a algunas propiedades físicas [9].

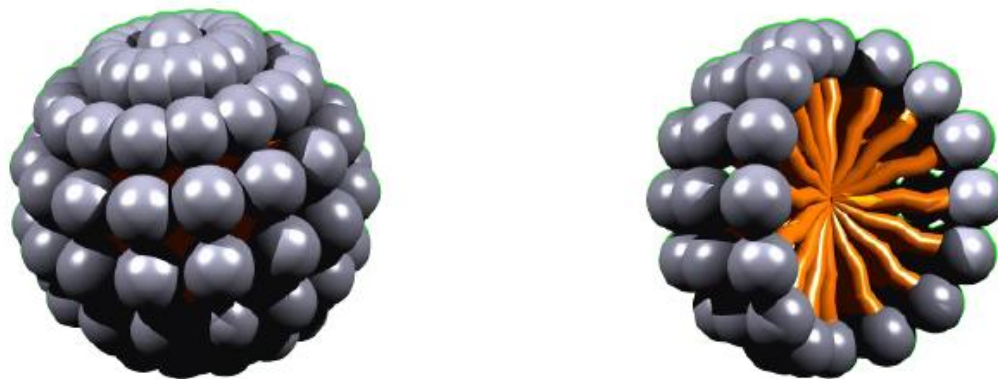


1.3 Estructura de las micelas.

1.3.1 El parámetro de empaquetamiento, forma y tamaño micelar

Cuando se forman micelas en medio acuoso por lo general su forma es una esfera con un núcleo de hidrocarburos y su parte externa contiene las cabezas hidrófilas (figura 9). Las micelas más comunes de forma esférica tienen un número de asociación generalmente comprendido entre 50 y 100 moléculas de surfactante. El interior de la micela, que contiene los grupos hidrófobos, tiene un radio aproximadamente igual a la longitud de la cadena hidrófoba [7], [24].

Figura 9. Geometría esférica de una micela en medio acuoso [26].



Generalmente se asume que no hay moléculas de agua en el interior de la micela, debido a que la fuerza impulsora para la formación de la micela es una reducción del contacto de la parte hidrocarbonada con el agua. De esta manera la arquitectura de una micela tiene una relación entre el volumen que ocupa la parte hidrocarbonada y la superficie micelar. Al tener en cuenta estos parámetros se puede deducir el tipo de agregado que se puede producir, micelas, microemulsiones, vesículas y bicapas. Estudios han demostrado la importancia de los factores geométricos de empaquetamiento del surfactante en las estructuras de agregados micelares. De esta manera surgió una teoría de la estructura micelar, en base a su geometría la cual ha sido desarrollada por Israelachvili, Mitchell, y Ninham (1976,1977) y Mitchell y Ninham (1981). Según ella, el parámetro de empaquetamiento (PE) se determina para caracterizar la geometría de una micela y se relaciona con tres propiedades intrínsecas de la micela que dependen de la cadena hidrocarbonada: volumen (v), longitud máxima ($l_{m\acute{a}x}$) y área transversal (a), de la siguiente manera [6], [7], [27].

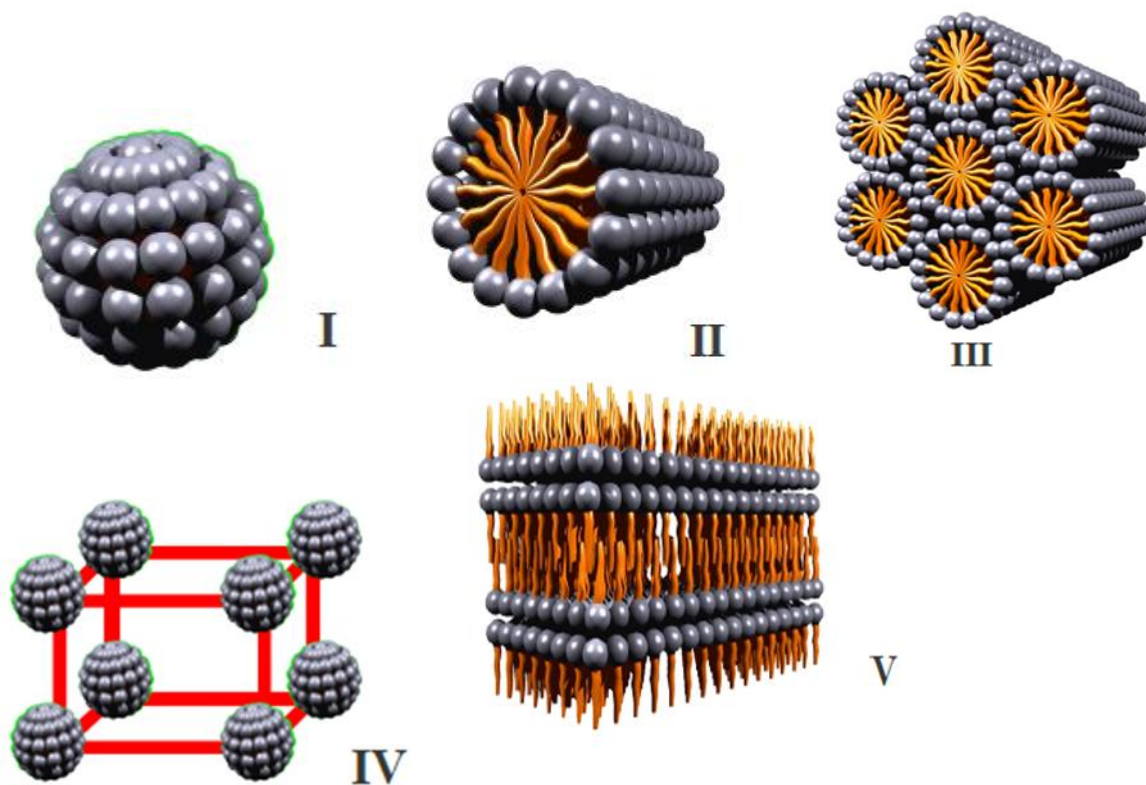
$$PE = v/l_{m\acute{a}x}a \quad (1)$$

El tamaño, forma y número de agregación de una micela está dado por el tipo de surfactante, concentración, temperatura, presión y la presencia de otras sustancias. Cualquier cambio en alguno de estos factores afecta el proceso de agregación micelar [7], [28]–[32]. La Figura 10 muestra algunas estructuras de micelas en medio acuoso: esférica, cilíndrica, hexagonal, cúbica y lamelar y en la Tabla 1 se presenta el parámetro de empaquetamiento para distintas micelas.

Tabla 1. Parámetro crítico de empaquetamiento sobre la geometría de una micela en medios acuosos [7].

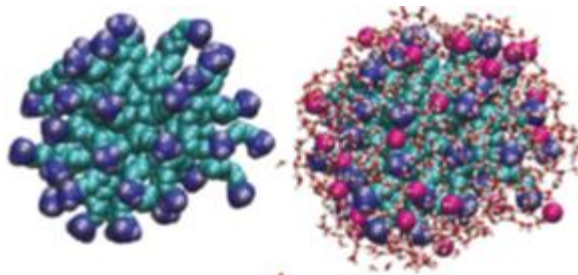
PE	Estructura de la micela
0 – 1/3	Esférica
1/3 – 1/2	Cilíndrica
1/2 – 1	Lamelar
>1	Micelas inversas

Figura 10: Algunas estructuras de micelas en medios acuosos: esférica, cilíndrica, hexagonal, cubica y lamelar [26].



El tamaño de las micelas se limita por el equilibrio de fuerzas de atracción entre la parte no polar y las fuerzas de repulsión entre los grupos de la cabeza. Para esa repulsión existe un balance, donde la interacción eléctrica con los iones de carga contraria que constituyen la capa de Stern de la doble capa eléctrica, permite que las moléculas contenidas en las micelas puedan empaquetarse de una mejor manera. En la figura 11 se muestran las imágenes de una micela de bromuro de deciltrimetilamonio, constituida por 43 moléculas de surfactante, donde se observa la forma en la que los contra iones y las moléculas de agua rodean su superficie [32].

Figura 11. Imágenes de una micela de bromuro de deciltrimetilamonio. La imagen izquierda muestra a las 43 moléculas de surfactante que conforman la micela. La imagen superior derecha muestra a la micela rodeada con los contra iones y las moléculas de agua [32].



1.3.2 Número de agregación micelar

El número de agregación (N) es el número de monómeros de surfactante que se encuentran asociados para constituir una micela. Es importante conocer este número porque da información sobre el tamaño y la geometría micelar. Para su determinación las técnicas más empleadas son la difusión de luz [33]–[36], conductividad, viscosidad y fluorescencia [37]–[40]. En general, puede considerarse que el número de agregación de los surfactantes está entre 50 y 100 monómeros por micela; esto puede cambiar por factores internos como la estructura del grupo hidrofóbico y la naturaleza del grupo hidrofílico, y de factores externos como temperatura, presión, pH, y presencia de otras sustancias. A continuación se presenta de manera resumida el efecto de estos factores [6], [7], [41]:

- Cambios en la temperatura influyen de modo distinto sobre los surfactantes iónicos y no iónicos. Un aumento de temperatura produce una pequeña disminución en el valor del número de agregación de los surfactantes iónicos y un gran incremento en la mayoría de los surfactantes no iónicos.
- La adición de una cantidad mínima de compuestos orgánicos poco solubles en agua provoca un aumento aparente en el tamaño de la micela, debido posiblemente a un efecto de solubilización más que a un incremento en el número de agregación.
- La presencia de compuestos orgánicos miscibles en agua como alcoholes, generalmente produce una disminución en el valor del número de agregación.
- El aumento de la longitud de la cadena hidrocarbonada para una serie de surfactantes homólogos produce un aumento en el valor del número de agregación.

Para una micela esférica, N es igual a la razón del volumen de una micela (V_{mic}) y el volumen de una molécula de surfactante (v) [6] :

$$N = (V_{mic}/v) = (4\pi R_{mic}^3/3v) \quad (2)$$

Donde R_{mic} es el radio de la micela. El radio de una micela esférica no puede ser mayor que la longitud de la cola de la molécula de surfactante (l_s). En las cadenas saturadas la longitud suele ser aproximadamente el 80% de su forma totalmente estirada[7]. Para calcular la longitud l_s de la cola en la molécula del surfactante en función de su número de átomos de carbono (n_c) Tanford propuso la siguiente fórmula [7], [23], [42]:

$$l_s \leq (1,50 + 1,265n_c)\text{Å} \quad (3)$$

De este modo el volumen v de una molécula de surfactante se representa:

$$v = (27,4 + 26,9n_c)\text{Å}^3 \quad (4)$$

1.4 Factores que afectan la CMC

Como se ha mencionado, son varios los factores que afectan al valor de la CMC, como son la estructura del surfactante, la presencia de cosolventes el pH y la temperatura y la presión [43], [44].

1.4.1. Estructura del surfactante

La estructura del surfactante esto es, la longitud de la cadena y naturaleza de la cabeza polar, influye en la CMC. Se han podido sacar varias conclusiones generales [45], [46]:

- La CMC disminuye a medida que aumenta el número de carbonos de la cadena hidrocarbonada del surfactante. La CMC disminuye en un factor de aproximadamente 2 para surfactantes iónicos y un factor de 3 para no iónicos, cuando se adiciona un grupo metileno a la cadena de alquilo.
- La CMC de un surfactante no iónico es generalmente más baja, que la de un surfactante iónico con la misma longitud de cadena alquilo.
- Cambios en la cadena hidrocarbonada por la adición de grupos polares, dobles enlaces o ramificaciones, producen un aumento del valor de la CMC.
- Los surfactantes catiónicos tiene CMC ligeramente más alta que los aniónicos.
- En los surfactantes iónicos la valencia del contraión tiene una gran influencia. Contraiones inorgánicos monovalentes simples dan casi la misma CMC, mientras que una

valencia superior a 2 resulta en una reducción de la CMC por un factor de aproximadamente 4.

La relación entre la longitud de la cadena del surfactante y la concentración micelar crítica es un factor crucial en la ciencia de surfactantes. La CMC disminuye logarítmicamente con el aumento del número de carbonos (N) en la cadena de una serie homóloga. Matemáticamente, esta relación se expresa por la ecuación Klevens [23], [24], [47]

$$\log cmc = A - BN \quad (5)$$

Donde A y B son constantes positivas y específicas de la serie homóloga.

1.4.2 Efecto de la adición de un tercer componente

El efecto de los pequeños compuestos orgánicos sobre la CMC de una solución acuosa de un surfactante depende de la interacción del compuesto con el segmento hidrofóbico del surfactante, la parte hidrófila del surfactante, los monómeros del surfactante que se encuentran en equilibrio con la micela y por último de su interacción con las moléculas de agua. Si las interacciones entre el compuesto y las moléculas del surfactante son energéticamente favorables aumentará la formación de micelas, provocando una disminución de la CMC. El aumento o disminución de la CMC depende de la naturaleza del aditivo y el tipo de surfactante (anionico, catiónico, no ionico, o ion dipolar)[15].

Algunos de los compuestos orgánicos más estudiados han sido los alcoholes, debido a la importancia que tienen en la preparación de microemulsiones; por esto se han realizado algunas revisiones sobre el efecto de n- alcoholes en soluciones [18], [48], [49]. Adicionar alcoholes puede influir en el comportamiento de las micelas, aumentando o disminuyendo el tamaño micelar dependiendo del carácter hidrófilo / hidrófobo del alcohol [50], [51]. Se ha encontrado que por lo general solutos hidrofóbicos, incluidos los alcoholes normales disminuyen la CMC y el efecto se incrementa notoriamente al aumentar la longitud de cadena[18]. Aditivos como hidrofílicos como el dioxano, etilenglicol, ésteres solubles en agua y urea tienen comportamientos complejos y tienden a aumentar la CMC.

El efecto de electrolitos es más marcado para el caso de surfactantes iónicos. En general se observa que la adición de electrolitos disminuye la CMC, la cual se interpreta como

una consecuencia de la reducción entre las interacciones electrostáticas de los grupos polares.

1.4.3 Temperatura

Se ha podido encontrar que los efectos de la temperatura en la CMC de los surfactantes en solución acuosa son complejos. Se encuentra que puede aumentar, disminuir o mostrar un mínimo pronunciado. Parece claro que un aspecto fundamental en los comportamientos observados está relacionado con el grado de hidratación del surfactante: el aumento de temperatura disminuye la hidratación del grupo polar lo que favorece la formación de micelas, pero también ocasiona disrupción de la estructura del agua alrededor de la cadena apolar lo que desfavorece la micelización. Es decir, son dos efectos opuestos y dependiendo de su magnitud, se definirá el efecto de la temperatura, [6], [52], [53]. Generalmente se observa que la CMC disminuye con la temperatura hasta alcanzar un mínimo y luego aumenta con el incremento de la temperatura. Muchos investigadores sugieren la existencia de un mínimo en la CMC que tiene lugar entre 20.0°C y 30.0°C en surfactantes iónicos y aproximadamente 50 °C en el caso de surfactantes no iónicos [23], [54]–[57]. Sin embargo en muchos casos las diferencias en CMC con el cambio de temperatura son muy pequeñas y la existencia del mínimo no se observa o no se aprecia claramente.

1.4.4 .Presión

Cambios en la presión ejercida sobre los sistema de surfactantes dan lugar a pequeños cambios en la CMC. Estudios en el bromuro deciltrimetilamonio muestra los cambios que presenta la CMC, al tener cambios de presión a temperatura constante como se observa en la tabla 2[58].

Tabla 2. Concentración micelar crítica del bromuro deciltrimetilamonio en agua bajo diferentes presiones a 298,15 K.

p Mpa	CMC $10^3 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$
0	66,9
10	68,2
20	68,5
30	69,7
40	70,8

1.4.5. pH

En general se observa que el efecto del pH sobre la CMC es prácticamente nulo sobre la CMC de surfactantes no iónicos y es muy pequeño sobre surfactantes derivados de sales de ácidos orgánicos. En las soluciones de sales de sulfato y sulfonato, en donde la concentración de base o ácido excede significativamente al surfactante, el exceso actuará simplemente como electrolito neutro. Otros surfactantes de tipo carboxilato presentan una significativa sensibilidad al pH. Dado que el grupo carboxilato está totalmente no ionizado, las interacciones electrostáticas entre grupos de cabeza retardar la formación micelar donde dicha formación variará con el pH de la solución, dando lugar a cambios significativos en la CMC. Se observó un resultado similar para las sales de alquilamonio catiónico, resultando en una disminución en la CMC [6].

1.5. Bromuros de n-alquiltrimetilamonio

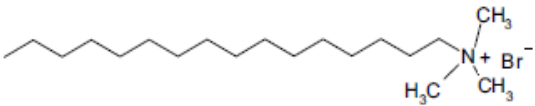
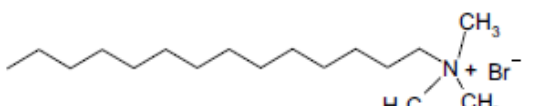
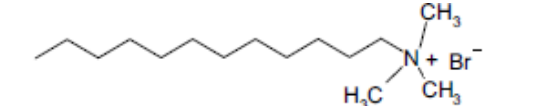
1.5.1 CMC de bromuros de n-alquiltrimetilamonio en agua

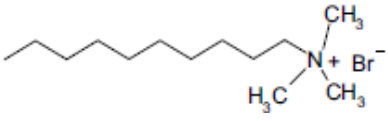
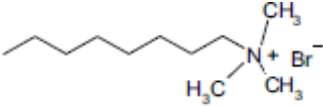
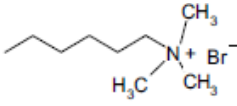
Las sales de amonio cuaternario son solutos modelo muy interesantes para el estudio de interacciones hidrofóbicas debido a que aun con residuos alifáticos de hasta 14 átomos de carbono mantienen una relativa alta solubilidad en agua. Las sales de amonio cuaternario se denominan simétricas cuando sus cadenas alquilo presentan configuración simétrica, es decir cuando las cuatro cadenas alquilo son iguales y asimétricas en el caso contrario.

Estas sales son solutos mixtos que en solución acuosa, y debido a que la longitud de las cadenas apolares puede ser modificada fácilmente, son particularmente adecuados para el estudio de la hidratación y de la interacción hidrofóbica. Además de su importancia para el estudio de interacciones moleculares, el estudio de sus propiedades es de gran interés debido a la gran cantidad de aplicaciones en las industrias químicas y farmacéuticas. Dentro de estas aplicaciones es importante señalar el importante papel que tienen como surfactantes

Los bromuros de n-alkiltrimetilamonio son sales de amonio cuaternario cuya CMC ha sido estudiada durante muchas décadas por diferentes técnicas. En la tabla 3, se encuentran los valores de la CMC para bromuros de n-alkiltrimetilamonio en disolución acuosa a 298,15K. Se puede observar que a medida que aumenta la longitud de la cadena la CMC disminuye.

Tabla 3 Valores de la CMC de bromuros n-alkiltrimetilamonio en agua a 298,15K.

Surfactante catiónico	Abreviatura	Estructura	CMC	Ref.
Bromuro de hexadeciltrimetilamonio	BHTA		0,0008M 0,00098M 0,00084M 0,001M 0,00096M 0,00087M	[19] [19] [59] [59] [59] [60] [61] [62]
Bromuro de tetradeciltrimetilamonio	BTTA		0,00332M 0,00358M 0,00379M 0,00382M 0,00382M 0,0378M 0,003943M	[59] [59] [59] [63] [64] [62] [61] [65]
Bromuro de dodeciltrimetilamonio	BDTA		0,01452M 0,0164M 0,0142M 0,014M 0,0133M 0,015M 0,01364M 0,0146M 0,01559M 0,0152M 0,01534M	[19] [19] [19] [19] [59] [59] [59] [60] [62] [61] [65]
Bromuro de	BDETA		0,057M	[66] [59]

deciltrimetilamonio			0.060M 0,065M 0,0676M 0,068M 0,07m ^a 0,0663M 0,0676M 0,06703M 0.06562M	[67] [19] [67] [59] [19] [19] [60] [63] [62] [65]
Bromuro de octiltrimetilamonio	BOTA		0,34M 0,293M 0,290M 0,26460M 0.261M 0.275M	[68] [60] [69] [62] [67] [67]
Bromuro de hexiltrimetilamonio	BHETA		0,4854m ^a 0.509m ^a 0,5168m ^a 0,5239m ^a 0.528m ^a	[3] [28] [3] [3] [28]

^amol·kg⁻¹

Se han determinado las concentraciones micelares críticas de diferentes bromuros de alquiltrimetilamonio a diferentes temperaturas como se observa en la tabla 4. Se puede observar que no hay cambios tan notorios entre una temperatura y otra. Es evidente que en las sales BOTA y BDETA no hay diferencia porque las pequeñas diferencias son debido a la incertidumbre. En el caso de las sales de cadena 12 y 14 hay un cambio un poco más evidente.

Tabla 4. Concentración micelar crítica de bromuros de alquiltrimetilamonio en soluciones acuosas a diferentes temperaturas [60].

T/K	CMC			
	BOTA	BDETA	BDTA	BTTA
293,15	2,97X10 ⁻¹	6,77X10 ⁻²	1,47X10 ⁻²	3,65x10 ⁻³
298,15	2,93X10 ⁻¹	6,63X10 ⁻²	1,43X10 ⁻²	3,72x10 ⁻³
303,15	2,86X10 ⁻¹	6,50X10 ⁻²	1,40X10 ⁻²	3,85x10 ⁻³
308,15	2,79X10 ⁻¹	6,68X10 ⁻²	1,51X10 ⁻²	4,00x10 ⁻³

CMC : mol·kg⁻¹

1.5.2 Efecto de la presencia de alcoholes en la CMC de los bromuros de n-alkiltrimetilamonio

La utilización de surfactantes en soluciones acuosas en presencia de cosolventes es importante ya que estos alteran la CMC, lo cual puede tener diversas aplicaciones. como son el etilenglicol, formamida y glicerol, los cuales presentan altas energías cohesivas y constantes dieléctricas como también se caracterizan por la formación de enlaces de hidrogeno [70]. Se han desarrollado estudios con diferentes alcoholes donde se ha encontrado como lo indica la tabla 5 que el efecto de los alcoholes de cadena corta es generalmente contribuir a la formación de micelas haciendo que la CMC disminuya. En el caso de dioles se presenta lo contrario y afectar la formación de micelas aumentando la CMC. Para las sales Botab y Bbeta estudiadas en este trabajo, no se han desarrollado estudios con dioles.

Tabla 5. Efecto de algunos alcoholes en la CMC de soluciones acuosas de bromuros n-alkiltrimetilamonio.

Surfactantes	ALCOHOLES	CMC	Ref.
BHTA	Glicerol. Etanol, etilenglicol	Aumenta	[71]–[79]
	Propanol, butanol, pentanol y hexanol	Disminuye	[48], [80]
BTTA	Etilenglicol, glicerol, 1,2-propanodiol y 1,3-propanodiol	Aumenta	[70], [71], [77]–[79], [81]–[85]
	Etanol, propanol, butanol, pentanol, hexanol	Disminuye	[48], [80], [86], [87]
BDTA	Etilenglicol, glicerol. 1,4-butanodiol	Aumenta	[70], [71], [77]–[79], [82], [88]
	1,2-hexanodiol, 1,6-hexanodiol, propanol, butanol, Pentanol, hexanol y 1.8-octanodiol.	Disminuye	[48], [80], [88], [89]
BDETA	Propanol, butanol y pentanol.	Disminuye	[48], [90]
BOTA	Propanol, butanol y pentanol	Disminuye	[48]

1.5.3 Volúmenes molares parciales de bromuros de alquiltrimetilamonio

A nivel general se ha encontrado que los volúmenes molares parciales y las compresibilidades de los surfactantes son poco dependientes de la concentración tanto por arriba y por debajo de la CMC. Los datos de estas dos propiedades se pueden extrapolar a 0, a concentraciones por debajo de la CMC, los valores pueden reflejar la interacción entre las moléculas del surfactante y agua. En algunos estudios de las sales de bromuro de alquiltrimetilamonio se ha encontrado que se determina el volumen molar parcial a dilución infinita tanto en la región premicelar como posmicelar. En este trabajo se determina en la región premicelar únicamente ya que precisamente el estado de dilución infinita significa que la molécula de soluto no encuentra alrededor de sí misma otras moléculas similares y en consecuencia solo puede interactuar con las moléculas de solvente. Es por ello que para obtener las propiedades a dilución infinita, la extrapolación se debe realizar a partir de los datos experimentales obtenidos en la región de alta dilución, lo que correspondería en este caso a la región premicelar, donde predominan las especies monoméricas.

En la tabla 6 se encuentra los valores de los volúmenes molares parciales a dilución infinita de bromuro de alquiltrimetilamonio en solución acuosa obtenidos por extrapolación de los volúmenes en las dos regiones.

Tabla 6. Volumen molar parcial de bromuros de alquiltrimetilamonio extrapolados a dilución infinita en la región premicelar (\bar{V}_1) y en la región posmicelar (\bar{V}_m) en agua a diferentes temperaturas.

T/K	BOTA		BDETA		BDTA		BTTA		Referencia
	\bar{V}_1	\bar{V}_m	\bar{V}_1	\bar{V}_m	\bar{V}_1	\bar{V}_m	\bar{V}_1	\bar{V}_m	
293,15	223,7	228,1	253,4	260,7	279,9	293,6	303,9	326,2	[91]
298,15	225,5	228,8	255,0	262,2	283,4	296,2	309,6	329,4	[91]
	223,7	227,5	255,4	262,3	287,0	295,5	320,6	331,2	[92]
			258,2	265,0	278,1	285,1	318,5	328,0	[93]
					288,2	294,8	319,8	327,8	[94]
			256,57						[95]
303,15	226,3	229,4	256,4	263,4	285,7	297,7	312,0	328,9	[91]
308,15	227,0	230,4	258,3	265,5	287,1	299,4	315,2	331,8	[91]
					292,2	297,5	324,7	330,6	[94]

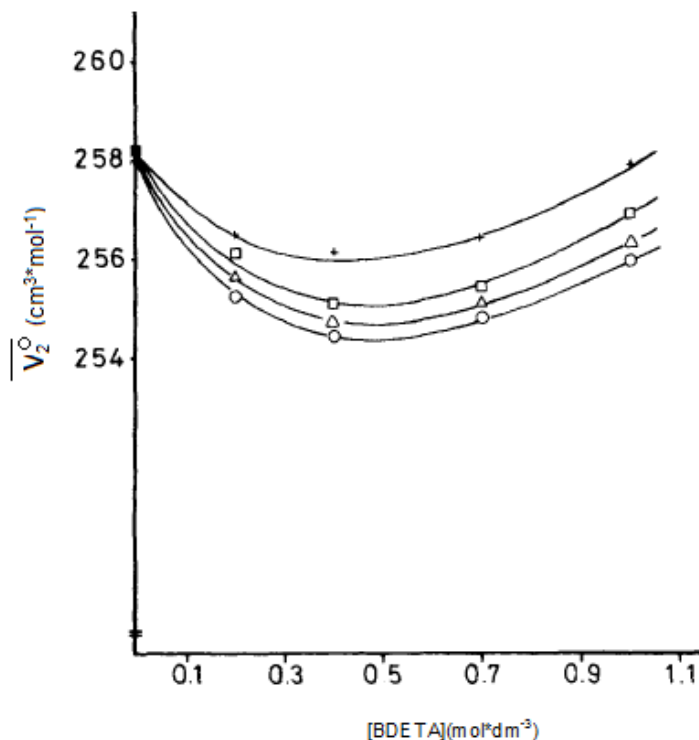
$\bar{V}_1, \bar{V}_m : (\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1})$

Estudios realizados al BDETA utilizando diferentes alcoholes de cadena alifática (metanol, etanol, propanol y butanol) permiten observar que a bajas concentraciones del alcohol añadido a la solución el volumen molar parcial en la región premicelar decrece pero al aumentar la concentración del alcohol su volumen molar parcial aumenta como se puede observar en la tabla 7 y gráfica 12. A medida que aumenta la cadena hidrocarbonada del alcohol es más complejo evidenciar los cambios [96].

Tabla 7. Volumen molar parcial en la región premicelar de BDETA en mezclas alcohol-agua a 298,15 K [96].

$\frac{M}{\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}}$	$\frac{\overline{V}_2^0}{(\text{cm}^3\cdot\text{mol}^{-1})}$	$\frac{M}{\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}}$	$\frac{\overline{V}_2^0}{(\text{cm}^3\cdot\text{mol}^{-1})}$
Metanol		Etanol	
0,2	255,20	0,2	255,60
0,4	254,59	0,4	254,71
0,7	254,88	0,7	255,06
1,0	256,00	1,0	256,20
Propanol		Butanol	
0,2	256,10	0,2	256,59
0,4	255,00	0,4	256,22
0,7	255,36	0,7	256,52
1,0	256,97	1,0	257,92

Figura 12. Volumen molar parcial en la región premicelar de BDETA en mezclas alcohol-agua a 298,15 K [96].



○, metanol; △ etanol; □ propanol; + butanol.

1.5.4 Propiedades Superficiales de bromuros de n-alquiltrimetilamonio

Una de las propiedades termodinámicas más utilizadas para la determinación de la CMC es la tensión superficial. La tensión superficial de un líquido puro o solución hace referencia a una energía libre por unidad de área superficial y representa el trabajo para llevar las moléculas del interior del líquido puro o solución a la superficie. La tensión superficial expresa la idea de que las fuerzas que actúan sobre las moléculas que están en la superficie de los líquidos no están balanceadas como ocurre en el interior del líquido. La tensión superficial es una manifestación de las fuerzas de atracción que mantienen unidas las moléculas en un líquido puro o solución y el comportamiento de la tensión superficial de soluciones en función de la composición es consecuencia de la naturaleza y magnitud de las interacciones en solución [97], [98].

En general, la adición de surfactantes provoca una disminución drástica de la tensión superficial hasta alcanzar la CMC. Los Bromuros de n-alquiltrimetilamonio son surfactantes y cuando están en solución las colas hidrofóbicas quedan hacia la interfase

líquido-aire y la parte polar se orienta hacia el seno de la solución acuosa. A medida que aumenta la concentración del surfactante, la tensión superficial tiende a disminuir; a una cierta concentración, la superficie del solvente está densamente llena de monómeros del surfactante hasta llegar a un punto donde la tensión se vuelve constante indicando la formación de micelas. A partir de este valor, la tensión superficial tiende a permanecer constante [17].

1.5.5 Métodos para determinación de CMC.

Son varios los métodos para determinar la concentración micelar crítica. Dentro de los métodos más comunes están la tensión superficial, la conductividad eléctrica, calorimetría y espectroscopía de fluorescencia los cuales se describen a continuación.

1. Tensión superficial: es uno de los métodos más comunes utilizados para la determinación de la CMC. La influencia de la tensión superficial en la concentración es obtenida a partir de los valores de tensión superficial en función del logaritmo de la concentración de surfactante. A medida que aumenta la concentración del surfactante hay una disminución rápida de la tensión superficial, hasta que se alcanza la CMC. Por encima de esta concentración el valor de la tensión superficial permanece casi constante. En estas condiciones hay una saturación interfacial del surfactante y se considera que hay formación de micelas. Así, el punto de quiebre es una medida de CMC. La tensión superficial está fuertemente influenciada por las impurezas en la solución[99] [100].
2. Conductividad: Los agentes surfactantes iónicos, cuando están en forma monomérica, es decir, por debajo de CMC, se comportan como electrolitos fuertes por lo tanto son buenos conductores y se disocian por completo. Los iones contribuyen al transporte eléctrico de la solución como se mide por la conductancia (K). Por arriba de la CMC, las micelas son parcialmente ionizadas por lo tanto no son buenos conductores. Condiciones necesarias para la obtención de los valores más precisos son el mantenimiento de la temperatura constante a través de todo el proceso de medición y eliminación de impurezas que influyen en el movimiento de especies cargadas en la solución. El valor de la CMC se obtiene simplemente ajustando los datos de conductividad en función de la concentración a dos rectas y a partir del ajuste se calculan la intersección (CMC). La velocidad de aumento de la

conductividad con la concentración de surfactantes varía debido a la diferencia entre el grado de disociación del monómero y de la micela; por ello la razón entre las pendientes permite determinar el grado de disociación de la micela[99],[22],[100].

El método conductimétrico también se utiliza para la determinación de CMC en sistemas de micelas mixtas y para los surfactantes con un pequeño número de agregación; se puede obtener la constante formación de micelas, número de agregación, número de contra-iones en una micela, grado de ionización de micelas y una gran cantidad de datos termodinámicos micelares[22],[100].

3. **Fluorescencia:** esta técnica se basa en la adición de una sustancia fluorescente que se mezcle con la micela. La fluorescencia de pireno es la más utilizada, entre otros fluorescentes podrían mencionarse, pireno-3-carboxaldehído o 1,6-difenil-1,3,5-hexatrieno (DPH). En el caso del pireno, este método se basa en el cambio de la intensidad de las bandas del espectro fluorescente de monómeros de pireno. Cuando el pireno se encuentra en un medio acuoso se observan unas intensas bandas. Cuando se forman micelas, se mezcla con ellas por sus propiedades hidrofóbicas, y la intensidad de las bandas disminuye. El pireno es uno de los pocos hidrocarburos aromáticos condensados que muestran la estructura (bandas vibracionales) en sus espectros de fluorescencia de monómero en solución. Las intensidades de las diversas bandas de vibración de pireno muestran una fuerte dependencia del solvente [22], [100].
4. **Calorimetría.** Se han llevado a cabo medidas calorimétricas utilizando la isoterma calorimétrica de titulación (ITC). La termodinámica de sistemas micelares pueden ser estudiados dentro de este método. La CMC se puede determinar como el punto de la línea de inflexión entre la región de baja concentración y la región de alta concentración. También se utiliza este método para la determinación de la CMC de diversos tipos de tensoactivos [99].

2. Sistemas y condiciones experimentales

2.1 Reactivos.

- Bromuro de octiltrimetilamonio, Alfa Aesar 98%, CAS 2083-68-3
- Bromuro de deciltrimetilamonio Alfa Aesar 98%, CAS 2082-84-0
- 1,2-Propanodiol Alfa Aesar 99.5%, CAS 57-55-6

El agua para la preparación de soluciones y calibración se trató con KMnO_4 y NaOH y luego fue bidestilada y desgasificada, obteniendo agua de conductividad del agua siempre fue inferior a $2\mu\text{s cm}^{-1}$.

2.2 Preparación de soluciones

Todas las soluciones se prepararon por pesada utilizando una balanza Mettler AT261, con sensibilidad de 10^{-5} g en el rango inferior a 60 g y 10^{-4} g entre 60 g y 200g.

Los solutos se colocaron en un desecador por 48 horas a temperatura ambiente antes de ser utilizados. Se prepararon entre 11 y 13 concentraciones por soluto en agua y en 3 mezclas de agua-1,2-propanodiol de diferente concentración.

2.3 Determinación de la densidad y velocidad del sonido.

Las determinaciones de densidad y velocidad de sonido se realizaron utilizando un densímetro Anton Paar modelo DSA 5000 figura 12, que opera mediante la técnica de tubo vibrante; el equipo cuenta con control de temperatura a 0.01 K y la incertidumbre en las medidas de densidad es de $\pm 10^{-6}$ g/cm³ y de $\pm 3 \times 10^{-2}$ m·s⁻¹ en velocidad del sonido.

Se realiza una calibración previa de la densidad y la velocidad del sonido tanto con agua doblemente destilada, desionizada y desgasificada y con aire seco a 293,15 K. Se realiza la calibración diariamente antes y después de las medidas. La densidad y la velocidad del sonido en agua y a otras temperaturas se comparan con literatura.

El principio de funcionamiento de la densimetría de oscilación mecánica se basa en las leyes que rigen el movimiento armónico simple. Consiste en medir a una temperatura determinada, la frecuencia de resonancia de un oscilador mecánico que es excitado electrónicamente y que contiene en su interior el líquido cuya densidad se quiere conocer.

La diferencia entre la densidad de la solución (ρ) y el solvente puro (ρ_0), se relaciona con el respectivo período de oscilación mecánica del tubo, τ y τ_0 , de acuerdo a la relación basada en el modelo de oscilador armónico.

$$\rho - \rho_0 = K(\tau^2 - \tau_0^2) \quad (6)$$

En la ecuación 6, K es la constante de calibración que depende de la temperatura. El valor de la constante de calibración es determinado a partir de los periodos de oscilación de por lo menos dos fluidos de densidad conocida, generalmente agua y n-heptano a la temperatura seleccionada.

La propagación del sonido es un fenómeno ondulatorio por lo que la función de onda es de la forma $f(x - vt)$ donde x es la posición, v velocidad de propagación y t es el tiempo. La propagación involucra tres fenómenos: el movimiento del fluido provoca variaciones locales de densidad, las variaciones de la densidad corresponden a variación de presión y la variación de presión genera movimiento del fluido.

Combinada la velocidad de sonido con las medidas de densidad se puede obtener la compresibilidad adiabática utilizando la ecuación de Laplace que relaciona ambas variables. La ecuación de Laplace surge de la necesidad de ligar la ecuación de continuidad con la ecuación de Euler que rigen la propagación de las ondas sonoras en el seno de un fluido.

La densidad y velocidad del sonido se determinan mediante un tubo en forma de U. La frecuencia de vibración se monitorea mediante dos. Los extremos del tubo están fijos sobre una base rígida de masa tal que las vibraciones del exterior no afectan la medición, así el primer nodo de oscilación se encuentra en el límite del soporte y del tubo en forma de U.

La propagación de la onda implica un flujo de calor debido a la energía sonora. El flujo de calor es despreciable cuando la longitud de onda sea mayor respecto al camino libre medio de las moléculas de tal forma que el flujo de calor en una onda sonora no afecta la velocidad de propagación del sonido.

Figura 13. Representación esquemática del densímetro Anton Paar DSA 5000



2.4 Determinación de la tensión superficial.

Se determinó la tensión superficial por el método de volumen de gota, utilizando un tensiómetro LAUDA TVT2. El método se basa en la determinación del volumen de la gota V_g que se forma en el extremo del capilar. La gota crece hasta cuando su peso es menor que su fuerza de agarre sobre el capilar y cuando este peso alcanza la misma magnitud de la fuerza de agarre, la gota cae y se determina el volumen al que llegó. Para esto se debe conocer el diámetro del capilar donde se forma la gota.

Cuando se forma la gota en el extremo del capilar, hay un balance entre la fuerza de gravedad y la tensión superficial.

Según la ley de Tate:

$$P = Mg = V_g \Delta \rho g = 2\pi r_{cap} \gamma \quad (7)$$

Donde P es el peso de la gota; r_{cap} es el radio del capilar, γ es la tensión superficial y V_g el volumen de la gota formada, $\Delta \rho$ es la diferencia de densidades entre ambas fases (en este caso, entre la solución y el aire) y g es la aceleración de la gravedad. Esta ley se cumple si la gota formada fuera totalmente esférica, por lo tanto se debe introducir un factor de corrección, f , de tal forma que:

$$\gamma = \frac{V_g \Delta \rho g}{2\pi r_{cap} f} \quad (8)$$

El volumen es medido con una precisión de 0,01 μL . El control de temperatura, se realiza a través de un baño de agua conectado a un termostato, lo que permite tener un control mayor a 0,1 K. La precisión del método es de $\pm 0,01$ mN/m, en un amplio rango, de 0,1 hasta 100 mN/m.

La muestra es dosificada por un émbolo controlado por un microprocesador, así se puede conocer el recorrido que hace el embolo en micrómetros. Se registra el momento exacto en el que la gota se desprende del capilar, por medio de un sensor fotoeléctrico colocado debajo del capilar.

La muestra se deja en la cámara de medición durante 30 minutos antes de realizar la medida; las temperatura de las medidas fueron 293,15K; 298,15K; 303,15 K y 308,15 K \pm 0,01K. Se utilizó una jeringa de vidrio de 1mL con un capilar de acero inoxidable de 1,395mm de diámetro externo. La incertidumbre de las medidas de tensión superficial registrada por el equipo es 0,01mN/m. Los datos reportados son el promedio de los resultados individuales de 20 gotas.

Una vista general del tensiómetro se muestra en la figura 14.

Figura 14. Tensiómetro Lauda TVT2 y termostato Lauda E100

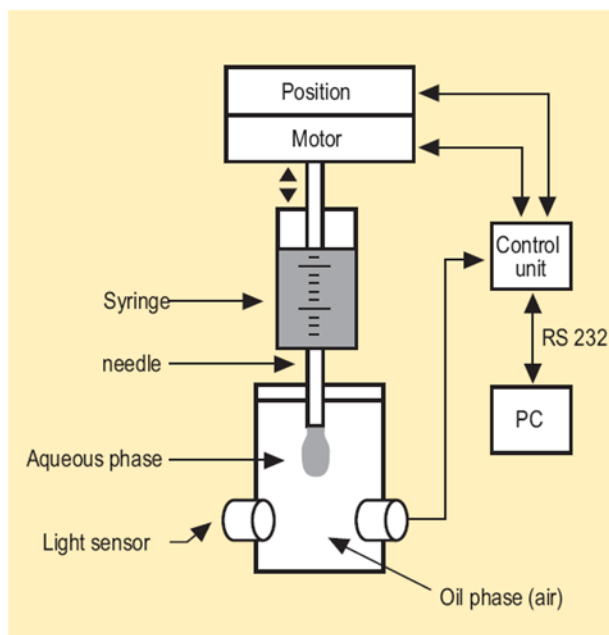


A continuación se describe el tensiómetro volumen gota LAUDA TVT2:

1. Sistema central: controla el desplazamiento del embolo y la detección de la caída de la gota del capilar.
2. Baño de temperatura con el cual se hace circular agua por sistemas de control de temperatura del equipo a fin de mantener la muestra a temperatura constante.
3. Sistema de medición donde se monta la jeringa para la formación de la gota; está constituido por la barra de desplazamiento y un sensor óptico.

En la figura 15 se muestra una representación del funcionamiento del tensiómetro Lauda TVT2.

Figura 15. Representación esquemática del funcionamiento del tensiómetro Lauda TVT2.



El sistema de control se conecta a la computadora por medio un puerto serial, el programa TVT2 registra el volumen y el tiempo necesario para formar la gota hasta su rompimiento.

2.5 Determinación del tiempo de equilibrio.

Algunas propiedades de solutos anfífilos de cadena larga como la solubilidad, pueden tardar tiempos relativamente largos para alcanzar el equilibrio. En este caso, dado que no hay información en literatura, se hicieron ensayos con el surfactante de cadena más larga. Para determinar el tiempo de equilibrio de nuestras sales de amonio se experimentó con el bromuro deciltrimetilamonio a 298,15 K. Se hicieron medidas a diferentes tiempos para saber si se presentaban cambios en el valor de las propiedades en función del tiempo. Se comprobó que la mezcla ocurre muy rápidamente, alcanzando el equilibrio y por ello no hay cambios en los valores de densidad, velocidad del sonido y tensión superficial como se muestra en la tabla del anexo A1.

3. Propiedades volumétricas y compresibilidades de soluciones acuosas de bromuros de octiltrimetilamonio y deciltrimetilamonio en presencia de 1,2-propanodiol.

3.1. Determinación de propiedades volumétricas y de la compresibilidad adiabática y aparente.

Los volúmenes molares parciales se determinaron a partir de medidas de densidad de cada una de las soluciones de las sales de amonio cuaternario en agua y en las mezclas de 1,2-propanodiol-agua, teniendo en cuenta lo siguiente: El volumen molar aparente, V_{ϕ} , se determinó a partir de los datos de densidad obtenidos para cada solución, mediante la siguiente expresión:

$$V_{\phi} = \frac{M}{\rho} + \frac{1000 (\rho_0 - \rho)}{m \rho \rho_0} \quad (9)$$

Donde M es la masa molar del soluto, m es la concentración molal de la solución, ρ y ρ_0 son las densidades de la solución y el solvente respectivamente. Como los solutos de este trabajo son electrolitos se utiliza la ecuación 10 y los valores del volumen molar aparente para determinar el volumen molar parcial en la región premicelar[101]:

$$V_{\phi} = V_{\phi}^0 + S_V m^{1/2} \quad (10)$$

Donde S_V es un parámetro empírico y V_{ϕ}^0 es el volumen molar parcial a dilución infinita obtenido por extrapolación de los datos de la región premicelar.

La compresibilidad adiabática K_S de las sales de amonio cuaternario en agua y en las mezclas 1,2-propanodiol-agua, se determinó a partir de las densidades y las velocidades de sonido obtenidas a cada concentración. Utilizando la ecuación 11 se determina la compresibilidad adiabática:

$$K_S = \frac{1}{v^2 \rho} \quad (11)$$

Donde v es la velocidad del sonido y ρ es la densidad de la solución. Utilizando los valores de la ecuación 11, se puede determinar la compresibilidad adiabática molar $K_{\phi(s)}$ aparente, por medio de la siguiente ecuación:

$$K_{\phi(s)} = \frac{1000 (k_s \rho_0 - k_s^0 \rho)}{m \rho \rho_0} + \frac{k_s M}{\rho} \quad (12)$$

Donde k_s es la compresibilidad adiabática de la solución, k_s^0 es la compresibilidad adiabática del solvente, M es el peso molecular del soluto y m es la concentración del soluto expresada en molalidad

3.2 Volumen molar aparente, volumen molar parcial y compresibilidades de soluciones acuosas de bromuros octiltrimetilamonio y deciltrimetilamonio en presencia de 1,2-propanodiol.

3.2.1 Volúmenes molares aparentes

Los valores de volúmenes molares aparentes se calcularon a partir de la ecuación 9 para las soluciones de BOTA Y BDETA en agua y en las mezclas 1,2-propanodiol-agua.. Los resultados de densidad y volumen molar aparente y sus respectivas incertidumbres se muestran en las tablas de los anexos C1 – C8. Se observa un aumento en el valor de la densidad con la concentración y que decrece con el incremento de temperatura como es de esperar. Los volúmenes molares aparentes de BOTA y BDETA estudiados en función de la concentración a las diferentes temperaturas se muestran en las figuras 16 y 17, donde se evidencia la dependencia del volumen respecto a la concentración dada en molalidad. Se observa que a medida que aumenta la concentración el volumen molar aparente también. A temperatura constante el cambio en el volumen molar aparente a las temperaturas seleccionadas no tiene una tendencia lineal en el rango de concentración considerado.

Es claro que tanto en agua como en las mezclas 1,2-propanodiol-agua, para ambas sales de amonio cuaternario los valores de volumen molar aparente aumentan al incrementar la temperatura.

Figura 16. Volumen molar aparente de BOTA en función de la concentración en solución acuosa y en mezclas 1,2-propanodiol a diferentes temperaturas.

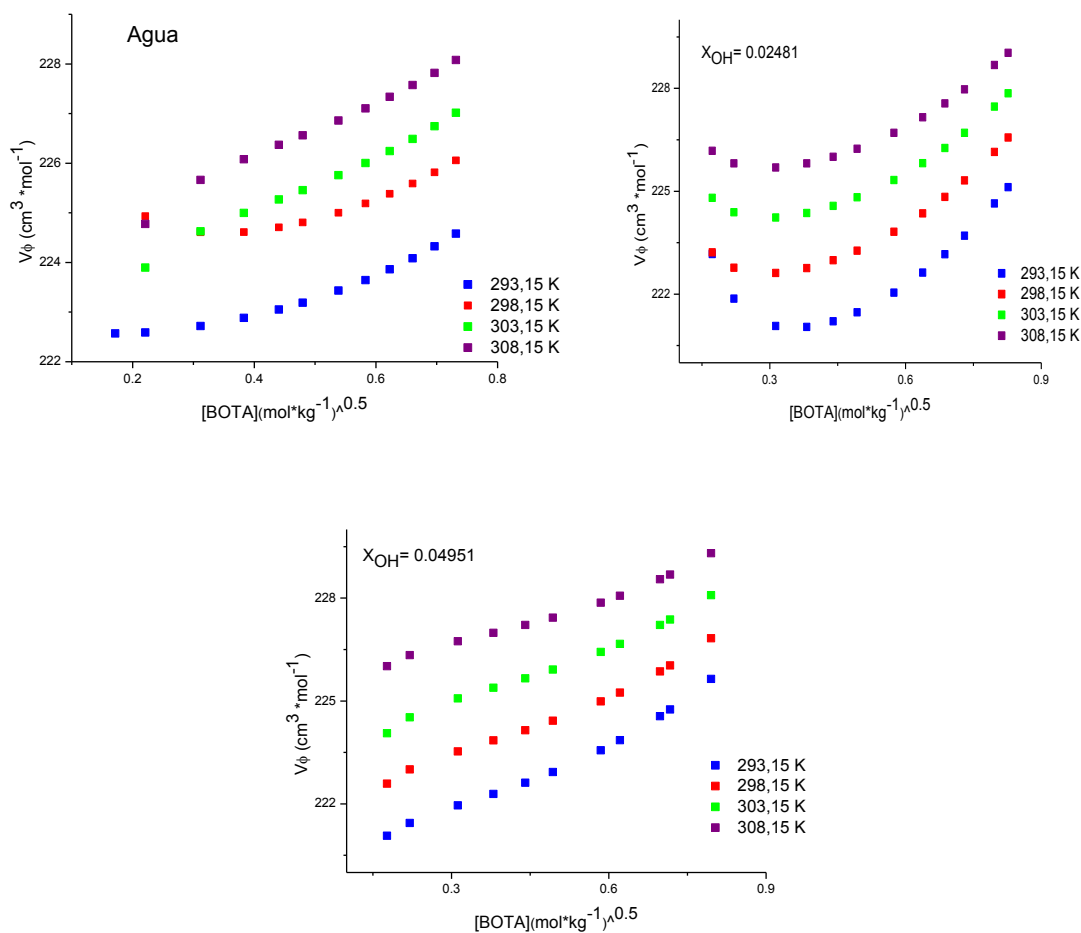
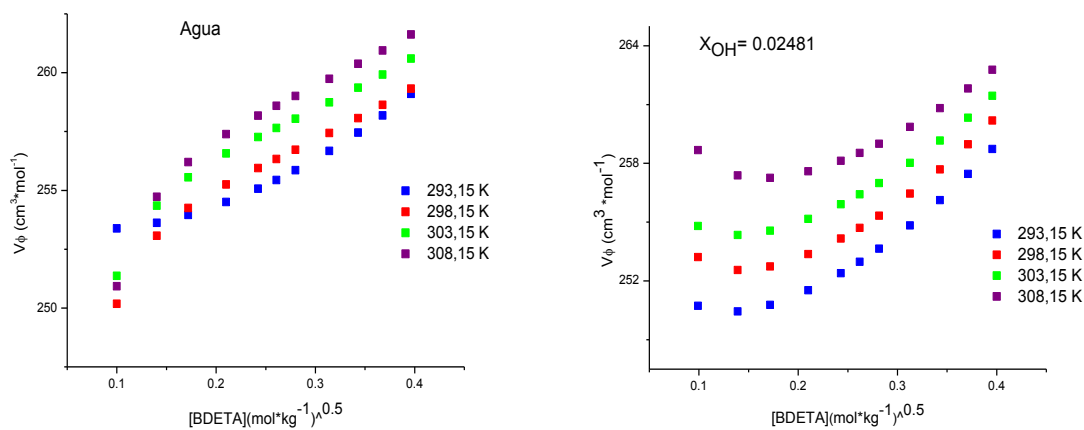
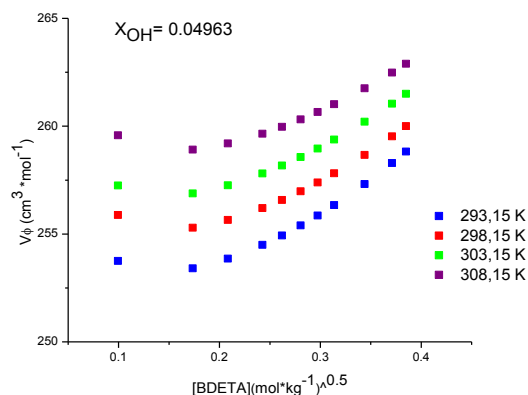


Figura 17. Volumen molar aparente de BDETA en función de la concentración en soluciones acuosa y en mezclas 1,2-propanodiol a diferentes temperaturas.





Se observa en las figuras 16-17 y en las tablas de los anexos C1-C8, que los cambios de los volúmenes molares aparentes en ambas sales a medida que aumenta la concentración del 1,2-propanodiol a cada temperatura no varían apreciablemente. A concentraciones bajas se observa que los volúmenes molares aparentes varían poco con la concentración de sal, pero al llegar cerca de la región de la concentración micelar crítica se ve un aumento mayor en los valores de volúmenes molares aparentes en los sistemas de las dos sales de amonio cuaternario estudiadas. En algunos casos se aprecia la aparición de un mínimo.

A diferencia de lo que se observa para otras propiedades, el cambio en la densidad y en el volumen molar aparente no es brusco y no se observa una diferencia en la tendencia que siguen las propiedades en la región premicelar y en la región posmicelar y por ello estos métodos no resultan adecuadas para determinar la CMC de las sales de amonio.

3.2.2 Volúmenes molares parciales a dilución infinita

Las gráficas de volumen molar aparente de las soluciones diluidas en la región premicelar fueron ajustadas a la ecuación 10, para obtener por extrapolación los volúmenes molares parciales a dilución infinita. En las tablas 8 - 9, se muestran los volúmenes molares parciales a dilución infinita para BOTA y BDETA en agua y en presencia de 1,2-propanodiol así como la incertidumbre en los valores para los datos obtenidos. Los valores obtenidos de los volúmenes molares parciales a dilución infinita de las sales estudiadas en agua tienen buena concordancia con los encontrados en otros estudios como se puede ver en la Tabla 6. Se puede evidenciar que el volumen parcial a dilución infinita aumenta al aumentar la temperatura en cada sistema y al aumentar la concentración de la mezcla 1,2-propanodiol el volumen parcial disminuye. Sin embargo, a

la concentración más alta de 1,2-propanodiol el volumen aumenta, esto concuerda con estudios previos, en los que se ha evidenciado que los volúmenes molares parciales a dilución infinita disminuyen con la presencia de alcoholes pero al ir aumentando la concentración del alcohol el volumen molar parcial tiene un incremento como se puede ver en la tabla 7 y se evidencia en este trabajo. A la temperatura más alta se observa en ambas sales en los sistemas de 1,2-propanodiol agua $X_{OH}=0.03466$, un aumento del volumen parcial y se superpone al valor al del agua a esa misma temperatura.

Al aumentar la temperatura el volumen parcial aumenta en todos los sistemas de las sales estudiadas.

Tabla 8. Volumen molar parcial a dilución infinita de BOTA en soluciones acuosa y en mezclas 1,2-propanodiol a diferentes temperaturas.

T/K	AGUA		$X_{OH}=0.02481$		$X_{OH}=0.03489$		$X_{OH}=0.04951$	
	\overline{V}_2^0	$\sigma\overline{V}_2^0$	\overline{V}_2^0	$\sigma\overline{V}_2^0$	\overline{V}_2^0	$\sigma\overline{V}_2^0$	\overline{V}_2^0	$\sigma\overline{V}_2^0$
293,15	222,23	0,025	219,38	0,32	218,73	0,13	220,22	0,06
298,15	223,89	0,023	221,31	0,24	220,58	0,16	221,89	0,06
303,15	224,36	0,12	223,16	0,19	222,15	0,27	223,52	0,08
308,15	225,40	0,14	224,60	0,22	225,35	0,13	225,47	0,04

$\overline{V}_2^0, \sigma\overline{V}_2^0 : (\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1})$

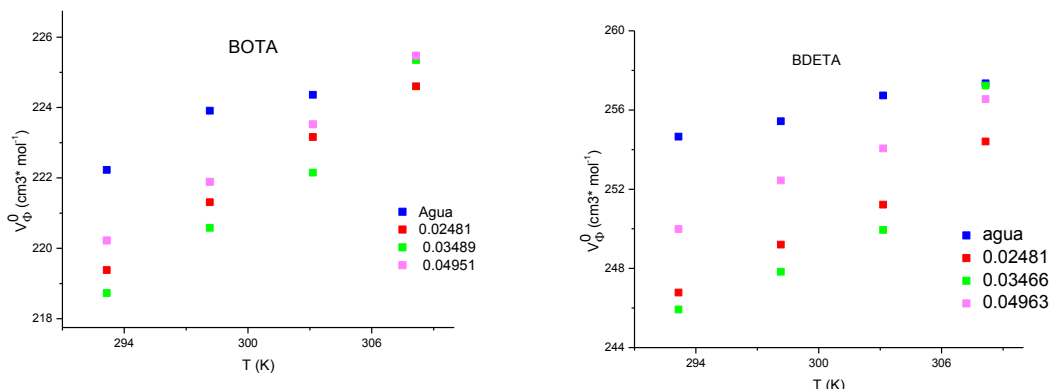
Tabla 9. Volumen molar parcial a dilución infinita de BDETA en soluciones acuosa y en mezclas 1,2-propanodiol a diferentes temperaturas.

T/K	AGUA		$X_{OH}=0.02481$		$X_{OH}=0.0366$		$X_{OH}=0.04963$	
	\overline{V}_2^0	$\sigma\overline{V}_2^0$	\overline{V}_2^0	$\sigma\overline{V}_2^0$	\overline{V}_2^0	$\sigma\overline{V}_2^0$	\overline{V}_2^0	$\sigma\overline{V}_2^0$
293,15	254,65	0,21	246,78	0,49	245,92	0,3	249,99	0,37
298,15	255,43	0,34	249,20	0,55	247,83	0,27	252,44	0,31
303,15	256,73	0,35	251,22	0,47	249,94	0,49	254,06	0,29
308,15	257,34	0,47	254,41	0,56	257,23	0,34	256,55	0,28

$\overline{V}_2^0, \sigma\overline{V}_2^0 : (\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1})$

La Figura 18 ilustra el efecto de la temperatura sobre el volumen molar parcial a dilución infinita de BOTA y BDETA en agua y en soluciones acuosas de 1,2-propanodiol. La dependencia del volumen molar parcial a dilución infinita con la temperatura se puede representar por una ecuación lineal.

Figura 18. Volumen molar parcial a dilución infinita de BOTA y BDETA en función de la temperatura en soluciones acuosa y en mezclas 1,2-propanodiol a diferentes temperaturas.



Los volúmenes molares parciales a dilución infinita en función de temperatura se ajustaron a una línea recta para determinar las expansibilidades molares parciales a dilución infinita \bar{E}_2^0 , según la ecuación:

$$\bar{E}_2^0 = \left(\frac{\partial \bar{V}_2^0}{\partial T} \right)_P \quad (13)$$

Las expansibilidades molares parciales a dilución infinita calculadas se encuentran en la tabla 10.

Tabla 10. Expansibilidades molares parciales a dilución infinita de soluciones de BOTA y BDETA en agua y mezclas 1,2-propanodiol.

X_{OH}	BOTA		X_{OH}	BDETA	
	\bar{E}_2^0	$\sigma \bar{E}_2^0$		\bar{E}_2^0	$\sigma \bar{E}_2^0$
AGUA	0,20	0,03	AGUA	0,19	0,02
0,02481	0,35	0,04	0,02481	0,50	0,03
0,03489	0,43	0,07	0,03466	0,72	0,08
0,04951	0,35	0,03	0,04963	0,43	0,02

\bar{E}_2^0 , $\sigma \bar{E}_2^0$: (cm³/mol*K)

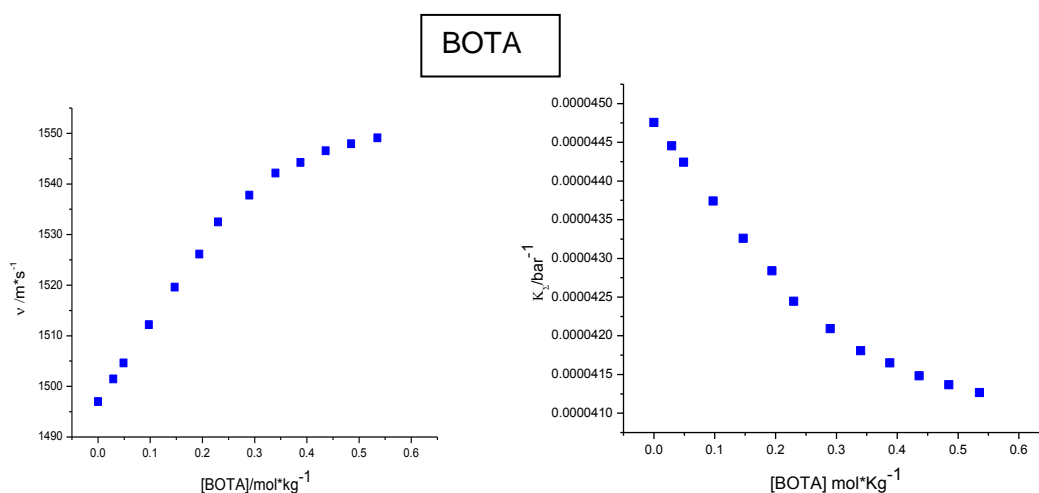
Se aprecia un incremento en la expansibilidad a dilución infinita excepto para la última concentración del diol, lo cual podría estar relacionado con su comportamiento en agua.

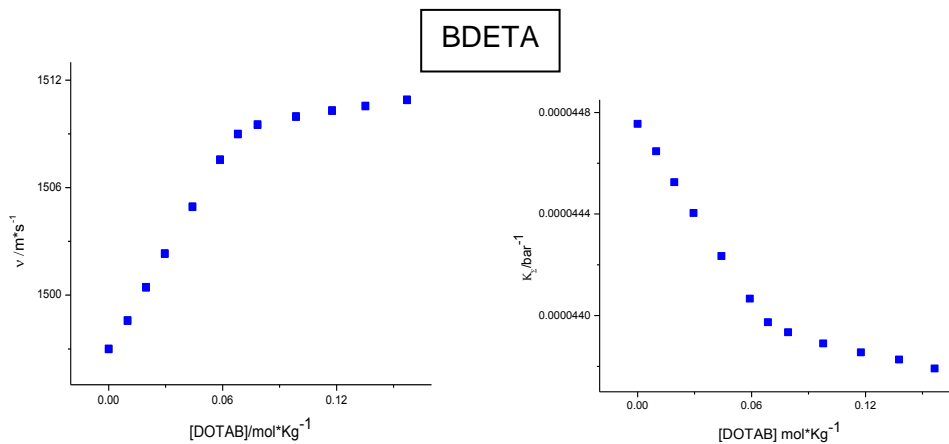
3.2.3 Compresibilidad adiabática molar aparente

Los valores para la compresibilidad adiabática y la compresibilidad adiabática molar aparente se calcularon a partir de las ecuaciones 11 y 12. Los resultados de velocidad del sonido, compresibilidad adiabática y la compresibilidad adiabática molar aparente para las soluciones de BOTA y BDETA en agua y las mezclas 1,2-propanodiol-agua junto con sus respectivas incertidumbres se muestran en las tablas de los anexos D1 – D8.

A continuación se presenta en la Fig.19 el comportamiento observado para las dos sales en agua a 298.15 K. Se aprecia que ambas propiedades tienen cambios claros con la concentración que permiten detectar de manera precisa el cambio de comportamiento que sucede en la CMC, evidenciando una región premicelar y posmicelar. La velocidad aumenta linealmente con el aumento en la concentración de surfactante, mientras que la compresibilidad adiabática disminuye con el incremento en la concentración de sal. Un comportamiento similar se observa a las demás temperaturas y en presencia del 1,2-propanodiol.

Figura 19. Velocidad del sonido (v) y compresibilidad adiabática (K_S) de soluciones acuosas de BOTA y BDETA y en función de la concentración a 298.15 K.





Los datos muestran que a todas las temperaturas la velocidad aumenta con la concentración de diol y la compresibilidad adiabática disminuye a medida que aumenta la concentración del diol. En cuanto a la velocidad del sonido, a temperatura constante se observa que para los dos surfactantes su valor aumenta cuando se adiciona el 1,2-propanediol y aumenta con su concentración.

Los valores de la compresibilidad adiabática molar aparente para las dos sales de amonio cuaternario tanto en agua como en las mezclas 1,2-propanodiol-agua aumentan al incrementarse la temperatura. El comportamiento es complejo y en algunos casos se observa un mínimo, como ha sido descrito por otros autores. En la figura 20 y 21 se muestra el comportamiento de las soluciones de BOTA y de BDETA en agua y en soluciones acuosas de 1,2-propanodiol, donde se evidencia la dependencia del compresibilidad respecto a la concentración molar. Puede apreciarse que además del comportamiento complejo, la transición entre la región premicelar y la región posmicelar no es muy definida y por ello esta propiedad no fue utilizada para la determinación de la concentración micelar crítica, como se discute en el capítulo 5.

Las Tablas del anexo D1 a D8, muestran que a todas las temperaturas, a bajas concentraciones y en todos los sistemas, se observa una disminución de la compresibilidad adiabática al aumentar la concentración de BOTA y BDETA. Al aumentar la concentración de las sales de amonio en la región posmicelar las moléculas de las sales de amonio cuaternario se asocian en micelas, lo que conlleva una mayor compresibilidad.

Figura 20. Compresibilidad adiabática molar aparente de BOTA en función de la concentración en soluciones acuosa y en mezclas 1,2-propanodiol a diferentes temperaturas

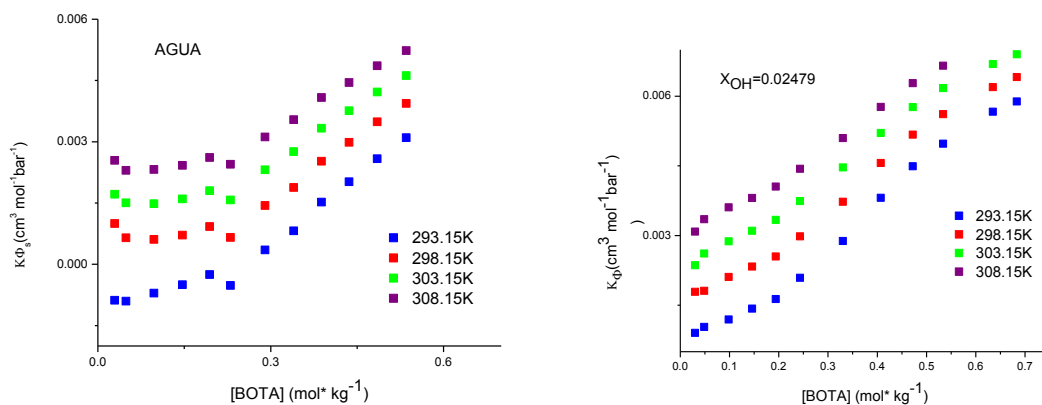
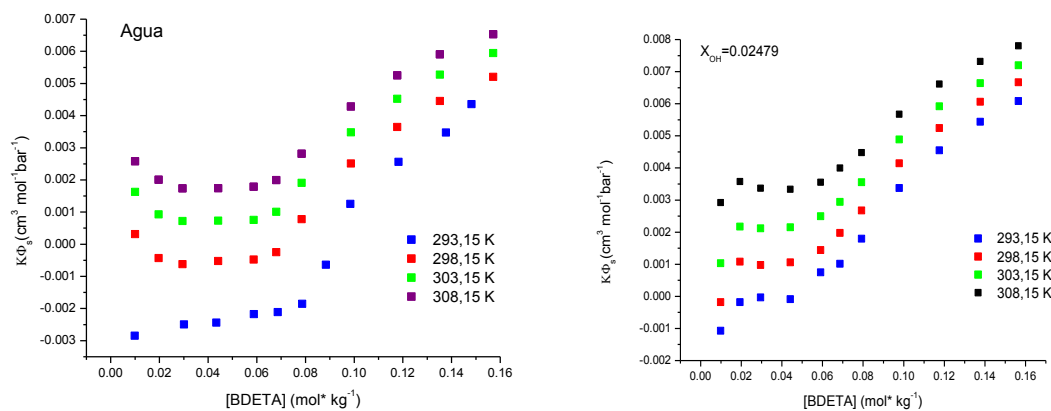


Figura 21. Compresibilidad adiabática molar aparente de BDETA en función de la concentración en soluciones acuosa y en mezclas 1,2-propanodiol a diferentes temperaturas.



Puede apreciarse que además del comportamiento complejo, la transición entre la región premicelar y la región posmicelar no es muy definida a diferencia de lo que ocurre con la velocidad y por ello esta propiedad no fue utilizada para la determinación de la concentración micelar crítica, como se discute en el capítulo 5.

4. Propiedades superficiales de soluciones acuosas de bromuros octiltrimetilamonio y deciltrimetilamonio en presencia de 1,2-propanodiol.

4.1. Determinación de propiedades superficiales.

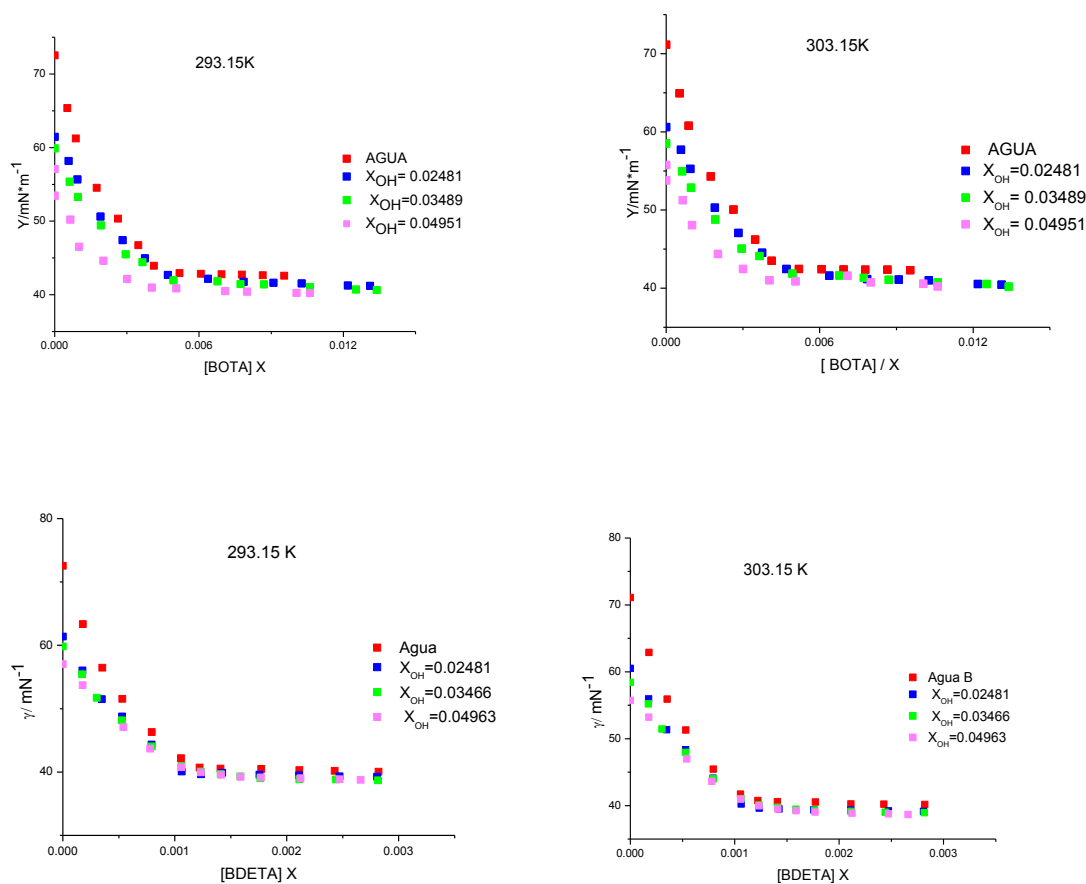
Los surfactantes, al ser adicionados al agua disminuyen de manera importante la tensión superficial de ésta y tienden a concentrarse en la interfase líquido–aire para minimizar la interacción entre la parte apolar del soluto y el agua.

A continuación se presentan los comportamientos encontrados para la tensión superficial de las soluciones acuosas de BOTA Y BDETA en agua y las mezclas 1,2-propanodiol-agua a las temperaturas consideradas. Los resultados se muestran en las tablas de los anexos E1 a E8.

La Figura 22 muestra el comportamiento observado para la tensión superficial de las sales BOTA y BDETA en agua y en mezclas de 1,2-propanodiol-agua entre 293,15 y 308,15 K.

La Figura 22 muestra que a temperatura constante, la tensión superficial de la solución acuosa de BOTA disminuye de manera abrupta al aumentar la concentración de la sal, hasta alcanzar una concentración en que el comportamiento cambia. A esta concentración, la concentración micelar crítica (CMC), la tensión superficial se hace prácticamente constante, siguiendo el comportamiento típico de los surfactantes. Un comportamiento similar se observa a las demás temperaturas y para las soluciones en presencia del 1,2-propanodiol. Este mismo comportamiento se presenta en las soluciones de BDETA tanto en agua como en las mezclas de 1,2-propanodiol-agua.

Figura 22. Tensión superficial de soluciones de BOTA y BDETA en agua y en mezclas 1,2-propanodiol-agua en función de la concentración a 293,15 y 303,15K.



Estudios en soluciones acuosas diluidas de series homólogas, muestran que la magnitud del cambio en la pendiente de la curva de tensión superficial en función de concentración de soluto está relacionada con la longitud de la cadena hidrocarbonada[102], [103]. Las pendientes límites de las curvas de tensión superficial vs fracción molar se calcularon a partir de los datos de tensión superficial en la región muy diluida y los resultados se muestran en las tablas 11 y 12. La pendiente límites de las curvas de tensión superficial en función de la fracción molar son negativas para las dos sales de amonio cuaternario estudiadas indicando que en todos los casos el exceso superficial es positivo y se hacen mayores a medida que la longitud de la cadena alquilo aumenta.

En esta investigación se confirma que la magnitud de la pendiente está relacionada con el tamaño de la cadena alquilo en la solución. Los valores encontrados en este estudio muestran a valores más negativos de la pendiente en el BDETA que el BOTA lo que concuerda con su naturaleza más hidrofóbica. Esto se puede apreciar en la Figura 21 en la cual se compara el comportamiento de las dos sales en agua a 298,15 K.

Tabla 11. Pendiente límite de la curva de tensión superficial vs fracción molar ($\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$) de BOTA.

X_{OH}	293,15 K	298,15 K	303,15 K	308,15 K
AGUA	-10146	-9848,8	-9552,9	-9363,9
$X_{\text{OH}}=0.02481$	-6214,1	-5728,2	-5706	-5603,8
$X_{\text{OH}}=0.03489$	-5989	-5629,2	-5538,1	-5491
$X_{\text{OH}}=0.04951$	-4657,3	-4439,1	-4227,9	-3891,6

Tabla 12. Pendiente límite de la curva de tensión superficial vs fracción molar ($\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$) de BDETA.

$\frac{m}{\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}}$	293,15 K	298,15 K	303,15 K	308,15 K
AGUA	-39558	-38618	-37579	-36474
$X_{\text{OH}}=0.02481$	-24065	-23599	-23299	-22490
$X_{\text{OH}}=0.03466$	-22232	-21261	-20261	-19290
$X_{\text{OH}}=0.04963$	-17265	-16443	-15792	-14892

Las Tablas 11 y 12 muestran que en agua o a una misma concentración de alcohol, la pendiente se hace menor al aumentar la temperatura siguiendo la tendencia esperada para esta propiedad. También se observa que a medida que aumenta la concentración del diol la magnitud de la pendiente se hace más pequeña. En presencia del diol se afecta el medio en el que se encuentra el surfactante. Al ser un cosolvente polar disminuye la tendencia del surfactante a adsorberse en la interfase líquido-aire y por ello la pendiente de las gráficas se hace menor.

4.2 Exceso superficial

Para analizar el comportamiento de la tensión superficial en función de la fracción molar en cada sistema de este estudio, se habla del exceso superficial, el cual muestra el número de moles de los surfactantes que están presentes en la interfase solvente-aire; el cual se halla utilizando la ecuación 14. Los resultados se dan en términos de la fracción molar del soluto y los datos se encuentran en los anexos E1 a E8.

Para el caso de surfactantes catiónicos se usa la siguiente ecuación:

$$\Gamma = - \frac{1}{2.303nRT} \left(\frac{\partial \gamma}{\partial \log x} \right) \quad (14)$$

En ella n es una constante que depende del tipo de surfactante, R es la constante de los gases, T es la temperatura absoluta y X es la fracción molar del surfactante.

El área mínima por molécula de surfactante se puede determinar con la siguiente ecuación:

$$A_{min} = \frac{1}{\Gamma N} \quad (15)$$

Donde N es el número de Avogadro. En la figura 23 se observa las soluciones de BOTA y BDETA donde a medida que aumenta la concentración en cada sistema, el exceso superficial también aumenta, estos resultados son congruentes ya que al disminuir la tensión superficial los surfactantes tienden a ir a la superficie solvente-aire hasta saturar la interface. Al disminuir la tensión superficial y quedar casi constante en el momento de la saturación el exceso superficial en esa región también queda constante como se observa en la figura 23. Se puede ver que a medida que aumenta la concentración del 1,2 propanodiol en las mezclas el exceso superficial del BDETA disminuye como también ocurre con el BOTA, mostrando que hay mayor exceso de concentración de los surfactantes en la solución acuosa que en las mezclas con el diol. En la figura 24 se puede observar el efecto de la temperatura sobre el exceso superficial evidenciando una disminución del exceso superficial a medida que aumenta la temperatura. En la figura 25 se puede observar que en mismo sistema a medida que aumenta la temperatura el área superficial también aumenta.

Figura 23. Exceso superficial de soluciones de BOTA Y BDETA en agua y mezclas 1,2-propanodiol-agua en función de la fracción molar a 298,15K.

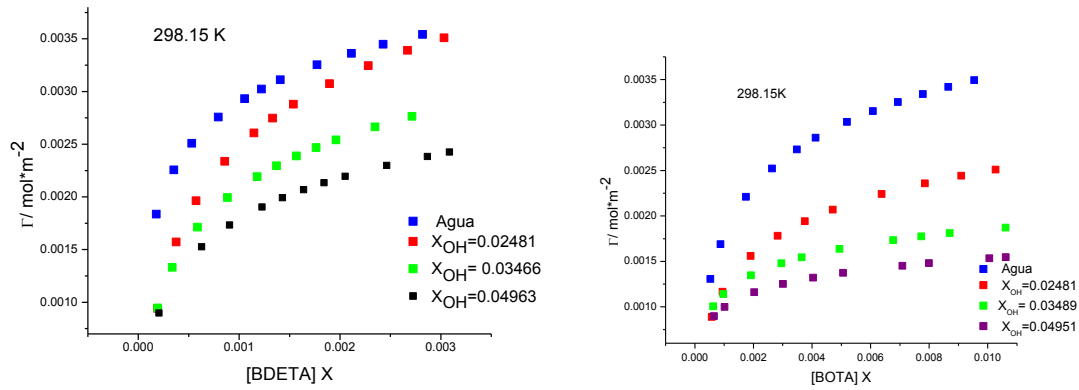


Figura 24. Exceso superficial de soluciones de BOTA y BDETA $X_{OH}=0.02481$ 1,2-propanodiol-agua en función de la fracción molar a diferentes temperaturas.

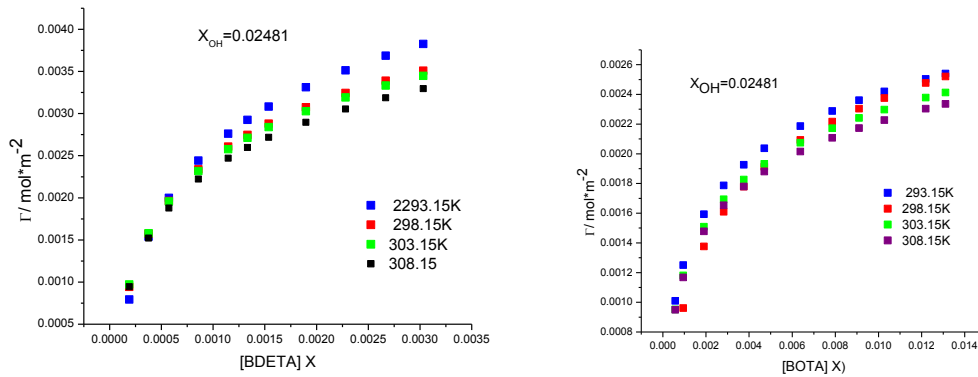
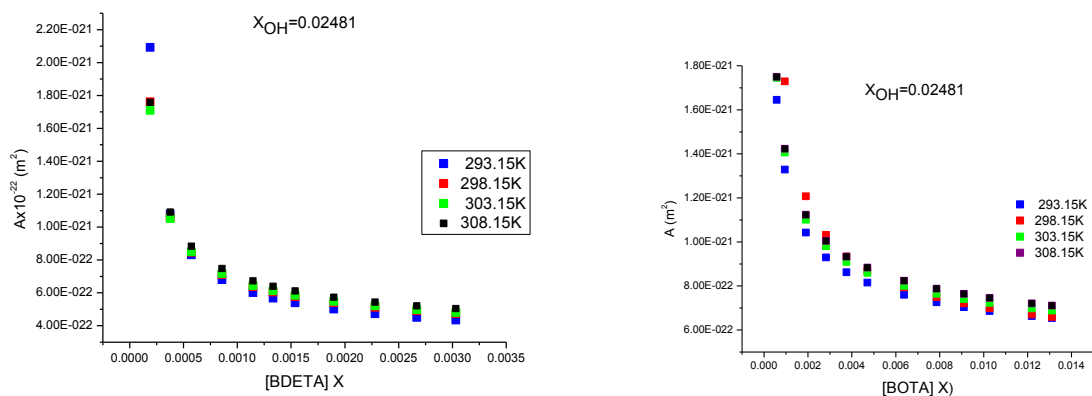


Figura 25. Área superficial de soluciones de BOTA Y BDETA $X_{OH}=0.02481$ 1,2-propanodiol-agua en función de la fracción molar a diferentes temperaturas.



La concentración micelar crítica es característica de la naturaleza del surfactante y de otros factores que afectan al valor de la CMC, como son la presencia de cosolventes el pH y la temperatura y la presión. El tema de la formación de agregados micelares, será considerado para el conjunto de propiedades estudiadas en el capítulo 5.

5. Concentración micelar crítica de soluciones acuosas de bromuros de octiltrimetilamonio y deciltrimetilamonio en presencia de 1,2-propanodiol.

En este capítulo se analiza el comportamiento de la tensión superficial, la velocidad del sonido y la compresibilidad adiabática, que son propiedades muy sensibles a la formación de agregados micelares y por ello resultan muy adecuadas para la detección de la concentración micelar crítica de surfactantes. Como se señaló anteriormente, ni las densidades ni los volúmenes molares aparentes ni las compresibilidades molares aparentes fueron lo suficientemente sensibles para detectar la concentración micelar crítica de los surfactantes. En las Tablas de los anexos C y E, se muestran los resultados experimentales de velocidad del sonido, compresibilidad adiabática y de la tensión superficial en función de la molalidad de bromuro octiltrimetilamonio y bromuro

deciltrimetilamonio en agua y a las tres diferentes mezclas de 1,2-propanodiol-agua y a las temperaturas de 293,15 K; 298,15 K; 303,15 K; y 308,15 K.

La concentración micelar crítica del BOTA Y BDETA se determinó en agua y en tres mezclas agua-1,2-propanodiol a las cuatro temperaturas señaladas, por medio de la tensión superficial, velocidad del sonido y la compresibilidad adiabática. Se observan cambios abruptos en todas las gráficas lo que evidencia una región premicelar y posmicelar. La figura 18 considerada en el Capítulo 3 representan el comportamiento típico observado para los dos surfactantes en agua. y en mezclas 1,2-propanodiol-agua a 298.15 K. Se presentan aquí nuevamente para efectos de comparación para ilustrar el efecto de la adición de 1,2-propanodiol que se muestra en las Figuras 19. Un comportamiento similar se observa a las otras temperaturas.

Figura 26. Tensión superficial (γ), velocidad del sonido (v) y compresibilidad adiabática (K_S) de soluciones acuosas de BOTA en función de la concentración a 298,15 K.

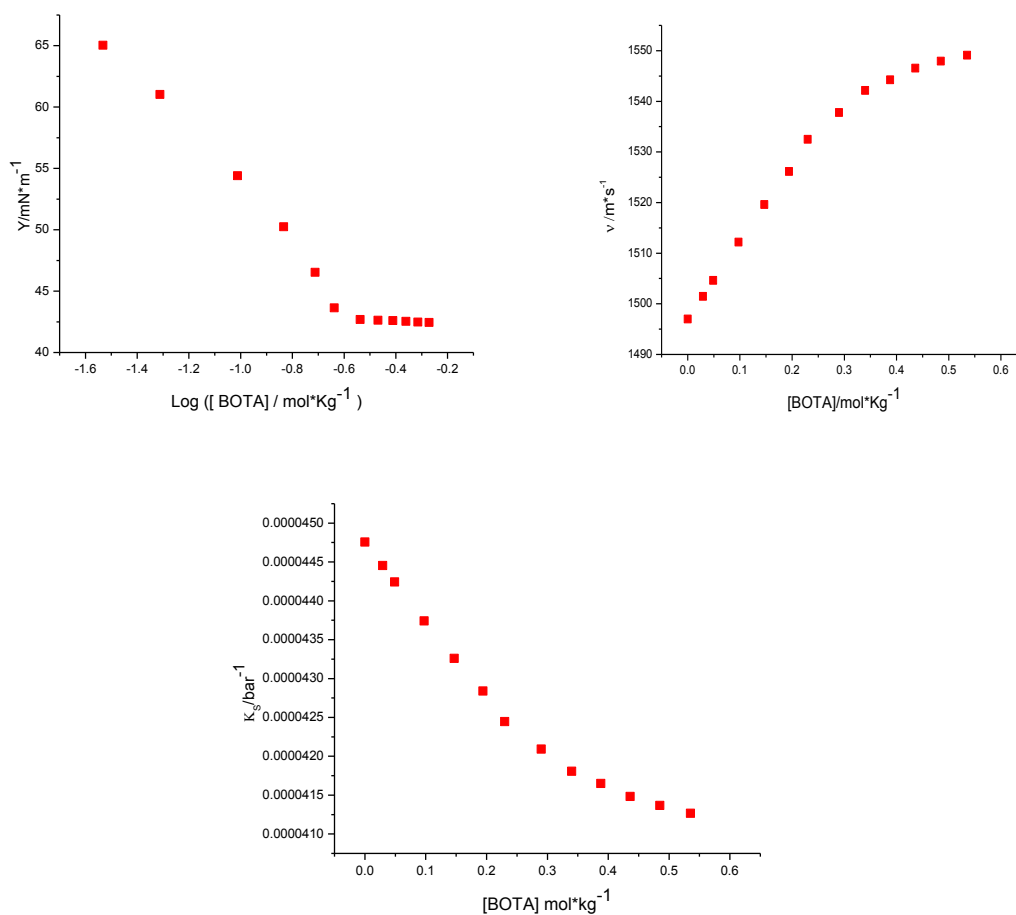


Figura 27 Tensión superficial (γ), velocidad del sonido (v) y compresibilidad adiabática (K_S) de soluciones de BOTA en mezclas 1,2-propanodiol-agua ($X_{OH}=0,02481$ del alcohol), en función de la concentración a 298,15 K.

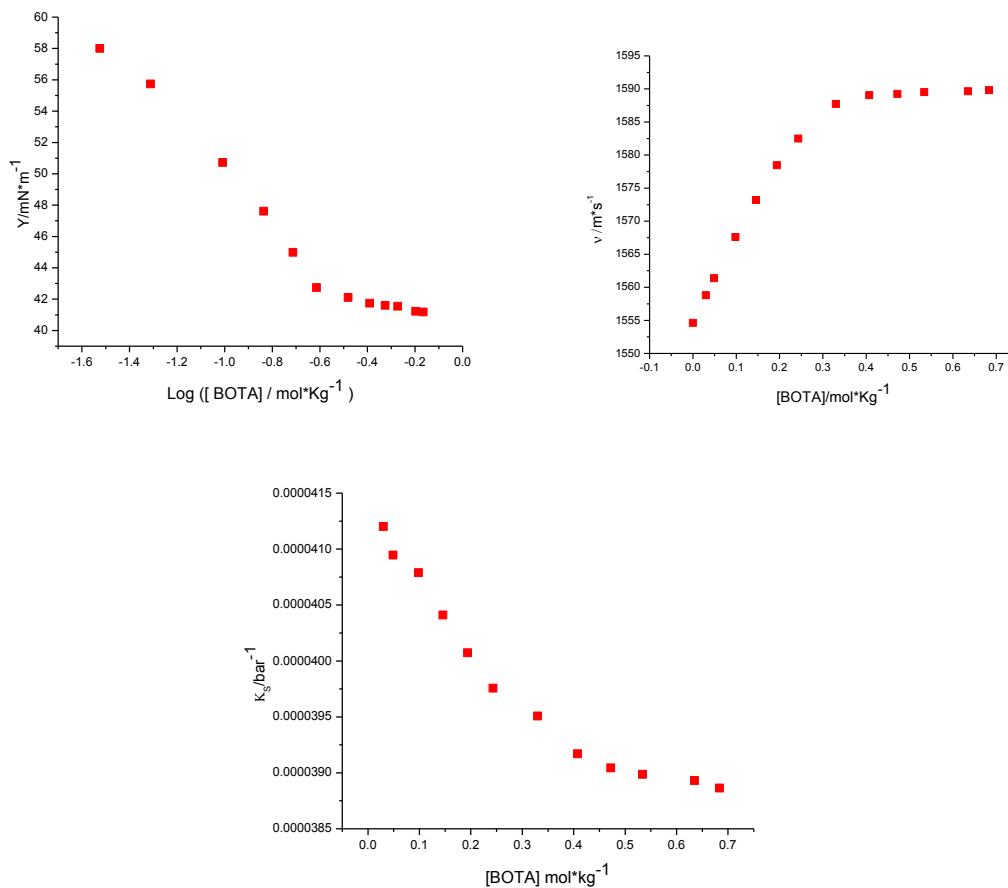


Figura 28 Tensión superficial (γ), velocidad del sonido (v) y compresibilidad adiabática (K_S) de soluciones de BOTA en mezclas 1,2-propanodiol-agua ($X_{OH}=0,03489$), en función de la concentración a 298,15 K.

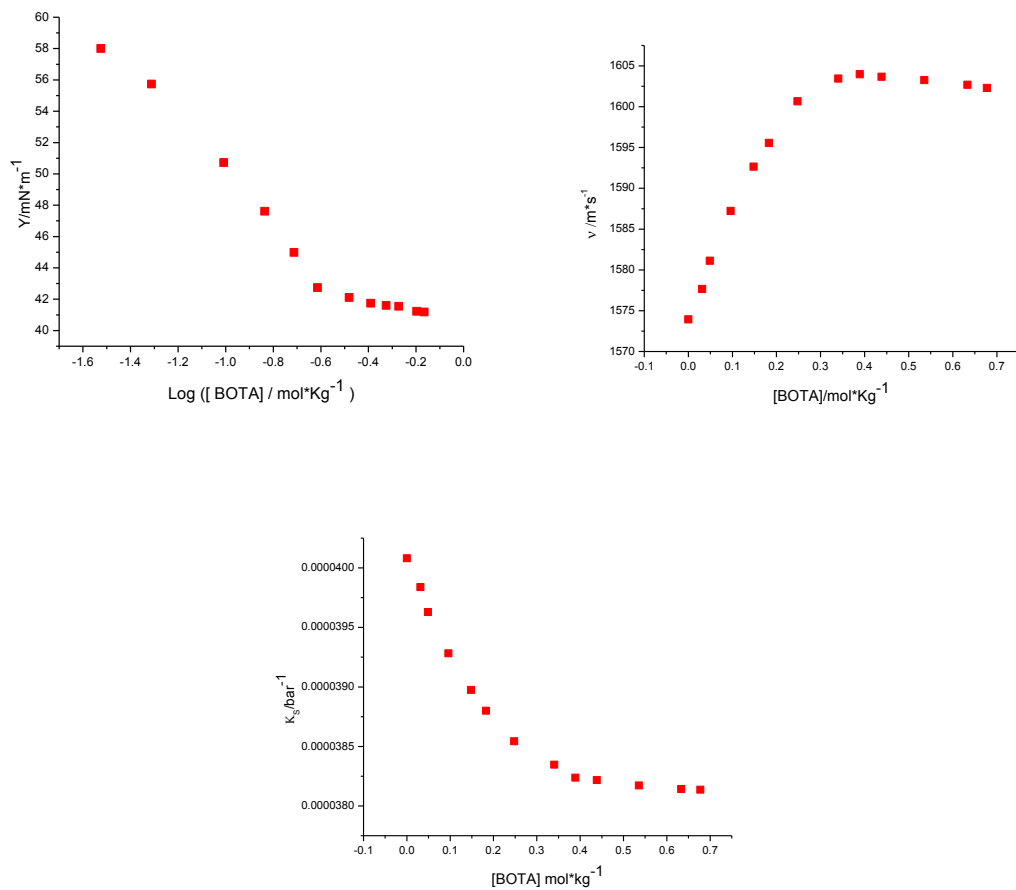
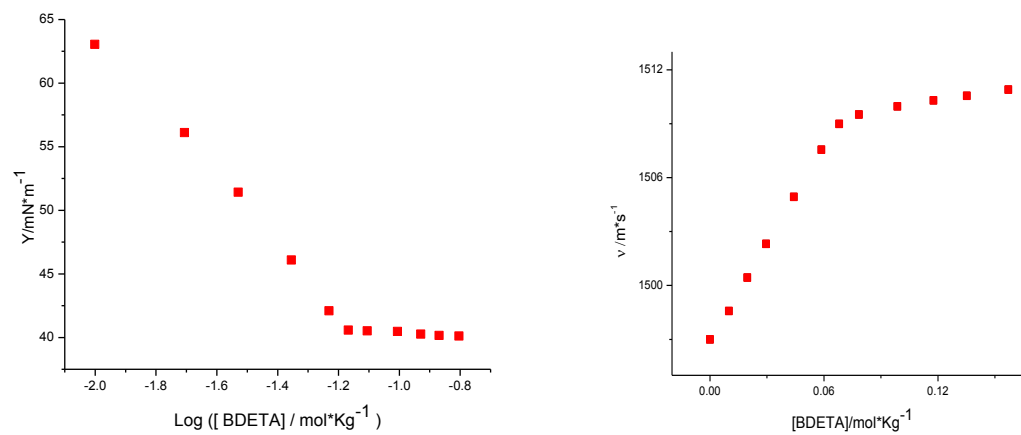


Figura 29 Tensión superficial (γ), velocidad del sonido (v) y compresibilidad adiabática (K_s) de soluciones acuosas de BDETA en función de la concentración a 298,15 K.



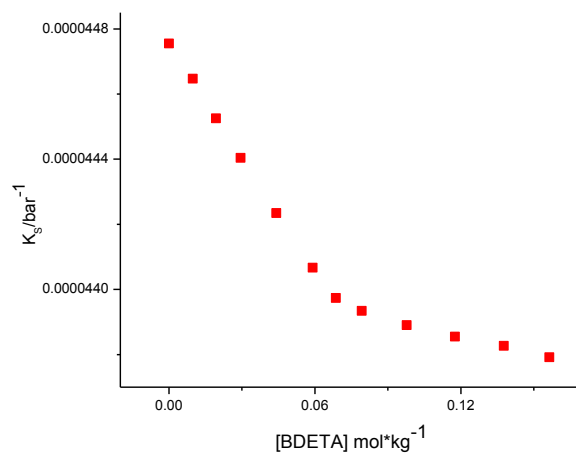


Figura 30. Tensión superficial (γ), velocidad del sonido (v) y compresibilidad adiabática (K_S) de soluciones de BDETA en mezclas 1,2-propanodiol-agua $X_{\text{OH}}=0,02481$ del alcohol, en función de la concentración a 298,15 K.

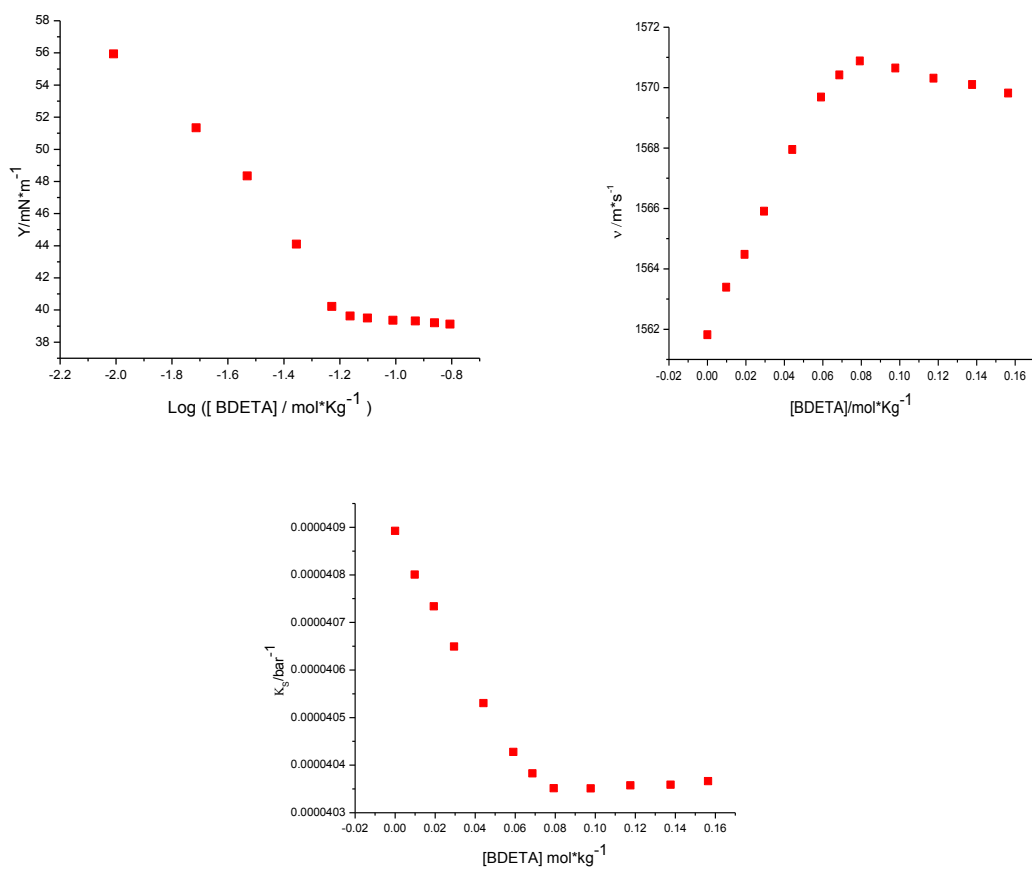


Figura 31 Tensión superficial (γ), velocidad del sonido (v) y compresibilidad adiabática (K_S) de soluciones de BDETA en mezclas agua-1,2-propanodiol ($X_{OH}=0,03466$ del alcohol), en función de la concentración a 298,15 K.

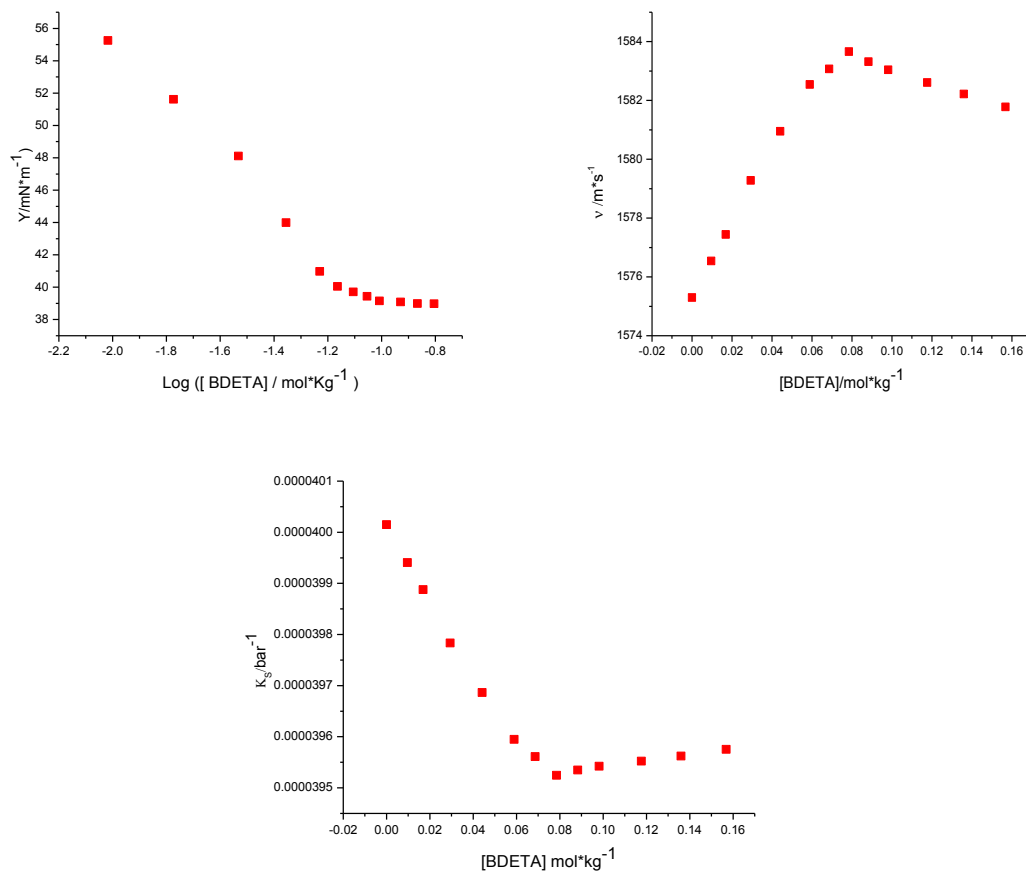
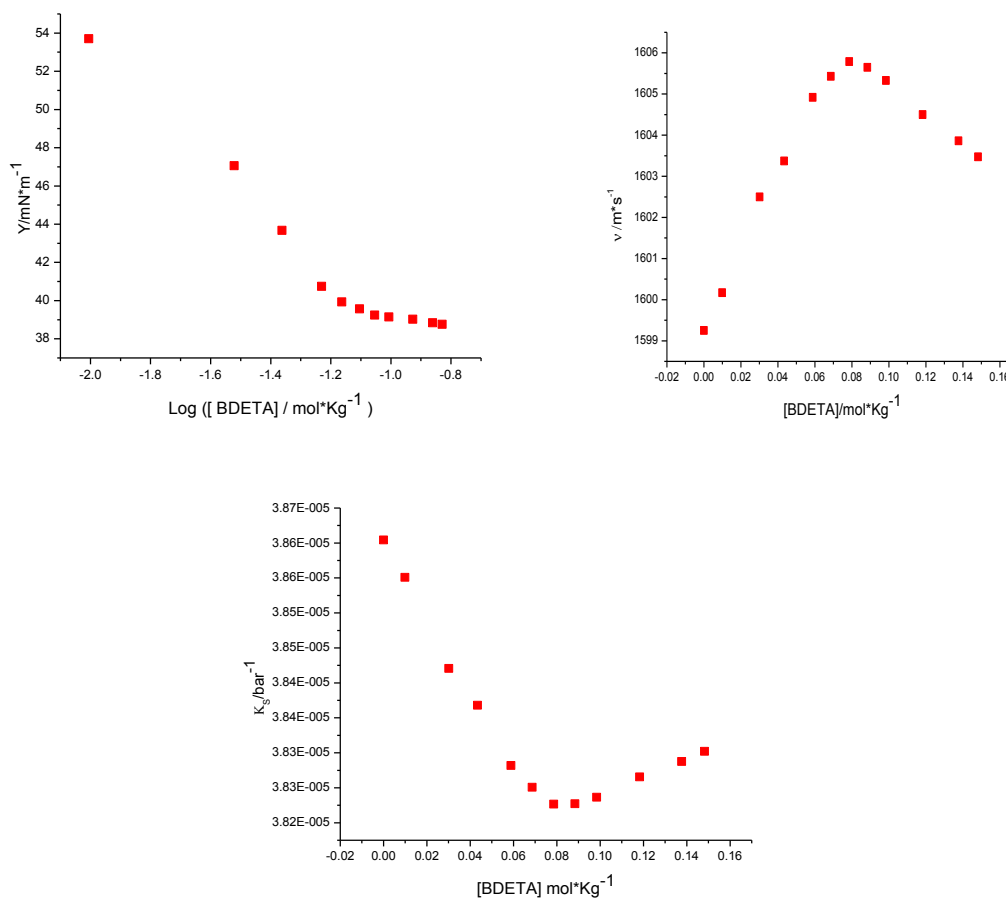


Figura 32 Tensión superficial (γ), velocidad del sonido (v) y compresibilidad adiabática (K_S) de soluciones de BDETA en mezclas agua-1,2-propanodiol ($X_{OH}=0,04963$ del alcohol), en función de la concentración a 298,15 K.



El cambio abrupto en el comportamiento de la propiedad se utilizó para determinar la concentración micelar crítica del BOTA Y BDETA.

Los resultados muestran que las técnicas experimentales utilizadas son adecuadas para la determinación de la concentración micelar crítica. Los valores de la CMC en agua para el BOTA Y BDETA a los 298,15K, concuerdan con el rango de valores reportados previamente y medidos por diferentes técnicas, como se muestra en la tabla 5 [19], [59], [62], [63], [65], [66].

Usando las diferentes mezclas agua-1,2-propanodiol como solvente es posible seguir los cambios graduales en las concentraciones micelares críticas del bromuro octiltrimetilamonio y bromuro deciltrimetilamonio respecto al sistema acuoso. Es así que se determinaron las CMC de los 4 sistemas a las 4 temperaturas del BOTA Y BDETA como se observa en las tablas 13 y 14.

Tabla 13 Valores de la concentración micelar crítica (CMC) de soluciones acuosas del Bromuro octiltrimetilamonio y en presencia de 1,2-propanodiol desde 293.15 a 308.15K

T/k	CMC_{γ} mol*kg ⁻¹	CMC_{ν} mol*kg ⁻¹	CMC_{K_s} mol*kg ⁻¹
Agua			
293,15	0,2811 ± 4 E-4	0,2711 ± 1 E-4	0,27445 ± 3 E-5
298,15	0,2830 ± 3 E-4	0,2702 ± 1 E-4	0,27979 ± 4 E-5
303,15	0,2838 ± 4 E-4	0,2688 ± 2 E-4	0,27402 ± 4 E-5
308,15	0,2799 ± 3 E-4	0,2773 ± 1 E-4	0,27442 ± 4 E-5
$X_{OH} = 0,02481$			
293,15	0,2952 ± 5 E-4	0,2842 ± 2 E-4	0,29037 ± 3 E-5
298,15	0,3076 ± 5 E-4	0,2870 ± 2 E-4	0,28758 ± 4 E-5
303,15	0,2962 ± 5 E-4	0,2848 ± 2 E-4	0,28519 ± 4 E-5
308,15	0,2889 ± 6 E-4	0,2843 ± 2 E-4	0,28447 ± 4 E-5
$X_{OH} = 0,03489$			
293,15	0,3158 ± 6 E-4	0,3193 ± 2 E-4	0,31882 ± 4 E-5
298,15	0,3145 ± 6 E-4	0,3078 ± 1 E-4	0,31095 ± 4 E-5
303,15	0,3163 ± 7 E-4	0,3134 ± 2 E-4	0,31298 ± 4 E-5
308,15	0,2988 ± 7 E-4	0,3191 ± 2 E-4	0,31899 ± 5 E-5
$X_{OH} = 0,04951$			
293,15	0,326 ± 1 E-3	0,3248 ± 2 E-4	0,32456 ± 5 E-5
298,15	0,327 ± 1 E-3	0,3179 ± 2 E-4	0,33541 ± 6 E-5
303,15	0,328 ± 1 E-3	0,3233 ± 2 E-4	0,32788 ± 6 E-5
308,15	0,328 ± 1 E-3	0,3251 ± 3 E-4	0,32289 ± 7 E-5

Tabla 14 Valores de la concentración micelar crítica (CMC) de soluciones acuosas del Bromuro deciltrimetilamonio y en presencia de 1,2-propanodiol desde 293.15 a 308.15K.

T/k	CMC_{γ} mol*kg ⁻¹	CMC_{ν} mol*kg ⁻¹	CMC_{K_s} mol*kg ⁻¹
Agua			

293,15	$0,0702 \pm 4 \text{ E-4}$	$0,0696 \pm 1 \text{ E-4}$	$0,06950 \pm 3 \text{ E-5}$
298,15	$0,0701 \pm 2 \text{ E-4}$	$0,0698 \pm 1 \text{ E-4}$	$0,06956 \pm 4 \text{ E-5}$
303,15	$0,0700 \pm 4 \text{ E-4}$	$0,0692 \pm 2 \text{ E-4}$	$0,06975 \pm 4 \text{ E-5}$
308,15	$0,0696 \pm 3 \text{ E-4}$	$0,0696 \pm 1 \text{ E-4}$	$0,06968 \pm 4 \text{ E-5}$
$X_{OH} = 0,02481$			
293,15	$0,0714 \pm 5 \text{ E-4}$	$0,0706 \pm 2 \text{ E-4}$	$0,07058 \pm 3 \text{ E-5}$
298,15	$0,0716 \pm 5 \text{ E-4}$	$0,0704 \pm 2 \text{ E-4}$	$0,07016 \pm 4 \text{ E-5}$
303,15	$0,0712 \pm 5 \text{ E-4}$	$0,0703 \pm 2 \text{ E-4}$	$0,07061 \pm 4 \text{ E-5}$
308,15	$0,0722 \pm 6 \text{ E-4}$	$0,0713 \pm 2 \text{ E-4}$	$0,07113 \pm 4 \text{ E-5}$
$X_{OH} = 0,03466$			
293,15	$0,0746 \pm 6 \text{ E-4}$	$0,0710 \pm 2 \text{ E-4}$	$0,07134 \pm 4 \text{ E-5}$
298,15	$0,0754 \pm 6 \text{ E-4}$	$0,0707 \pm 1 \text{ E-4}$	$0,07074 \pm 4 \text{ E-5}$
303,15	$0,0747 \pm 7 \text{ E-4}$	$0,0714 \pm 2 \text{ E-4}$	$0,07117 \pm 4 \text{ E-5}$
308,15	$0,0752 \pm 7 \text{ E-4}$	$0,0720 \pm 2 \text{ E-4}$	$0,07138 \pm 5 \text{ E-5}$
$X_{OH} = 0,04963$			
293,15	$0,078 \pm 1 \text{ E-3}$	$0,0733 \pm 2 \text{ E-4}$	$0,07310 \pm 5 \text{ E-5}$
298,15	$0,079 \pm 1 \text{ E-3}$	$0,0741 \pm 2 \text{ E-4}$	$0,07425 \pm 6 \text{ E-5}$
303,15	$0,080 \pm 1 \text{ E-3}$	$0,0729 \pm 2 \text{ E-4}$	$0,07348 \pm 6 \text{ E-5}$
308,15	$0,081 \pm 1 \text{ E-3}$	$0,0751 \pm 3 \text{ E-4}$	$0,07444 \pm 7 \text{ E-5}$

Puede apreciarse que en el rango de temperatura considerado en este trabajo, la concentración micelar crítica no presenta una dependencia con la temperatura.

Todas las técnicas utilizadas para determinar la CMC, muestran a bajas concentraciones de surfactante un cambio en la propiedad con el incremento en la concentración molar de BOTA Y BDETA; esto es debido a que las moléculas de los surfactantes migran del seno de la solución a la interfase, donde se adsorben orientando sus partes polares hacia el seno de la solución y sus cadenas hidrocarbonadas hacia el aire. Cuando la interfase líquido/aire se satura, los cambios en las propiedades con el incremento en la concentración de las sales es abrupto y se aprecia claramente la concentración a la cual ocurre el cambio. El comportamiento puede ser descrito por dos rectas como se observa en las gráficas 26 a 32. La primera recta a las concentraciones más bajas, describe el comportamiento de la región premicelar. La segunda recta en la que la disminución en la tensión es muy pequeña corresponde a la región posmicelar,

En las tablas 13 y 14 se observa que a medida que aumenta la concentración del 1,2-propanodiol la CMC de las dos sales de amonio cuaternario se incrementa.

La presencia del 1,2-propanodiol afecta la formación de micelas, haciendo que interacciones entre el BOTA Y BDETA y las mezclas de 1,2-propanodiol-agua no son favorables incrementado la CMC.

El efecto de los alcoholes en el aumento o disminución de la CMC, depende del tipo de alcohol. Se ha encontrado que los alcoholes primarios como el etanol que tiene un carácter hidrofílico, tiendes a aumentar la CMC. Al aumentar la longitud de la cadena hidrocarbonada del alcohol el comportamiento cambia por el incremento en el carácter hidrofóbico. La consecuencia es que ello contribuye a la formación micelar por lo cual disminuye la CMC, como es el caso del propanol, donde estudios anteriores revelan que este alcohol afecta la CMC de las soluciones de BOTA Y BDETA causando una disminución de la CMC [48], [90]. Esta disminución de la CMC por parte del propanol se presenta porque la cadena apolar es hidrofóbica. La CMC disminuye además al aumentar la longitud de la cadena apolar del surfactante. Investigaciones experimentales y teóricas acerca del comportamiento de bromuros de n-alquiltrimetilamonio revelan que en presencia de alcoholes hay una disminución en el número de agregación y tamaño micelar [104]–[106].

El 1,2-propanodiol utilizado en esta investigación muestra un carácter hidrofílico por la presencia de los dos grupos OH y su cadena corta; los dos grupos hidroxilo forman puentes de hidrogeno con el agua y por su cadena corta, la cadena hidrocarbonada no ejerce la influencia suficiente para tener interacciones favorables con el núcleo hidrofóbico de la micela. De esta manera el 1,2-propanodiol tiene la capacidad de formar enlaces de hidrogeno y la cadena de metileno corta no favorece la transferencia de estas moléculas hacia el núcleo de la micela. Estudios con otras sales de bromuros de n-alquiltrimetilamonio muestran que los alcoholes hidrofílicos de cadena corta se oponen la formación de micelar, incrementando así la CMC [104]. Adicionalmente el 1,2-propanodiol aumenta la CMC pues disminuye la constante dieléctrica de la fase acuosa de esta manera se favorece la repulsión mutua de las cabezas iónicas en la micela, oponiéndose a la formación micelar incrementando la CMC [70], [73], [75], [77], [81],

[85], [87], [104], [107]. Los resultados de este estudio son similares a otras investigaciones donde los alcoholes primarios o de cadena larga disminuyen la CMC y los alcoholes dioles y polioles de cadena corta aumentan la CMC, como se muestra en la tabla 1.3.

Investigaciones experimentales y teóricas acerca de bromuros de n-alquiltrimetilamonio revelan que en presencia de alcoholes hay una disminución en el número de agregación y tamaño micelar [104]–[106].

Conclusiones y recomendaciones

1.1 Conclusiones

En este trabajo se aportan datos precisos de propiedades fisicoquímicas de las soluciones acuosas de los bromuros deciltrimetilamonio y octiltrimetilamonio en presencia de 1,2-propanodiol. Algunos datos como es el caso de volúmenes molares parciales, exceso superficial y concentración micelar crítica en función de temperatura y concentración de 1,2-propanodiol, no han sido reportados en la literatura.

Se observa que el volumen molar aparente aumenta en función del aumento de la concentración. El cambio en el volumen molar aparente a las temperaturas seleccionadas muestran una pequeña dependencia en el caso del BOTA, mientras que no se evidencia dependencia en el BDETA.

La propiedad el volumen molar aparente en función de la concentración no presenta un cambio significativo que permita determinar la CMC.

El volumen molar parcial a dilución infinita de las sales de amonio cuaternario tiende a disminuir al aumentar la concentración de 1,2-propanodiol, a excepción de la concentración más alta de diol, en el que la tendencia es diferente. Lo anterior está de acuerdo con estudios previos sobre el efecto de alcoholes en estos sistemas.

Las expansibilidades molares parciales a dilución infinita para las dos sales de amonio, presentan un claro aumento excepto para la última concentración del diol.

Cuando se considera la dependencia de la compresibilidad molar aparente con la concentración de surfactante, se observa que la transición entre la región premicelar y la región posmicelar no es definida y por ello esta propiedad no fue utilizada para la determinación de la concentración micelar crítica.

La pendiente límite de las curvas de tensión superficial en función de la fracción molar en la región diluida es negativa para las dos sales de amonio cuaternario estudiadas, indicando que en todos los casos el exceso superficial es positivo y se hace mayor a medida que la longitud de la cadena alquilo aumenta.

Las propiedades que permiten determinar la concentración micelar crítica fueron la tensión superficial, velocidad del sonido y la compresibilidad adiabática, debido al cambio evidente en sus propiedades en función de la concentración, evidenciando una región premicelar y posmicelar.

En el rango de temperatura considerado en este trabajo, la concentración micelar crítica no presenta una dependencia con la temperatura.

La concentración micelar crítica del BOTA y BDETA aumenta con la presencia del 1,2-propanodiol debido al comportamiento hidrofílico del alcohol.

1.2 Recomendaciones

Realizar un estudio sistemático del comportamiento de las sales de amonio cuaternario en presencia del 1,2 propanodiol por medidas de fluorescencia, para determinar el número de agregación y así tener una información más completa sobre el efecto que tiene el diol sobre la estructura del surfactante.

Ampliar el rango de concentración del 1,2 propanodiol en las soluciones de sales, para determinar si hay un mínimo a medida que aumenta la concentración del diol en los volúmenes molares parciales, como se observa en las mezclas con agua.

Ampliar el rango de temperatura para determinar con precisión si la concentración micelar crítica es independiente o no de la temperatura.

Realizar un estudio con el glicerol para determinar el efecto al aumentar los grupos hidroxilos en la formación micelar.

Anexo A. Determinación de la tensión superficial, densidad y velocidad del sonido para determinar tiempos de equilibrio del Bromuro deciltrimetilamonio a 298.15K

Anexo A1. Tabla de la tensión superficial, densidades y velocidades del sonido de la solución Bromuro deciltrimetilamonio en agua a 298.15K.

m	γ	ρ	v	γ	ρ	v	γ	ρ	v
0.00000	71.80	0.997045	1497.00	71.86	0.997048	1497.01	71.79	0.997047	1497.02
0.00978	62.98	0.997356	1498.60	63.07	0.997359	1498.62	63.01	0.997352	1498.59
0.01912	56.10	0.997587	1500.44	56.06	0.997590	1500.40	56.09	0.997589	1500.47
0.02929	51.42	0.997822	1502.23	51.39	0.997818	1502.28	51.45	0.997820	1502.26
0.04477	46.05	0.998167	1504.83	46.10	0.998165	1504.79	46.12	0.998160	1504.78
0.05830	42.10	0.998484	1507.56	42.15	0.998482	1507.48	42.13	0.998484	1507.45
0.11721	40.21	0.999658	1510.16	40.28	0.999660	1510.21	40.25	0.999654	1510.17
0.13501	40.16	0.999947	1510.48	40.11	0.999950	1510.52	40.15	0.999947	1510.55
0.15312	40.22	1.000310	1510.83	40.18	1.000311	1510.80	40.15	1.000315	1510.86

m : mol*kg⁻¹ ; ρ : g*cm⁻³ ; γ : mN*m⁻¹

Las primeras medidas se realizaron a los 10 minutos de preparar la solución. Las segundas medidas fueron a las 24 horas y las últimas a las 48 horas.

Anexo B. Determinación de las incertidumbres de las medidas experimentales

Las incertidumbres fueron evaluadas de la expresión general para cualquier función.

$$\Delta f = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 (\Delta x_i)^2}$$

Incertidumbre en la molalidad:

$$\Delta m = \sqrt{\left(\frac{1}{M_{sto} m_{ste}}\right)^2 (\Delta W)^2 + \left(\frac{m_{sto}}{M_{sto} m_{ste}^2}\right)^2 (\Delta W)^2}$$

Donde M_{sto} es la masa molecular del soluto, m_{ste} es la masa del solvente, m_{sto} es la masa del soluto y ΔW es la incertidumbre de la balanza.

Incertidumbre volumen molar aparente:

$$dV_{\phi} = \sqrt{\left(\left(\frac{\partial V_{\phi}}{\partial \rho}\right) \Delta \rho\right)^2 + \left(\left(\frac{\partial V_{\phi}}{\partial \rho^0}\right) \Delta \rho^0\right)^2 + \left(\left(\frac{\partial V_{\phi}}{\partial m}\right) \Delta m\right)^2}$$

Determinación de la incertidumbre en la tensión superficial

La incertidumbre en la determinación de la tensión superficial se calcula a partir de la ecuación según:

$$\%e(\sigma) = \sqrt{(\%e(V))^2 + (\%e(\Delta\rho))^2 + (\%e(g))^2 + (\%e(r_{cap}))^2 + (\%e(f))^2}$$

Las incertidumbres son $\pm 0,01 \mu\text{L}$, $\pm 1,0 \times 10^{-5} \text{ g/cm}^3$, $\pm 1,0 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$, $\pm 1,0 \times 10^{-5} \text{ m}$ y $\pm 1,0 \times 10^{-2}$ para el volumen de gota, la diferencia de densidades, la gravedad, el radio del capilar y el factor de corrección. Con estos valores, la incertidumbre estimada para la tensión superficial tiene un valor de $\pm 0,01 \text{ mN/m}$.

Incertidumbre en la compresibilidad adiabática:

$$dK_s = \sqrt{\left(\left(\frac{\partial K_s}{\partial v}\right) \Delta v\right)^2 + \left(\left(\frac{\partial K_s}{\partial \rho}\right) \Delta \rho\right)^2}$$

Incertidumbre en la compresibilidad adiabática molar aparente:

$$dK_\phi = \sqrt{\left(\left(\frac{\partial K_\phi}{K_s}\right) \Delta K_s\right)^2 + \left(\left(\frac{\partial K_\phi}{\partial \rho^0}\right) \Delta \rho^0\right)^2 + \left(\left(\frac{\partial K_\phi}{\partial m}\right) \Delta m\right)^2 + \left(\left(\frac{\partial K_\phi}{\partial \rho}\right) \Delta \rho\right)^2 + \left(\left(\frac{\partial K_\phi}{K_s^0}\right) \Delta K_s^0\right)^2}$$

Anexo C: Densidad y volumen molar aparente para las soluciones de BOTA y BDETA en agua y mezclas 1,2-propanodiol

Anexo C1. Tabla de densidades y volúmenes molares aparentes de soluciones del Bromuro octiltrimetilamonio en agua a (293.15; 298.15; 303.15; y 308.15) K

m	σm	ρ	V_{ϕ}	σV_{ϕ}	ρ	V_{ϕ}	σV_{ϕ}
293.15K				298.15K			
0.00000		0.998203			0.997047		
0.02938	3.1E-06	0.999079	222.57	0.09	0.997844	225.51	0.09
0.04878	2.9E-06	0.999650	222.59	0.03	0.998392	224.93	0.03
0.09729	3.0E-06	1.001046	222.72	0.02	0.999732	224.61	0.02
0.14677	2.5E-06	1.002423	222.88	0.02	1.001054	224.61	0.02
0.19412	2.0E-06	1.003697	223.05	0.01	1.002275	224.71	0.01
0.23000	1.6E-06	1.004633	223.19	0.01	1.003173	224.80	0.01
0.29003	1.1E-06	1.006143	223.43	0.01	1.004620	225.00	0.01
0.33987	5.7E-05	1.007344	223.64	0.01	1.005770	225.19	0.01
0.38798	8.5E-05	1.008457	223.86	0.01	1.006836	225.38	0.01
0.43593	6.5E-05	1.009522	224.08	0.01	1.007856	225.59	0.01
0.48489	5.5E-05	1.010563	224.32	0.01	1.008852	225.81	0.01
0.53522	4.5E-05	1.011585	224.58	0.01	1.009829	226.06	0.01
303.15K				308.15K			
0.00000			0.995645				0.994029
0.02938	3.1E-06	0.996520	223.08	0.09	0.994894	223.74	0.09
0.04878	2.9E-06	0.997053	223.89	0.03	0.995410	224.77	0.03
0.09729	3.0E-06	0.998354	224.63	0.02	0.996671	225.66	0.02
0.14677	2.5E-06	0.999636	225.00	0.02	0.997913	226.08	0.02
0.19412	2.0E-06	1.000820	225.27	0.01	0.999060	226.37	0.01
0.23000	1.6E-06	1.001689	225.46	0.01	0.999903	226.56	0.01
0.29003	1.1E-06	1.003088	225.76	0.01	1.001261	226.86	0.01
0.33987	5.7E-05	1.004198	226.00	0.01	1.002339	227.10	0.01
0.38798	8.5E-05	1.005226	226.24	0.01	1.003337	227.34	0.01
0.43593	6.5E-05	1.006207	226.49	0.01	1.004290	227.57	0.01
0.48489	5.5E-05	1.007164	226.75	0.01	1.005221	227.82	0.01
0.53522	4.5E-05	1.008100	227.02	0.01	1.006133	228.08	0.01

$m, \sigma m$: mol*kg⁻¹; ρ : g*cm⁻³; $V_{\phi}, \sigma V_{\phi}$: cm³*mol⁻¹

Anexo C2. Tabla de densidades y volúmenes molares aparentes de soluciones del Bromuro octiltrimetilamonio en mezclas 1,2-propanodiol $X_{OH}=0.002481$ (293.15; 298.15; 303.15; y 308.15) K

m	σm	ρ	V_ϕ	σV_ϕ	ρ	V_ϕ	σV_ϕ
293.15K				298.15K			
0.00000		1.005611			1.004243		
0.02987	3.1E-06	1.006441	223.17	0.09	1.005079	223.22	0.09
0.04876	2.9E-06	1.007023	221.87	0.03	1.005624	222.77	0.03
0.09820	3.0E-06	1.008502	221.07	0.02	1.007010	222.61	0.02
0.14578	2.5E-06	1.009863	221.04	0.02	1.008287	222.76	0.02
0.19382	2.0E-06	1.011176	221.21	0.01	1.009521	222.99	0.01
0.24326	1.5E-06	1.012461	221.47	0.01	1.010733	223.27	0.01
0.33007	6.4E-05	1.014558	222.04	0.01	1.012718	223.82	0.01
0.40728	7.7E-05	1.016253	222.63	0.01	1.014330	224.35	0.01
0.47223	6.4E-05	1.017554	223.16	0.01	1.015574	224.83	0.01
0.53385	4.5E-05	1.018682	223.7	0.01	1.016660	225.31	0.01
0.63475	6.1E-05	1.020309	224.64	0.01	1.018240	226.15	0.01
0.68340	5.2E-05	1.020995	225.12	0.01	1.018914	226.57	0.01
303.15K				308.15K			
0.00000		1.00264			1.000835		
0.02987	3.1E-06	1.00344	224.80	0.09	1.001603	226.18	0.09
0.04876	2.9E-06	1.00396	224.38	0.03	1.002101	225.81	0.03
0.09820	3.0E-06	1.00528	224.23	0.02	1.003369	225.69	0.02
0.14578	2.5E-06	1.00650	224.36	0.02	1.004540	225.81	0.02
0.19382	2.0E-06	1.00768	224.57	0.01	1.005674	226.00	0.01
0.24326	1.5E-06	1.00884	224.82	0.01	1.006790	226.24	0.01
0.33007	6.4E-05	1.01074	225.32	0.01	1.008623	226.70	0.01
0.40728	7.7E-05	1.01229	225.82	0.01	1.010120	227.15	0.01
0.47223	6.4E-05	1.01349	226.26	0.01	1.011281	227.56	0.01
0.53385	4.5E-05	1.01454	226.70	0.01	1.012300	227.97	0.01
0.63475	6.1E-05	1.01607	227.47	0.01	1.013794	228.68	0.01
0.68340	5.2E-05	1.01673	227.85	0.01	1.014438	229.04	0.01

$m, \sigma m$: mol*kg⁻¹; ρ : g*cm⁻³; $V_\phi, \sigma V_\phi$: cm³*mol⁻¹

Anexo C3. Tabla de densidades y volúmenes molares aparentes de soluciones del Bromuro octiltrimetilamonio en mezclas 1,2-propanodiol $X_{OH}=0.003489$ (293.15; 298.15; 303.15; y 308.15) K

m	σm	ρ	V_ϕ	σV_ϕ	ρ	V_ϕ	σV_ϕ
293.15K				298.15K			
0.00000		1.008641			1.007140		
0.03137	4.1E-06	1.009614	219.36	0.09	1.008068	221.07	0.09
0.04866	2.9E-06	1.010108	220.11	0.03	1.008538	221.82	0.03
0.09591	2.9E-06	1.011425	220.93	0.02	1.009789	222.63	0.02
0.14791	2.5E-06	1.012814	221.42	0.02	1.011112	223.09	0.02
0.18293	2.0E-06	1.013715	221.69	0.01	1.011971	223.34	0.01
0.24772	1.5E-06	1.015308	222.15	0.01	1.013492	223.75	0.01
0.34038	6.2E-05	1.017420	222.78	0.01	1.015514	224.32	0.01
0.38901	8.3E-05	1.018451	223.11	0.01	1.016503	224.62	0.01
0.43840	7.2E-05	1.019442	223.46	0.01	1.017457	224.94	0.01
0.53558	6.3E-05	1.021230	224.17	0.01	1.019184	225.57	0.01
0.63334	5.7E-05	1.022811	224.92	0.01	1.020722	226.25	0.01
0.67748	6.2E-05	1.023453	225.27	0.01	1.021350	226.57	0.01
303.15K				308.15K			
0.00000		1.005421			1.003503		
0.03137	4.1E-06	1.006328	222.07	0.09	1.004291	226.22	0.09
0.04866	2.9E-06	1.006776	223.02	0.03	1.004720	226.25	0.03
0.09591	2.9E-06	1.007972	223.99	0.02	1.005863	226.38	0.02
0.14791	2.5E-06	1.009237	224.50	0.02	1.007075	226.56	0.02
0.18293	2.0E-06	1.010060	224.75	0.01	1.007864	226.69	0.01
0.24772	1.5E-06	1.011519	225.15	0.01	1.009264	226.95	0.01
0.34038	6.2E-05	1.013464	225.69	0.01	1.011137	227.35	0.01
0.38901	8.3E-05	1.014419	225.97	0.01	1.012058	227.57	0.01
0.43840	7.2E-05	1.015341	226.25	0.01	1.012950	227.81	0.01
0.53558	6.3E-05	1.017018	226.83	0.01	1.014576	228.30	0.01
0.63334	5.7E-05	1.018519	227.45	0.01	1.016040	228.83	0.01
0.67748	6.2E-05	1.019137	227.74	0.01	1.016645	229.09	0.01

$m, \sigma m$: mol*kg⁻¹; ρ : g*cm⁻³; $V_\phi, \sigma V_\phi$: cm³*mol⁻¹

Anexo C4. Tabla de densidades y volúmenes molares aparentes de soluciones del Bromuro octiltrimetilamonio en mezclas 1,2-propanodiol $X_{OH}=0.04963$ (293.15; 298.15; 303.15; y 308.15) K

m	σm	ρ	V_{ϕ}	σV_{ϕ}	ρ	V_{ϕ}	σV_{ϕ}
293.15K				298.15K			
0		1.012874			1.011169		
0.03137	3.9E-06	1.013767	221.07	0.09	1.012024	222.59	0.09
0.04866	2.9E-06	1.014236	221.44	0.03	1.01247	223.00	0.03
0.09735	2.5E-06	1.015520	221.95	0.02	1.013693	223.53	0.02
0.14450	2.5E-06	1.016712	222.29	0.02	1.014831	223.85	0.02
0.19430	2.0E-06	1.017918	222.61	0.01	1.015983	224.14	0.01
0.24361	1.5E-06	1.019057	222.93	0.01	1.017075	224.42	0.01
0.34195	6.0E-05	1.021165	223.56	0.01	1.019103	224.99	0.01
0.38609	1.2E-05	1.022041	223.85	0.01	1.019949	225.25	0.01
0.48670	5.6E-05	1.023875	224.55	0.01	1.021730	225.86	0.01
0.51387	6.3E-05	1.024331	224.75	0.01	1.022176	226.04	0.01
0.63255	4.5E-05	1.026130	225.64	0.01	1.023945	226.82	0.01
303.15K				308.15K			
0		1.009264			1.007176		
0.03137	3.9E-06	1.010084	224.06	0.09	1.007948	226.01	0.09
0.04866	2.9E-06	1.010509	224.52	0.03	1.008352	226.34	0.03
0.09735	2.5E-06	1.011674	225.08	0.02	1.009465	226.74	0.02
0.14450	2.5E-06	1.012759	225.39	0.02	1.010503	226.99	0.02
0.19430	2.0E-06	1.013861	225.66	0.01	1.011558	227.21	0.01
0.24361	1.5E-06	1.014906	225.92	0.01	1.012561	227.43	0.01
0.34195	6.0E-05	1.016852	226.43	0.01	1.014435	227.86	0.01
0.38609	1.2E-05	1.017667	226.66	0.01	1.015223	228.06	0.01
0.48670	5.6E-05	1.019387	227.22	0.01	1.016892	228.55	0.01
0.51387	6.3E-05	1.019819	227.37	0.01	1.017313	228.68	0.01
0.63255	4.5E-05	1.021542	228.08	0.01	1.019003	229.31	0.01

$m, \sigma m$: mol*kg⁻¹; ρ : g*cm⁻³; $V_{\phi}, \sigma V_{\phi}$: cm³*mol⁻¹

Anexo C5. Tabla de densidades y volúmenes molares aparentes de soluciones del Bromuro deciltrimetilamonio en agua (293.15; 298.15; 303.15; y 308.15) K

m	σm	ρ	V_ϕ	σV_ϕ	ρ	V_ϕ	σV_ϕ
		293.15K			298.15K		
0.00000		0.998203			0.997047		
0.00998	3.5E-06	0.998475	253.39	0.09	0.997353	250.18	0.09
0.01966	3.0E-06	0.998733	253.62	0.05	0.997592	253.07	0.05
0.02952	2.5E-06	0.998987	253.96	0.03	0.99783	254.25	0.03
0.04417	2.4E-06	0.999347	254.50	0.02	0.99817	255.25	0.02
0.05870	2.3E-06	0.999686	255.07	0.02	0.998494	255.95	0.02
0.06800	2.2E-06	0.999892	255.44	0.01	0.998694	256.33	0.01
0.07841	2.1E-06	1.000113	255.85	0.01	0.998911	256.73	0.01
0.09865	2.0E-06	1.000516	256.67	0.01	0.999312	257.44	0.01
0.11767	1.8E-06	1.000859	257.45	0.01	0.999664	258.07	0.01
0.13524	1.8E-06	1.001147	258.18	0.01	0.999968	258.63	0.01
0.15712	1.6E-06	1.001466	259.1	0.01	1.000318	259.32	0.01
		303.15K			308.15K		
0.00000		0.995645			0.994029		
0.00998	3.5E-06	0.995943	251.37	0.09	0.994334	250.93	0.09
0.01966	3.0E-06	0.996173	254.35	0.05	0.994556	254.72	0.05
0.02952	2.5E-06	0.996401	255.55	0.03	0.994775	256.2	0.03
0.04417	2.4E-06	0.996728	256.57	0.02	0.99509	257.39	0.02
0.05870	2.3E-06	0.997039	257.27	0.02	0.995389	258.18	0.02
0.06800	2.2E-06	0.99723	257.65	0.01	0.995573	258.59	0.02
0.07841	2.1E-06	0.997438	258.04	0.01	0.995773	259.01	0.01
0.09865	2.0E-06	0.997822	258.74	0.01	0.996142	259.74	0.01
0.11767	1.8E-06	0.998159	259.36	0.01	0.996466	260.38	0.01
0.13524	1.8E-06	0.99845	259.92	0.01	0.996744	260.94	0.01
0.15712	1.6E-06	0.998783	260.6	0.01	0.997064	261.62	0.01

$m, \sigma m$: mol*kg⁻¹; ρ : g*cm⁻³; $V_\phi, \sigma V_\phi$: cm³*mol⁻¹

Anexo C6. Tabla de densidades y volúmenes molares aparentes de soluciones del Bromuro deciltrimetilamonio en mezclas 1,2-propanodiol $X_{OH}=0.002481$ (293.15; 298.15; 303.15; y 308.15) K

m	σm	ρ	V_{ϕ}	σV_{ϕ}	ρ	V_{ϕ}	σV_{ϕ}
293.15K				298.15K			
0.00000		1.005518			1.004125		
0.00980	2.7E-06	1.005795	250.73	0.09	1.00438	253.21	0.09
0.01934	2.6E-06	1.006069	250.45	0.04	1.004641	252.55	0.04
0.02946	2.5E-06	1.006345	250.78	0.03	1.004903	252.74	0.03
0.04412	2.4E-06	1.006719	251.53	0.02	1.005259	253.37	0.02
0.05906	2.3E-06	1.007069	252.40	0.02	1.00559	254.16	0.02
0.06864	2.2E-06	1.007276	252.98	0.01	1.005787	254.71	0.01
0.07923	2.1E-06	1.007490	253.64	0.01	1.005989	255.33	0.01
0.09779	2.6E-06	1.007825	254.83	0.01	1.006306	256.46	0.01
0.11756	1.8E-06	1.008129	256.12	0.01	1.006592	257.69	0.01
0.13768	1.8E-06	1.008380	257.46	0.01	1.006828	258.97	0.01
0.15645	1.6E-06	1.008561	258.73	0.01	1.006998	260.18	0.01
303.15K				308.15K			
0.00000		1.00252			1.000735		
0.00980	2.7E-06	1.002763	254.81	0.09	1.000945	258.67	0.1
0.01934	2.6E-06	1.003008	254.34	0.04	1.001173	257.38	0.05
0.02946	2.5E-06	1.003256	254.56	0.03	1.001403	257.26	0.03
0.04412	2.4E-06	1.003591	255.17	0.02	1.001718	257.59	0.02
0.05906	2.3E-06	1.003904	255.91	0.02	1.002014	258.13	0.02
0.06864	2.2E-06	1.004091	256.41	0.01	1.002191	258.53	0.01
0.07923	2.1E-06	1.004283	256.99	0.01	1.002374	259.00	0.01
0.09779	2.6E-06	1.004587	258.02	0.01	1.002667	259.86	0.01
0.11756	1.8E-06	1.004862	259.16	0.01	1.002936	260.81	0.01
0.13768	1.8E-06	1.005092	260.33	0.01	1.003166	261.81	0.01
0.15645	1.6E-06	1.005260	261.44	0.01	1.003341	262.77	0.01

$m, \sigma m$: mol*kg⁻¹; ρ : g*cm⁻³; $V_{\phi}, \sigma V_{\phi}$: cm³*mol⁻¹

Anexo C7. Tabla de densidades y volúmenes molares aparentes de soluciones del Bromuro deciltrimetilamonio en mezclas 1,2-propanodiol XOH=0.003466 (293.15; 298.15; 303.15; y 308.15) K

m	σm	ρ	V_ϕ	σV_ϕ	ρ	V_ϕ	σV_ϕ
293.15K				298.15K			
0.00000	2.9E-06	1.008555			1.007058		
0.00961	2.9E-06	1.008855	247.18	0.09	1.007342	249.07	0.09
0.01685	2.7E-06	1.009040	249.47	0.05	1.007519	251.23	0.05
0.02938	2.6E-06	1.009349	251.15	0.03	1.007812	252.82	0.03
0.04419	2.5E-06	1.009693	252.32	0.02	1.008139	253.93	0.02
0.05896	2.4E-06	1.010013	253.23	0.02	1.008443	254.80	0.02
0.06863	2.3E-06	1.010211	253.78	0.01	1.008631	255.33	0.01
0.07851	2.2E-06	1.010403	254.31	0.01	1.008813	255.84	0.01
0.08829	2.2E-06	1.010583	254.82	0.01	1.008984	256.33	0.01
0.09819	2.2E-06	1.010756	255.32	0.01	1.009147	256.81	0.01
0.11766	2.2E-06	1.011065	256.30	0.01	1.009440	257.75	0.01
0.13600	1.8E-05	1.011321	257.21	0.01	1.009682	258.63	0.01
0.15687	1.6E-05	1.011571	258.24	0.01	1.009916	259.62	0.01
303.15K				308.15K			
0.00000	2.9E-06	1.005343			1.003431		
0.00961	2.9E-06	1.005623	249.92	0.10	1.003612	260.53	0.10
0.01685	2.7E-06	1.005786	252.70	0.05	1.003768	259.40	0.05
0.02938	2.6E-06	1.006057	254.59	0.03	1.004026	259.05	0.03
0.04419	2.5E-06	1.006360	255.77	0.02	1.004316	259.22	0.02
0.05896	2.4E-06	1.006644	256.64	0.02	1.004587	259.56	0.02
0.06863	2.3E-06	1.006819	257.14	0.01	1.004755	259.83	0.01
0.07851	2.2E-06	1.006991	257.61	0.01	1.004919	260.13	0.01
0.08829	2.2E-06	1.007152	258.06	0.01	1.005073	260.43	0.01
0.09819	2.2E-06	1.007308	258.50	0.01	1.005222	260.75	0.01
0.11766	2.2E-06	1.007588	259.34	0.01	1.005491	261.41	0.01
0.13600	1.8E-05	1.007824	260.11	0.01	1.005717	262.04	0.01
0.15687	1.6E-05	1.008056	260.98	0.01	1.005940	262.79	0.01

$m, \sigma m$: mol*kg⁻¹; ρ : g*cm⁻³; $V_\phi, \sigma V_\phi$: cm³*mol⁻¹

Anexo C8. Tabla de densidades y volúmenes molares aparentes de soluciones del Bromuro deciltrimetilamonio en mezclas 1,2-propanodiol XOH=0.004963 (293.15; 298.15; 303.15; y 308.15) K

m	σm	ρ	V_{ϕ}	σV_{ϕ}	ρ	V_{ϕ}	σV_{ϕ}
293.15K				298.15K			
0.00000		1.012820			1.011122		
0.00987	2.7E-06	1.013052	253.75	0.09	1.011337	255.89	0.09
0.03011	2.3E-06	1.013535	253.41	0.06	1.011792	255.29	0.03
0.04340	2.4E-06	1.013828	253.86	0.03	1.012069	255.65	0.02
0.05884	2.1E-06	1.014142	254.50	0.02	1.012369	256.20	0.02
0.06860	2.2E-06	1.014328	254.94	0.02	1.012546	256.58	0.01
0.07863	2.1E-06	1.014507	255.40	0.01	1.012718	256.98	0.01
0.08839	2.0E-06	1.014671	255.86	0.01	1.012876	257.39	0.01
0.09846	2.2E-06	1.014829	256.34	0.01	1.013028	257.81	0.01
0.11824	3.2E-05	1.015106	257.31	0.01	1.013299	258.67	0.01
0.13769	2.2E-05	1.015336	258.29	0.01	1.013527	259.53	0.01
0.14823	4.2E-05	1.015443	258.82	0.01	1.013635	260.00	0.01
303.15K				308.15K			
0.00000		1.009218			1.007121		
0.00987	2.7E-06	1.009423	257.25	0.09	1.007308	259.57	0.09
0.03011	2.3E-06	1.009852	256.89	0.03	1.007709	258.91	0.03
0.04340	2.4E-06	1.010113	257.26	0.02	1.007953	259.20	0.02
0.05884	2.1E-06	1.010394	257.81	0.02	1.008218	259.65	0.02
0.06860	2.2E-06	1.010560	258.18	0.01	1.008374	259.97	0.01
0.07863	2.1E-06	1.010721	258.57	0.01	1.008527	260.31	0.01
0.08839	2.0E-06	1.010869	258.97	0.01	1.008668	260.66	0.01
0.09846	2.2E-06	1.011012	259.38	0.01	1.008804	261.02	0.01
0.11824	3.2E-05	1.011265	260.21	0.01	1.009047	261.75	0.01
0.13769	2.2E-05	1.011476	261.04	0.01	1.009253	262.49	0.01
0.14823	4.2E-05	1.011576	261.50	0.01	1.009351	262.89	0.01

$m, \sigma m$: mol*kg⁻¹; ρ : g*cm⁻³; $V_{\phi}, \sigma V_{\phi}$: cm³*mol⁻¹

Anexo D: Velocidad del sonido, compresibilidad adiabática y compresibilidad adiabática molar aparente para las soluciones de BOTA y BETA en agua y mezclas 1,2-propanodiol

Anexo D1. Tabla de Velocidad del sonido y compresibilidad adiabática y compresibilidad adiabática molar aparente de soluciones del Bromuro Octiltrimetilamonio en agua a (293.15; 298.15; 303.15; y 308.15) K

m	σm	v	K_S	σK_S	$K_{\emptyset(s)}$	$\sigma K_{\emptyset(s)}$
293.15K						
0.00000		1482.66	4.56E-05	1.62E-12		
0.02938	3.10E-06	1487.87	4.52E-05	1.61E-12	-8.84E-04	6.90E-06
0.04878	2.90E-06	1491.32	4.50E-05	1.61E-12	-9.03E-04	3.40E-06
0.09729	3.00E-06	1499.6	4.44E-05	1.60E-12	-7.06E-04	2.20E-06
0.14677	0.000003	1507.7	4.39E-05	1.59E-12	-5.03E-04	1.50E-06
0.19412	2.00E-06	1514.94	4.34E-05	1.59E-12	-2.52E-04	1.10E-06
0.23000	1.60E-06	1521.9	4.30E-05	1.58E-12	-5.18E-04	9.10E-07
0.29003	1.10E-06	1527.89	4.26E-05	1.58E-12	3.49E-04	7.80E-07
0.33987	5.70E-05	1532.94	4.22E-05	1.58E-12	8.17E-04	6.30E-07
0.38798	8.50E-05	1535.44	4.21E-05	1.58E-12	1.52E-03	5.10E-07
0.43593	6.50E-05	1538.25	4.19E-05	1.58E-12	2.02E-03	4.30E-07
0.48489	5.50E-05	1539.89	4.17E-05	1.58E-12	2.58E-03	3.80E-07
0.53522	4.50E-05	1541.21	4.16E-05	1.58E-12	3.10E-03	3.80E-07
298.15K						
0.00000		1497	4.48E-05	1.62E-12		
0.02938	3.10E-06	1501.46	4.45E-05	1.61E-12	9.99E-04	6.90E-06
0.04878	2.90E-06	1504.64	4.42E-05	1.61E-12	6.47E-04	3.40E-06
0.09729	3.00E-06	1512.2	4.37E-05	1.60E-12	6.10E-04	2.20E-06
0.14677	2.50E-06	1519.6	4.33E-05	1.59E-12	7.12E-04	1.50E-06
0.19412	2.00E-06	1526.13	4.28E-05	1.59E-12	9.22E-04	1.10E-06
0.23000	1.60E-06	1532.5	4.24E-05	1.58E-12	6.55E-04	9.10E-07
0.29003	1.10E-06	1537.8	4.21E-05	1.58E-12	1.44E-03	7.80E-07
0.33987	5.70E-05	1542.15	4.18E-05	1.58E-12	1.88E-03	6.30E-07
0.38798	8.50E-05	1544.24	4.16E-05	1.58E-12	2.52E-03	5.10E-07
0.43593	6.50E-05	1546.55	4.15E-05	1.58E-12	2.99E-03	4.30E-07
0.48489	5.50E-05	1547.94	4.14E-05	1.58E-12	3.49E-03	3.80E-07
5.4E-01	4.50E-05	1549.1	4.13E-05	1.58E-12	3.94E-03	3.80E-07

303.15K

0		1509.44	4.41E-05	1.62E-12		
0.02938	3.10E-06	1513.45	4.38E-05	1.61E-12	1.72E-03	6.90E-06
0.04878	2.90E-06	1516.32	4.36E-05	1.61E-12	1.51E-03	3.40E-06
0.09729	3.00E-06	1523.25	4.32E-05	1.60E-12	1.48E-03	2.20E-06
0.14677	2.50E-06	1529.97	4.27E-05	1.59E-12	1.60E-03	1.50E-06
0.19412	2.00E-06	1535.9	4.24E-05	1.59E-12	1.80E-03	1.10E-06
0.23000	1.60E-06	1541.65	4.20E-05	1.58E-12	1.57E-03	9.10E-07
0.29003	1.10E-06	1546.27	4.17E-05	1.58E-12	2.31E-03	7.80E-07
0.33987	5.70E-05	1549.92	4.15E-05	1.58E-12	2.76E-03	6.30E-07
0.38798	8.50E-05	1551.76	4.13E-05	1.58E-12	3.33E-03	5.10E-07
0.43593	6.50E-05	1553.72	4.12E-05	1.58E-12	3.76E-03	4.30E-07
0.48489	5.50E-05	1554.84	4.11E-05	1.58E-12	4.22E-03	3.80E-07
0.53522	4.50E-05	1555.85	4.10E-05	1.58E-12	4.62E-03	3.80E-07

308.15K

0		1520.12	4.35E-05	1.62E-12		
0.02938	3.10E-06	1523.74	4.33E-05	1.61E-12	2.54E-03	6.90E-06
0.04878	2.90E-06	1526.4	4.31E-05	1.61E-12	2.30E-03	3.40E-06
0.09729	3.00E-06	1532.68	4.27E-05	1.60E-12	2.32E-03	2.20E-06
0.14677	2.50E-06	1538.8	4.23E-05	1.59E-12	2.42E-03	1.50E-06
0.19412	2.00E-06	1544.15	4.20E-05	1.59E-12	2.61E-03	1.10E-06
0.23000	1.60E-06	1549.22	4.17E-05	1.58E-12	2.45E-03	9.10E-07
0.29003	1.10E-06	1553.34	4.14E-05	1.58E-12	3.12E-03	7.80E-07
0.33987	5.70E-05	1556.45	4.12E-05	1.58E-12	3.54E-03	6.30E-07
0.38798	8.50E-05	1557.89	4.11E-05	1.58E-12	4.08E-03	5.10E-07
0.43593	6.50E-05	1559.69	4.09E-05	1.58E-12	4.45E-03	4.30E-07
0.48489	5.50E-05	1560.65	4.08E-05	1.58E-12	4.86E-03	3.80E-07
0.53522	4.50E-05	1561.43	4.08E-05	1.58E-12	5.23E-03	3.80E-07

$m, \sigma m$: mol*kg⁻¹; \mathbf{V} : m*s⁻¹; $K_S, \sigma K_S$: bar⁻¹;

$K_{\theta(s)}, \sigma K_{\theta(s)}$: cm³ * mol⁻¹ * bar⁻¹

Anexo D2. Tabla de Velocidad del sonido y compresibilidad adiabática y compresibilidad adiabática molar aparente de soluciones del Bromuro octiltrimetilamonio en mezclas 1,2-propanodiol $X_{OH}=0.02481$ (293.15; 298.15; 303.15; y 308.15) K

m	σm	v	K_S	σK_S	$K_{\emptyset(s)}$	$\sigma K_{\emptyset(s)}$
293.15K						
0.00000		1545.35	4.16E-05	1.62E-12		
0.02987	3.10E-06	1550.02	4.14E-05	1.61E-12	9.05E-04	6.90E-06
0.04876	2.90E-06	1552.75	4.12E-05	1.61E-12	1.03E-03	3.40E-06
0.09820	3.00E-06	1559.78	4.08E-05	1.60E-12	1.19E-03	2.20E-06
0.14578	2.50E-06	1566.04	4.04E-05	1.59E-12	1.43E-03	1.50E-06
0.19382	2.00E-06	1572.04	4.00E-05	1.59E-12	1.63E-03	1.10E-06
0.24326	1.50E-06	1576.70	3.97E-05	1.58E-12	2.09E-03	9.10E-07
0.33007	6.40E-05	1582.93	3.93E-05	1.58E-12	2.88E-03	7.80E-07
0.40728	7.70E-05	1584.66	3.92E-05	1.58E-12	3.81E-03	6.30E-07
0.47223	6.40E-05	1585.07	3.91E-05	1.58E-12	4.49E-03	5.10E-07
0.53385	4.50E-05	1585.59	3.90E-05	1.58E-12	4.98E-03	4.30E-07
0.63475	6.10E-05	1585.63	3.90E-05	1.58E-12	5.66E-03	3.80E-07
0.68340	5.20E-05	1586.20	3.89E-05	1.58E-12	5.89E-03	3.80E-07
298.15K						
0.00000		1554.62	4.12E-05	1.62E-12		
0.02987	3.10E-06	1558.8	4.09E-05	1.61E-12	1.79E-03	6.90E-06
0.04876	2.90E-06	1561.38	4.08E-05	1.61E-12	1.81E-03	3.40E-06
0.09820	3.00E-06	1567.59	4.04E-05	1.60E-12	2.11E-03	2.20E-06
0.14578	2.50E-06	1573.2	4.01E-05	1.59E-12	2.33E-03	1.50E-06
0.19382	2.00E-06	1578.47	3.98E-05	1.59E-12	2.55E-03	1.10E-06
0.24326	1.50E-06	1582.5	3.95E-05	1.58E-12	2.98E-03	9.10E-07
0.33007	6.40E-05	1587.72	3.92E-05	1.58E-12	3.73E-03	7.80E-07
0.40728	7.70E-05	1589.05	3.90E-05	1.58E-12	4.56E-03	6.30E-07
0.47223	6.40E-05	1589.24	3.90E-05	1.58E-12	5.17E-03	5.10E-07
0.53385	4.50E-05	1589.52	3.89E-05	1.58E-12	5.61E-03	4.30E-07
0.63475	6.10E-05	1589.65	3.89E-05	1.58E-12	6.19E-03	3.80E-07
0.68340	5.20E-05	1589.81	3.88E-05	1.58E-12	6.41E-03	3.80E-07
303.15K						

0		1562.3	4.09E-05	1.62E-12		
0.00000	3.10E-06	1566.24	4.06E-05	1.61E-12	2.36E-03	6.90E-06
0.02987	2.90E-06	1568.45	4.05E-05	1.61E-12	2.61E-03	3.40E-06
0.04876	3.00E-06	1574.1	4.01E-05	1.60E-12	2.87E-03	2.20E-06
0.09820	2.50E-06	1579.12	3.98E-05	1.59E-12	3.10E-03	1.50E-06
0.14578	2.00E-06	1583.72	3.96E-05	1.59E-12	3.34E-03	1.10E-06
0.19382	1.50E-06	1587.23	3.93E-05	1.58E-12	3.74E-03	9.10E-07
0.24326	6.40E-05	1591.48	3.91E-05	1.58E-12	4.46E-03	7.80E-07
0.33007	7.70E-05	1592.55	3.90E-05	1.58E-12	5.21E-03	6.30E-07
0.40728	6.40E-05	1592.50	3.89E-05	1.58E-12	5.76E-03	5.10E-07
0.47223	4.50E-05	1592.46	3.89E-05	1.58E-12	6.17E-03	4.30E-07
0.53385	6.10E-05	1592.40	3.88E-05	1.58E-12	6.69E-03	3.80E-07
0.63475	5.20E-05	1592.30	3.88E-05	1.58E-12	6.90E-03	3.80E-07

308.15K

0.00000		1568.73	4.06E-05	1.62E-12		
0.02987	3.10E-06	1572.29	4.04E-05	1.61E-12	3.09E-03	6.90E-06
0.04876	2.90E-06	1574.25	4.03E-05	1.61E-12	3.35E-03	3.40E-06
0.09820	3.00E-06	1579.28	4.00E-05	1.60E-12	3.61E-03	2.20E-06
0.14578	2.50E-06	1583.75	3.97E-05	1.59E-12	3.81E-03	1.50E-06
0.19382	2.00E-06	1587.73	3.94E-05	1.59E-12	4.05E-03	1.10E-06
0.24326	1.50E-06	1590.71	3.93E-05	1.58E-12	4.44E-03	9.10E-07
0.33007	6.40E-05	1594.30	3.90E-05	1.58E-12	5.10E-03	7.80E-07
0.40728	7.70E-05	1595.10	3.89E-05	1.58E-12	5.77E-03	6.30E-07
0.47223	6.40E-05	1594.82	3.89E-05	1.58E-12	6.28E-03	5.10E-07
0.53385	4.50E-05	1594.59	3.89E-05	1.58E-12	6.66E-03	4.30E-07
0.63475	6.10E-05	1594.19	3.88E-05	1.58E-12	7.13E-03	3.80E-07
0.68340	5.20E-05	1594.10	3.88E-05	1.58E-12	7.31E-03	3.80E-07

$m, \sigma m$: mol*kg⁻¹; \mathbf{V} : m*s⁻¹; $K_S, \sigma K_S$: bar⁻¹;

$K_{\theta(s)}, \sigma K_{\theta(s)}$: cm³*mol⁻¹*bar⁻¹

Anexo D3. Tabla de Velocidad del sonido y compresibilidad adiabática y compresibilidad adiabática molar aparente de soluciones del Bromuro octiltrimetilamonio en mezclas 1,2-propanodiol $X_{OH}=0.03489$ (293.15; 298.15; 303.15; y 308.15) K

m	σm	v	K_S	σK_S	$K_{\emptyset(s)}$	$\sigma K_{\emptyset(s)}$
293.15K						
0.0000		1569.93	4.16E-05	1.62E-12		
0.03137	4.10E-06	1574.85	4.14E-05	1.61E-12	7.23E-04	6.90E-06
0.04866	2.90E-06	1576.67	4.12E-05	1.61E-12	1.70E-03	3.40E-06
0.09591	2.90E-06	1581.35	4.08E-05	1.60E-12	2.72E-03	2.20E-06
0.14791	2.50E-06	1587.60	4.04E-05	1.59E-12	2.70E-03	1.50E-06
0.18293	2.00E-06	1590.90	4.00E-05	1.59E-12	2.95E-03	1.10E-06
0.24772	1.50E-06	1596.76	3.97E-05	1.58E-12	3.26E-03	9.10E-07
0.34038	6.20E-05	1599.74	3.93E-05	1.58E-12	4.32E-03	7.80E-07
0.38901	8.30E-05	1600.94	3.92E-05	1.58E-12	4.72E-03	6.30E-07
0.43840	7.20E-05	1600.76	3.91E-05	1.58E-12	5.21E-03	5.10E-07
0.53558	6.30E-05	1600.55	3.90E-05	1.58E-12	5.91E-03	4.30E-07
0.63334	5.70E-05	1600.18	3.90E-05	1.58E-12	6.44E-03	3.80E-07
0.67748	6.20E-05	1600.01	3.89E-05	1.58E-12	6.63E-03	3.80E-07
298.15K						
0.0000		1573.94	4.01E-05	1.62E-12		
0.03137	3.10E-06	1577.98	3.98E-05	1.61E-12	2.27E-03	6.90E-06
0.04866	2.90E-06	1581.79	3.96E-05	1.61E-12	6.73E-04	3.40E-06
0.09591	3.00E-06	1587.77	3.93E-05	1.60E-12	1.57E-03	2.20E-06
0.14791	2.50E-06	1592.97	3.90E-05	1.59E-12	2.35E-03	1.50E-06
0.18293	2.00E-06	1595.88	3.88E-05	1.59E-12	2.79E-03	1.10E-06
0.24772	1.50E-06	1599.99	3.85E-05	1.58E-12	3.53E-03	9.10E-07
0.34038	6.40E-05	1602.48	3.83E-05	1.58E-12	4.60E-03	7.80E-07
0.38901	7.70E-05	1603.98	3.82E-05	1.58E-12	4.94E-03	6.30E-07
0.43840	6.40E-05	1603.66	3.82E-05	1.58E-12	5.43E-03	5.10E-07
0.53558	4.50E-05	1603.26	3.82E-05	1.58E-12	6.12E-03	4.30E-07
0.63334	6.10E-05	1602.68	3.81E-05	1.58E-12	6.64E-03	3.80E-07
0.67748	5.20E-05	1602.3	3.81E-05	1.58E-12	6.84E-03	3.80E-07
303.15K						

0.0000		1582.72	3.97E-05	1.62E-12		
0.03137	3.10E-06	1585.78	3.95E-05	1.61E-12	-5.85E-03	6.90E-06
0.04866	2.90E-06	1587.2	3.94E-05	1.61E-12	-2.05E-03	3.40E-06
0.09591	3.00E-06	1591.92	3.91E-05	1.60E-12	8.97E-04	2.20E-06
0.14791	2.50E-06	1596.65	3.89E-05	1.59E-12	2.11E-03	1.50E-06
0.18293	2.00E-06	1599.1	3.87E-05	1.59E-12	2.74E-03	1.10E-06
0.24772	1.50E-06	1603.56	3.84E-05	1.58E-12	3.44E-03	9.10E-07
0.34038	6.40E-05	1605.75	3.83E-05	1.58E-12	4.60E-03	7.80E-07
0.38901	7.70E-05	1605.98	3.82E-05	1.58E-12	5.11E-03	6.30E-07
0.43840	6.40E-05	1605.75	3.82E-05	1.58E-12	5.58E-03	5.10E-07
0.53558	4.50E-05	1605.06	3.82E-05	1.58E-12	6.28E-03	4.30E-07
0.63334	6.10E-05	1604.02	3.82E-05	1.58E-12	6.82E-03	3.80E-07
0.67748	5.20E-05	1603.77	3.81E-05	1.58E-12	7.00E-03	3.80E-07
308.15K						
0.0000		1586.85	3.96E-05	1.62E-12		
0.03137	3.10E-06	1589.87	3.94E-05	1.61E-12	-7.23E-03	6.90E-06
0.04866	2.90E-06	1591.35	3.93E-05	1.61E-12	-2.97E-03	3.40E-06
0.09591	3.00E-06	1595.5	3.91E-05	1.60E-12	7.71E-04	2.20E-06
0.14791	2.50E-06	1599.76	3.88E-05	1.59E-12	2.22E-03	1.50E-06
0.18293	2.00E-06	1601.59	3.87E-05	1.59E-12	3.01E-03	1.10E-06
0.24772	1.50E-06	1605.33	3.84E-05	1.58E-12	3.81E-03	9.10E-07
0.34038	6.40E-05	1607.14	3.83E-05	1.58E-12	4.95E-03	7.80E-07
0.38901	7.70E-05	1607.78	3.82E-05	1.58E-12	5.37E-03	6.30E-07
0.43840	6.40E-05	1606.98	3.82E-05	1.58E-12	5.89E-03	5.10E-07
0.53558	4.50E-05	1605.94	3.82E-05	1.58E-12	6.58E-03	4.30E-07
0.63334	6.10E-05	1604.66	3.82E-05	1.58E-12	7.11E-03	3.80E-07
0.67748	5.20E-05	1604.02	3.82E-05	1.58E-12	7.31E-03	3.80E-07

$m, \sigma m$: mol*kg⁻¹; V : m*s⁻¹; $K_S, \sigma K_S$: bar⁻¹;

$K_{\theta(s)}, \sigma K_{\theta(s)}$: cm³*mol⁻¹*bar⁻¹

Anexo D5. Tabla de Velocidad del sonido y compresibilidad adiabática y compresibilidad adiabática molar aparente de soluciones del Bromuro octiltrimetilamonio en mezclas 1,2-propanodiol $X_{OH}=0.04951$ (293.15; 298.15; 303.15; y 308.15) K

m	σm	v	K_S	σK_S	$K_{\emptyset(s)}$	$\sigma K_{\emptyset(s)}$
293.15K						
0.0000		1569.93	3.86E-05	1.62E-12		
0.03137	3.90E-06	1574.85	3.84E-05	1.61E-12	4.42E-03	6.90E-06
0.04866	2.90E-06	1576.67	3.83E-05	1.61E-12	4.40E-03	3.40E-06
0.09735	2.50E-06	1581.35	3.80E-05	1.60E-12	3.70E-03	2.20E-06
0.14450	2.50E-06	1587.60	3.77E-05	1.59E-12	3.82E-03	1.50E-06
0.19430	2.00E-06	1590.90	3.75E-05	1.59E-12	4.17E-03	1.10E-06
0.24361	1.50E-06	1596.76	3.74E-05	1.58E-12	4.78E-03	9.10E-07
0.34195	6.00E-05	1599.74	3.73E-05	1.58E-12	5.72E-03	7.80E-07
0.38609	1.20E-05	1600.94	3.74E-05	1.58E-12	6.43E-03	6.30E-07
0.48670	5.60E-05	1600.76	3.73E-05	1.58E-12	6.84E-03	5.10E-07
0.51387	6.30E-05	1600.55	3.73E-05	1.58E-12	7.05E-03	4.30E-07
0.63255	4.50E-05	1600.40	3.74E-05	1.58E-12	7.65E-03	4.30E-07
298.15K						
0.0000		1573.94	3.87E-05	1.62E-12		
0.03137	3.90E-06	1577.98	3.84E-05	1.61E-12	7.60E-03	6.90E-06
0.04866	2.90E-06	1581.79	3.61E-03	1.61E-12	7.43E+01	3.40E-06
0.09735	2.50E-06	1587.77	3.81E-05	1.60E-12	5.09E-03	2.20E-06
0.14450	2.50E-06	1592.97	3.78E-05	1.59E-12	4.81E-03	1.50E-06
0.19430	2.00E-06	1595.88	3.76E-05	1.59E-12	4.93E-03	1.10E-06
0.24361	1.50E-06	1599.99	3.74E-05	1.58E-12	5.15E-03	9.10E-07
0.34195	6.00E-05	1602.48	3.73E-05	1.58E-12	5.93E-03	7.80E-07
0.38609	1.20E-05	1603.98	3.73E-05	1.58E-12	6.31E-03	6.30E-07
0.48670	5.60E-05	1603.66	3.73E-05	1.58E-12	6.96E-03	5.10E-07
0.51387	6.30E-05	1603.26	3.73E-05	1.58E-12	7.09E-03	4.30E-07
0.63255	4.50E-05	1602.68	3.73E-05	1.58E-12	7.55E-03	3.80E-07
303.15K						
0.0000		1582.72	4.02E-05	1.62E-12		
0.03137	3.90E-06	1585.78	3.99E-05	1.61E-12	5.86E-02	6.90E-06

0.04866	2.90E-06	1587.2	3.98E-05	1.61E-12	3.84E-02	3.40E-06
0.09735	2.50E-06	1591.92	3.95E-05	1.60E-12	2.12E-02	2.20E-06
0.14450	2.50E-06	1596.65	3.92E-05	1.59E-12	1.50E-02	1.50E-06
0.19430	2.00E-06	1599.1	3.90E-05	1.59E-12	1.26E-02	1.10E-06
0.24361	1.50E-06	1603.56	3.86E-05	1.58E-12	1.07E-02	9.10E-07
0.34195	6.00E-05	1605.75	3.84E-05	1.58E-12	9.75E-03	7.80E-07
0.38609	1.20E-05	1605.98	3.83E-05	1.58E-12	9.51E-03	6.30E-07
0.48670	5.60E-05	1605.75	3.83E-05	1.58E-12	9.45E-03	5.10E-07
0.51387	6.30E-05	1605.06	3.83E-05	1.58E-12	9.46E-03	4.30E-07
0.63255	4.50E-05	1604.02	3.82E-05	1.58E-12	9.46E-03	3.80E-07

308.15K

0.0000		1586.85	3.88E-05	1.62E-12		
0.03137	3.90E-06	1589.87	3.86E-05	1.61E-12	1.89E-02	6.90E-06
0.04866	2.90E-06	1591.35	3.85E-05	1.61E-12	1.37E-02	3.40E-06
0.09735	2.50E-06	1595.5	3.82E-05	1.60E-12	8.45E-03	2.20E-06
0.14450	2.50E-06	1599.76	3.80E-05	1.59E-12	7.11E-03	1.50E-06
0.19430	2.00E-06	1601.59	3.78E-05	1.59E-12	6.70E-03	1.10E-06
0.24361	1.50E-06	1605.33	3.77E-05	1.58E-12	6.85E-03	9.10E-07
0.34195	6.00E-05	1607.14	3.76E-05	1.58E-12	7.28E-03	7.80E-07
0.38609	1.20E-05	1607.78	3.77E-05	1.58E-12	7.84E-03	6.30E-07
0.48670	5.60E-05	1606.98	3.76E-05	1.58E-12	8.02E-03	5.10E-07
0.51387	6.30E-05	1605.94	3.76E-05	1.58E-12	8.17E-03	4.30E-07
0.63255	4.50E-05	1604.66	3.77E-05	1.58E-12	8.60E-03	3.80E-07

$m, \sigma m$: mol*kg⁻¹; \mathbf{V} : m*s⁻¹; $K_S, \sigma K_S$: bar⁻¹;

$K_{\theta(s)}, \sigma K_{\theta(s)}$: cm³*mol⁻¹*bar⁻¹

Anexo D5. Tabla de Velocidad del sonido y compresibilidad adiabática y compresibilidad adiabática molar aparente de soluciones del Bromuro deciltrimetilamonio en agua a (293.15; 298.15; 303.15; y 308.15) K

m	σm	v	K_S	σK_S	$K_{\phi(s)}$	$\sigma K_{\phi(s)}$
293.15K						
0.00000		1482.66	4.5572E-05	1.84E-12		
0.00998	3.5E-06	1484.78	4.5430E-05	1.84E-12	-0.00279	8.4E-06
0.01966	3.0E-06	1486.74	4.5298E-05	1.83E-12	-0.00246	4.0E-06
0.02952	2.5E-06	1488.78	4.5163E-05	1.82E-12	-0.00242	2.5E-06
0.04417	2.4E-06	1491.66	4.4972E-05	1.81E-12	-0.00216	1.7E-06
0.05870	2.3E-06	1494.61	4.4780E-05	1.80E-12	-0.00210	1.2E-06
0.06800	2.2E-06	1496.25	4.4672E-05	1.79E-12	-0.00184	1.1E-06
0.07841	2.1E-06	1496.81	4.4629E-05	1.79E-12	-0.00063	9.0E-07
0.09865	2.0E-06	1497.51	4.4569E-05	1.79E-12	0.00126	6.9E-07
0.11767	1.8E-06	1497.97	4.4527E-05	1.78E-12	0.00256	5.7E-07
0.13524	1.8E-06	1498.36	4.4491E-05	1.78E-12	0.00348	5.0E-07
0.15712	1.6E-06	1498.81	4.4450E-05	1.78E-12	0.00436	4.2E-07
298.15K						
0.00000		1497.00	4.4755E-05	1.79E-12		
0.00998	3.5E-06	1498.58	4.4647E-05	1.79E-12	0.00031	7.7E-06
0.01966	3.0E-06	1500.44	4.4526E-05	1.78E-12	-0.00043	3.8E-06
0.02952	2.5E-06	1502.31	4.4404E-05	1.77E-12	-0.00062	2.4E-06
0.04417	2.4E-06	1504.93	4.4235E-05	1.76E-12	-0.00052	1.6E-06
0.05870	2.3E-06	1507.55	4.4067E-05	1.75E-12	-0.00048	1.2E-06
0.06800	2.2E-06	1508.99	4.3974E-05	1.75E-12	-0.00025	1.0E-06
0.07841	2.1E-06	1509.51	4.3934E-05	1.75E-12	0.00078	8.7E-07
0.09865	2.0E-06	1509.96	4.3890E-05	1.74E-12	0.00251	6.8E-07
0.11767	1.8E-06	1510.30	4.3855E-05	1.74E-12	0.00365	5.6E-07
0.13524	1.8E-06	1510.55	4.3827E-05	1.74E-12	0.00445	4.8E-07
0.15712	1.6E-06	1510.90	4.3792E-05	1.74E-12	0.00521	4.1E-07
303.15K						
0.00000		1509.44	4.4082E-05	1.75E-12		
0.00998	3.5E-06	1510.82	4.3989E-05	1.75E-12	0.00163	7.3E-06
0.01966	3.0E-06	1512.48	4.3882E-05	1.74E-12	0.00093	3.6E-06
0.02952	2.5E-06	1514.16	4.3775E-05	1.73E-12	0.00072	2.3E-06

0.04417	2.4E-06	1516.55	4.3622E-05	1.73E-12	0.00073	1.6E-06
0.05870	2.3E-06	1518.92	4.3473E-05	1.72E-12	0.00076	1.2E-06
0.06800	2.2E-06	1520.16	4.3394E-05	1.71E-12	0.00101	9.9E-07
0.07841	2.1E-06	1520.63	4.3358E-05	1.71E-12	0.00191	8.5E-07
0.09865	2.0E-06	1520.94	4.3323E-05	1.71E-12	0.00348	6.6E-07
0.11767	1.8E-06	1521.15	4.3297E-05	1.71E-12	0.00452	5.5E-07
0.13524	1.8E-06	1521.26	4.3278E-05	1.71E-12	0.00527	4.8E-07
0.15712	1.6E-06	1521.50	4.3250E-05	1.71E-12	0.00595	4.1E-07
308.15K						
0.00000		1520.12	4.3536E-05	1.72E-12		
0.00998	3.5E-06	1521.33	4.3453E-05	1.71E-12	0.00258	7.1E-06
0.01966	3.0E-06	1522.81	4.3359E-05	1.71E-12	0.00201	3.5E-06
0.02952	2.5E-06	1524.36	4.3261E-05	1.70E-12	0.00174	2.3E-06
0.04417	2.4E-06	1526.53	4.3125E-05	1.70E-12	0.00174	1.5E-06
0.05870	2.3E-06	1528.65	4.2992E-05	1.69E-12	0.00179	1.1E-06
0.06800	2.2E-06	1529.79	4.2920E-05	1.68E-12	0.00200	9.7E-07
0.07841	2.1E-06	1530.19	4.2889E-05	1.68E-12	0.00282	8.4E-07
0.09865	2.0E-06	1530.36	4.2864E-05	1.68E-12	0.00428	6.5E-07
0.11767	1.8E-06	1530.45	4.2845E-05	1.68E-12	0.00525	5.4E-07
0.13524	1.8E-06	1530.55	4.2827E-05	1.68E-12	0.00591	4.7E-07
0.15712	1.6E-06	1530.68	4.2806E-05	1.68E-12	0.00653	4.0E-07

$m, \sigma m$: mol*kg⁻¹; \mathbf{V} : m*s⁻¹; $K_S, \sigma K_S$: bar⁻¹;

$K_{\theta(s)}, \sigma K_{\theta(s)}$: cm³ *mol⁻¹* bar⁻¹

Anexo D6. Tabla de Velocidad del sonido y compresibilidad adiabática y compresibilidad adiabática molar aparente de soluciones del Bromuro deciltrimetilamonio en mezclas 1,2-propanodiol $X_{OH}=0.002481$ (293.15; 298.15; 303.15; y 308.15) K

m	σm	v	K_S	σK_S	$K_{\phi(s)}$	$\sigma K_{\phi(s)}$
293.15K						
0.00000		1544.89	4.1669E-05	1.84E-12		
0.00980	2.7E-06	1546.78	4.1556E-05	1.84E-12	-0.00107	8.4E-06
0.01934	2.6E-06	1548.29	4.1464E-05	1.83E-12	-0.00018	4.0E-06
0.02946	2.5E-06	1550.00	4.1361E-05	1.82E-12	-0.00003	2.5E-06
0.04412	2.4E-06	1552.63	4.1206E-05	1.81E-12	-0.00009	1.7E-06
0.05906	2.3E-06	1554.40	4.1097E-05	1.80E-12	0.00075	1.2E-06
0.06864	2.2E-06	1555.65	4.1023E-05	1.79E-12	0.00102	1.1E-06
0.07923	2.1E-06	1556.22	4.0984E-05	1.79E-12	0.00180	9.0E-07
0.09779	2.6E-06	1556.15	4.0974E-05	1.79E-12	0.00337	6.9E-07
0.11756	1.8E-06	1556.07	4.0966E-05	1.78E-12	0.00455	5.7E-07
0.13768	1.8E-06	1555.96	4.0962E-05	1.78E-12	0.00544	5.0E-07
0.15645	1.6E-06	1555.88	4.0959E-05	1.78E-12	0.00608	4.2E-07
298.15K						
0.00000		1553.96	4.1241E-05	1.79E-12		
0.00980	2.7E-06	1555.73	4.1137E-05	1.79E-12	-0.00018	7.7E-06
0.01934	2.6E-06	1556.97	4.1061E-05	1.78E-12	0.00108	3.8E-06
0.02946	2.5E-06	1558.61	4.0964E-05	1.77E-12	0.00097	2.4E-06
0.04412	2.4E-06	1560.89	4.0830E-05	1.76E-12	0.00106	1.6E-06
0.05906	2.3E-06	1562.87	4.0713E-05	1.75E-12	0.00144	1.2E-06
0.06864	2.2E-06	1563.67	4.0663E-05	1.75E-12	0.00197	1.0E-06
0.07923	2.1E-06	1564.18	4.0629E-05	1.75E-12	0.00267	8.7E-07
0.09779	2.6E-06	1564.00	4.0625E-05	1.74E-12	0.00414	6.8E-07
0.11756	1.8E-06	1563.79	4.0625E-05	1.74E-12	0.00524	5.6E-07
0.13768	1.8E-06	1563.60	4.0625E-05	1.74E-12	0.00606	4.8E-07
0.15645	1.6E-06	1563.41	4.0628E-05	1.74E-12	0.00667	4.1E-07
303.15K						
0.00000		1561.82	4.0893E-05	1.75E-12		
0.00980	2.7E-06	1563.39	4.0801E-05	1.75E-12	0.00103	7.3E-06
0.01934	2.6E-06	1564.48	4.0734E-05	1.74E-12	0.00217	3.6E-06
0.02946	2.5E-06	1565.91	4.0649E-05	1.73E-12	0.00212	2.3E-06

0.04412	2.4E-06	1567.95	4.0530E-05	1.73E-12	0.00215	1.6E-06
0.05906	2.3E-06	1569.69	4.0428E-05	1.72E-12	0.00249	1.2E-06
0.06864	2.2E-06	1570.42	4.0383E-05	1.71E-12	0.00294	9.9E-07
0.07923	2.1E-06	1570.88	4.0351E-05	1.71E-12	0.00355	8.5E-07
0.09779	2.6E-06	1570.65	4.0351E-05	1.71E-12	0.00489	6.6E-07
0.11756	1.8E-06	1570.31	4.0357E-05	1.71E-12	0.00592	5.5E-07
0.13768	1.8E-06	1570.10	4.0359E-05	1.71E-12	0.00664	4.8E-07
0.15645	1.6E-06	1569.82	4.0367E-05	1.71E-12	0.00720	4.1E-07

308.15K

0.00000		1568.42	4.0622E-05	1.72E-12		
0.00980	2.7E-06	1569.69	4.0547E-05	1.71E-12	0.00292	7.1E-06
0.01934	2.6E-06	1570.64	4.0489E-05	1.71E-12	0.00358	3.5E-06
0.02946	2.5E-06	1571.91	4.0414E-05	1.70E-12	0.00337	2.3E-06
0.04412	2.4E-06	1573.69	4.0310E-05	1.70E-12	0.00334	1.5E-06
0.05906	2.3E-06	1575.26	4.0218E-05	1.69E-12	0.00356	1.1E-06
0.06864	2.2E-06	1575.82	4.0182E-05	1.68E-12	0.00400	9.7E-07
0.07923	2.1E-06	1576.27	4.0152E-05	1.68E-12	0.00448	8.4E-07
0.09779	2.6E-06	1575.97	4.0156E-05	1.68E-12	0.00567	6.5E-07
0.11756	1.8E-06	1575.54	4.0167E-05	1.68E-12	0.00661	5.4E-07
0.13768	1.8E-06	1575.10	4.0180E-05	1.68E-12	0.00732	4.7E-07
0.15645	1.6E-06	1574.77	4.0190E-05	1.68E-12	0.00780	4.0E-07

$m, \sigma m$: mol*kg⁻¹; \mathbf{V} : m*s⁻¹; $K_S, \sigma K_S$: bar⁻¹;

$K_{\theta(s)}, \sigma K_{\theta(s)}$: cm³ *mol⁻¹* bar⁻¹

Anexo D7. Tabla de Velocidad del sonido y compresibilidad adiabática y compresibilidad adiabática molar aparente de soluciones del Bromuro deciltrimetilamonio en mezclas 1,2-propanodiol $X_{OH}=0.03466$ (293.15; 298.15; 303.15; y 308.15) K

m	σm	ν	K_S	σK_S	$K_{\phi(s)}$	$\sigma K_{\phi(s)}$
293.15K						
0.00000		1567.94	4.0331E-05	1.84E-12		
0.00961	2.9E-06	1569.38	4.0245E-05	1.84E-12	0.00108	8.4E-06
0.01685	2.7E-06	1570.55	4.0178E-05	1.83E-12	0.00100	4.0E-06
0.02938	2.6E-06	1572.48	4.0067E-05	1.82E-12	0.00115	2.5E-06
0.04419	2.5E-06	1574.54	3.9949E-05	1.81E-12	0.00150	1.7E-06
0.05896	2.4E-06	1576.34	3.9845E-05	1.80E-12	0.00191	1.2E-06
0.06863	2.3E-06	1576.90	3.9809E-05	1.79E-12	0.00256	1.1E-06
0.07851	2.2E-06	1577.04	3.9794E-05	1.79E-12	0.00334	9.0E-07
0.08829	2.2E-06	1576.98	3.9790E-05	1.79E-12	0.00406	6.9E-07
0.09819	2.2E-06	1576.80	3.9792E-05	1.78E-12	0.00472	5.7E-07
0.11766	2.2E-06	1576.56	3.9792E-05	1.78E-12	0.00566	5.0E-07
0.13600	1.8E-05	1576.35	3.9793E-05	1.78E-12	0.00631	4.2E-07
0.15687	1.6E-05	1576.07	3.9797E-05	1.78E-12	0.00690	4.2E-07
298.15K						
0.00000		1575.20	4.0020E-05	1.79E-12		
0.00961	2.9E-06	1576.60	3.9937E-05	1.79E-12	0.00144	7.7E-06
0.01685	2.7E-06	1577.46	3.9887E-05	1.78E-12	0.00219	3.8E-06
0.02938	2.6E-06	1579.23	3.9786E-05	1.77E-12	0.00216	2.4E-06
0.04419	2.5E-06	1581.01	3.9684E-05	1.76E-12	0.00252	1.6E-06
0.05896	2.4E-06	1582.30	3.9607E-05	1.75E-12	0.00314	1.2E-06
0.06863	2.3E-06	1583.10	3.9560E-05	1.75E-12	0.00344	1.0E-06
0.07851	2.2E-06	1583.30	3.9542E-05	1.75E-12	0.00408	8.7E-07
0.08829	2.2E-06	1583.10	3.9546E-05	1.74E-12	0.00480	6.8E-07
0.09819	2.2E-06	1582.84	3.9552E-05	1.74E-12	0.00543	5.6E-07
0.11766	2.2E-06	1582.57	3.9554E-05	1.74E-12	0.00627	4.8E-07
0.13600	1.8E-05	1582.18	3.9564E-05	1.74E-12	0.00691	4.1E-07
0.15687	1.6E-05	1581.75	3.9577E-05	1.74E-12	0.00747	4.1E-07
303.15K						
0.00000		1581.28	3.9780E-05	1.75E-12		
0.00961	2.9E-06	1582.38	3.9714E-05	1.75E-12	0.00306	7.3E-06
0.01685	2.7E-06	1583.20	3.9666E-05	1.74E-12	0.00330	3.6E-06

0.02938	2.6E-06	1584.75	3.9578E-05	1.73E-12	0.00323	2.3E-06
0.04419	2.5E-06	1586.34	3.9487E-05	1.73E-12	0.00350	1.6E-06
0.05896	2.4E-06	1587.64	3.9411E-05	1.72E-12	0.00389	1.2E-06
0.06863	2.3E-06	1588.08	3.9383E-05	1.71E-12	0.00436	9.9E-07
0.07851	2.2E-06	1588.19	3.9370E-05	1.71E-12	0.00495	8.5E-07
0.08829	2.2E-06	1588.08	3.9370E-05	1.71E-12	0.00553	6.6E-07
0.09819	2.2E-06	1587.80	3.9377E-05	1.71E-12	0.00610	5.5E-07
0.11766	2.2E-06	1587.40	3.9386E-05	1.71E-12	0.00688	4.8E-07
0.13600	1.8E-05	1586.87	3.9403E-05	1.71E-12	0.00749	4.1E-07
0.15687	1.6E-05	1586.26	3.9425E-05	1.71E-12	0.00803	4.1E-07

308.15K

0.00000		1585.99	3.9620E-05	1.72E-12		
0.00961	2.9E-06	1587.01	3.9562E-05	1.71E-12	0.00428	7.1E-06
0.01685	2.7E-06	1588.20	3.9496E-05	1.71E-12	0.00294	3.5E-06
0.02938	2.6E-06	1589.03	3.9445E-05	1.70E-12	-0.00071	2.3E-06
0.04419	2.5E-06	1590.40	3.9366E-05	1.70E-12	0.00119	1.5E-06
0.05896	2.4E-06	1591.48	3.9302E-05	1.69E-12	0.00277	1.1E-06
0.06863	2.3E-06	1591.71	3.9284E-05	1.68E-12	0.00440	9.7E-07
0.07851	2.2E-06	1591.93	3.9266E-05	1.68E-12	0.00498	8.4E-07
0.08829	2.2E-06	1591.81	3.9266E-05	1.68E-12	0.00565	6.5E-07
0.09819	2.2E-06	1591.34	3.9284E-05	1.68E-12	0.00637	5.4E-07
0.11766	2.2E-06	1591.00	3.9290E-05	1.68E-12	0.00679	4.7E-07
0.13600	1.8E-05	1590.39	3.9311E-05	1.68E-12	0.00759	4.0E-07
0.15687	1.6E-05	1589.70	3.9337E-05	1.68E-12	0.00817	4.0E-07

$m, \sigma m$: mol*kg⁻¹; \mathbf{V} : m*s⁻¹; $K_S, \sigma K_S$: bar⁻¹;

$K_{\phi(s)}, \sigma K_{\phi(s)}$: cm³*mol⁻¹*bar⁻¹

Anexo D8. Tabla de Velocidad del sonido y compresibilidad adiabática y compresibilidad adiabática molar aparente de soluciones del Bromuro deciltrimetilamonio en mezclas 1,2-propanodiol $X_{OH}=0.04963$ (293.15; 298.15; 303.15; y 308.15) K

m	σm	ν	K_S	σK_S	$K_{\phi(s)}$	$\sigma K_{\phi(s)}$
293.15K						
0.00000		1599.25	3.8604E-05	1.84E-12		
0.00987	2.7E-06	1600.17	3.8551E-05	1.84E-12	0.00446	8.4E-06
0.03011	2.3E-06	1602.50	3.8421E-05	1.83E-12	0.00372	4.0E-06
0.04340	2.4E-06	1603.37	3.8368E-05	1.82E-12	0.00436	2.5E-06
0.05884	2.1E-06	1604.92	3.8282E-05	1.81E-12	0.00433	1.7E-06
0.06860	2.2E-06	1605.43	3.8251E-05	1.80E-12	0.00466	1.2E-06
0.07863	2.1E-06	1605.79	3.8227E-05	1.79E-12	0.00502	1.1E-06
0.08839	2.0E-06	1605.65	3.8227E-05	1.79E-12	0.00557	9.0E-07
0.09846	2.2E-06	1605.33	3.8237E-05	1.79E-12	0.00611	6.9E-07
0.11824	3.2E-05	1604.50	3.8266E-05	1.78E-12	0.00702	5.7E-07
0.13769	2.2E-05	1603.86	3.8288E-05	1.78E-12	0.00762	5.0E-07
0.14823	4.2E-05	1603.47	3.8302E-05	1.78E-12	0.00790	4.2E-07
298.15K						
0.00000		1603.79	3.8450E-05	1.79E-12		
0.00987	2.7E-06	1604.55	3.8406E-05	1.79E-12	-0.00356	7.7E-06
0.03011	2.3E-06	1606.50	3.8295E-05	1.78E-12	0.00176	3.8E-06
0.04340	2.4E-06	1607.27	3.8248E-05	1.77E-12	0.00314	2.4E-06
0.05884	2.1E-06	1608.46	3.8180E-05	1.76E-12	0.00374	1.6E-06
0.06860	2.2E-06	1608.84	3.8156E-05	1.75E-12	0.00426	1.2E-06
0.07863	2.1E-06	1609.30	3.8127E-05	1.75E-12	0.00461	1.0E-06
0.08839	2.0E-06	1609.07	3.8132E-05	1.75E-12	0.00580	8.7E-07
0.09846	2.2E-06	1608.67	3.8146E-05	1.74E-12	0.00666	6.8E-07
0.11824	3.2E-05	1607.80	3.8177E-05	1.74E-12	0.00736	5.6E-07
0.13769	2.2E-05	1607.10	3.8201E-05	1.74E-12	0.00748	4.8E-07
0.14823	4.2E-05	1606.78	3.8213E-05	1.74E-12	0.00775	4.1E-07
303.15K						
0.00000		1607.02	3.8368E-05	1.75E-12		
0.00987	2.7E-06	1607.79	3.8324E-05	1.75E-12	-0.00452	7.3E-06
0.03011	2.3E-06	1609.45	3.8228E-05	1.74E-12	0.00197	3.6E-06

0.04340	2.4E-06	1610.06	3.8190E-05	1.73E-12	0.00349	2.3E-06
0.05884	2.1E-06	1611.07	3.8131E-05	1.73E-12	0.00418	1.6E-06
0.06860	2.2E-06	1611.57	3.8101E-05	1.72E-12	0.00456	1.2E-06
0.07863	2.1E-06	1611.73	3.8088E-05	1.71E-12	0.00507	9.9E-07
0.08839	2.0E-06	1611.45	3.8095E-05	1.71E-12	0.00620	8.5E-07
0.09846	2.2E-06	1610.98	3.8112E-05	1.71E-12	0.00703	6.6E-07
0.11824	3.2E-05	1610.08	3.8145E-05	1.71E-12	0.00770	5.5E-07
0.13769	2.2E-05	1609.28	3.8175E-05	1.71E-12	0.00787	4.8E-07
0.14823	4.2E-05	1608.74	3.8197E-05	1.71E-12	0.00818	4.1E-07

308.15K

0.00000		1609.30	3.8339E-05	1.72E-12		
0.00987	2.7E-06	1609.98	3.8300E-05	1.71E-12	0.00117	7.1E-06
0.03011	2.3E-06	1611.29	3.8222E-05	1.71E-12	0.00447	3.5E-06
0.04340	2.4E-06	1611.79	3.8189E-05	1.70E-12	0.00538	2.3E-06
0.05884	2.1E-06	1612.57	3.8142E-05	1.70E-12	0.00578	1.5E-06
0.06860	2.2E-06	1613.02	3.8115E-05	1.69E-12	0.00598	1.1E-06
0.07863	2.1E-06	1613.16	3.8103E-05	1.68E-12	0.00633	9.7E-07
0.08839	2.0E-06	1612.87	3.8111E-05	1.68E-12	0.00722	8.4E-07
0.09846	2.2E-06	1612.34	3.8131E-05	1.68E-12	0.00791	6.5E-07
0.11824	3.2E-05	1611.40	3.8166E-05	1.68E-12	0.00849	5.4E-07
0.13769	2.2E-05	1610.52	3.8200E-05	1.68E-12	0.00868	4.7E-07
0.14823	4.2E-05	1610.00	3.8221E-05	1.68E-12	0.00894	4.0E-07

$m, \sigma m$: mol*kg⁻¹; \mathbf{V} : m*s⁻¹; $K_S, \sigma K_S$: bar⁻¹;

$K_{\theta(s)}, \sigma K_{\theta(s)}$: cm³*mol⁻¹*bar⁻¹

Anexo E: Tensión superficial, concentración de exceso superficial y área superficial para las soluciones de BOTA y BDETA en agua y mezclas 1,2-propanodiol

Anexo E1. Tabla de Tensión superficial, concentración de exceso superficial y área superficial de soluciones del Bromuro Octiltrimetilamonio en agua a (293.15; 298.15; 303.15; y 308.15) K

X	γ	Γ	A	γ	Γ	A
	293.15K			298.15K		
0	72.53			71.86		
0.00053	65.36	0.0345	4.8E-23	65.03	0.00131	1.27E-21
0.00088	61.24	0.0537	3.1E-23	61.02	0.00169	9.83E-22
0.00175	54.53	0.0953	1.7E-23	54.41	0.00221	7.51E-22
0.00263	50.34	0.1326	1.3E-23	50.24	0.00252	6.59E-22
0.00348	46.72	0.1627	1.0E-23	46.54	0.00273	6.08E-22
0.00412	43.94	0.1812	9.2E-24	43.63	0.00286	5.81E-22
0.00519	42.92	0.2229	7.5E-24	42.69	0.00303	5.47E-22
0.00608	42.84	0.2605	6.4E-24	42.62	0.00315	5.27E-22
0.00693	42.77	0.2966	5.6E-24	42.60	0.00325	5.10E-22
0.00778	42.72	0.3326	5.0E-24	42.54	0.00334	4.97E-22
0.00865	42.64	0.3689	4.5E-24	42.47	0.00342	4.86E-22
0.00954	42.58	0.4062	4.1E-24	42.44	0.00349	4.75E-22
	303.15K			308.15K		
0	71.13			70.39		
0.00053	64.92	0.034308	4.84E-23	64.75	0.00126	1.31E-21
0.00088	60.77	0.053304	3.12E-23	60.58	0.00164	1.02E-21
0.00175	54.30	0.094914	1.75E-23	53.98	0.00214	7.76E-22
0.00263	50.04	0.131842	1.26E-23	49.88	0.00244	6.81E-22
0.00348	46.20	0.160851	1.03E-23	45.91	0.00264	6.28E-22
0.00412	43.49	0.179303	9.26E-24	43.38	0.00277	6.00E-22
0.00519	42.44	0.220395	7.53E-24	42.40	0.00294	5.66E-22
0.00608	42.42	0.257893	6.44E-24	42.37	0.00305	5.44E-22
0.00693	42.38	0.293894	5.65E-24	42.35	0.00315	5.28E-22
0.00778	42.37	0.329859	5.03E-24	42.31	0.00323	5.14E-22
0.00865	42.35	0.366412	4.53E-24	42.25	0.00331	5.02E-22
0.00954	42.30	0.403595	4.11E-24	42.20	0.00338	4.91E-22

γ : mN*m⁻¹ ; Γ : mol*m² A: m⁻²

Anexo E2. Tabla de Tensión superficial, concentración de exceso superficial y área superficial de soluciones del Bromuro Octiltrimetilamonio en mezclas 1,2-propanodiol $X_{OH}=0.02481$ (293.15; 298.15; 303.15; y 308.15) K

X	γ	Γ	A	γ	Γ	A
	293.15K			298.15K		
0	61.45			60.74		
0.00058	58.18	0.0010	1.6E-21	58.00	0.00067	2.48E-21
0.00095	55.66	0.0012	1.3E-21	55.73	0.00096	1.73E-21
0.00191	50.62	0.0016	1.0E-21	50.72	0.00138	1.21E-21
0.00283	47.41	0.0018	9.3E-22	47.61	0.00161	1.03E-21
0.00375	44.94	0.0019	8.6E-22	44.98	0.00178	9.34E-22
0.00471	42.70	0.0020	8.2E-22	42.73	0.00191	8.68E-22
0.00638	42.18	0.0022	7.6E-22	42.11	0.00209	7.94E-22
0.00786	41.76	0.0023	7.3E-22	41.74	0.00222	7.49E-22
0.00910	41.62	0.0024	7.0E-22	41.60	0.00230	7.21E-22
0.01027	41.52	0.0024	6.9E-22	41.55	0.00238	6.99E-22
0.01219	41.25	0.0025	6.6E-22	41.23	0.00248	6.70E-22
0.01311	41.21	0.0025	6.5E-22	41.18	0.00252	6.59E-22
	303.15K			308.15K		
0.0000						
0.00058	57.90	0.000952	1.74E-21	57.59	0.00095	1.75E-21
0.00095	55.48	0.001181	1.41E-21	55.16	0.00117	1.42E-21
0.00191	50.56	0.001509	1.10E-21	50.30	0.00148	1.12E-21
0.00283	47.36	0.001693	9.81E-22	47.04	0.00165	1.00E-21
0.00375	44.87	0.001826	9.09E-22	44.47	0.00178	9.33E-22
0.00471	42.83	0.001932	8.59E-22	42.66	0.00188	8.83E-22
0.00638	42.05	0.002074	8.00E-22	42.05	0.00201	8.24E-22
0.00786	41.67	0.002172	7.64E-22	41.72	0.00211	7.88E-22
0.00910	41.63	0.002241	7.41E-22	41.68	0.00217	7.64E-22
0.01027	41.60	0.002298	7.23E-22	41.65	0.00223	7.46E-22
0.01219	41.17	0.002378	6.98E-22	41.12	0.00230	7.21E-22
0.01311	41.13	0.002412	6.88E-22	41.09	0.00234	7.11E-22

γ : mN*m⁻¹ ; Γ : mol*m² A: m⁻²

Anexo E3. Tabla de Tensión superficial, concentración de exceso superficial y área superficial de soluciones del Bromuro Octiltrimetilamonio en mezclas 1,2-propanodiol $X_{OH}=0.03489$ (293.15; 298.15; 303.15; y 308.15) K

X	γ	Γ	A	γ	Γ	A
	293.15K			298.15K		
0	59.89			59.17		
0.00063	55.37	0.0010	1.6E-21	55.21	0.00101	1.65E-21
0.00097	53.28	0.0012	1.4E-21	53.16	0.00114	1.46E-21
0.00192	49.42	0.0014	1.2E-21	48.98	0.00135	1.23E-21
0.00295	45.49	0.0015	1.1E-21	45.37	0.00148	1.12E-21
0.00365	44.41	0.0016	1.1E-21	44.28	0.00154	1.08E-21
0.00494	41.94	0.0017	1.0E-21	41.95	0.00164	1.01E-21
0.00677	41.82	0.0018	9.4E-22	41.71	0.00173	9.58E-22
0.00773	41.45	0.0018	9.2E-22	41.44	0.00177	9.36E-22
0.00870	41.41	0.0018	9.0E-22	41.17	0.00181	9.17E-22
0.01061	41.03	0.0019	8.7E-22	40.82	0.00187	8.87E-22
0.01252	40.71	0.0020	8.5E-22	40.60	0.00192	8.64E-22
0.01339	40.63	0.0020	8.4E-22	40.29	0.00194	8.55E-22
	303.15K			308.15K		
0	58.51					
0.00063	54.94	0.000989	1.68E-21	57.81	0.00097	1.71E-21
0.00097	52.85	0.001121	1.48E-21	54.00	0.00110	1.51E-21
0.00192	48.78	0.001325	1.25E-21	49.90	0.00130	1.27E-21
0.00295	45.04	0.001455	1.14E-21	46.11	0.00143	1.16E-21
0.00365	44.11	0.001519	1.09E-21	44.25	0.00149	1.11E-21
0.00494	41.87	0.001610	1.03E-21	41.77	0.00158	1.05E-21
0.00677	41.62	0.001705	9.74E-22	41.53	0.00168	9.90E-22
0.00773	41.32	0.001745	9.52E-22	41.45	0.00172	9.67E-22
0.00870	41.08	0.001781	9.33E-22	40.98	0.00175	9.48E-22
0.01061	40.73	0.001840	9.02E-22	40.63	0.00181	9.17E-22
0.01252	40.52	0.001890	8.79E-22	40.42	0.00186	8.93E-22
0.01339	40.20	0.001910	8.69E-22	40.11	0.00188	8.84E-22

γ : mN*m⁻¹ ; Γ : mol*m⁻² A: m⁻²

Anexo E4. Tabla de Tensión superficial, concentración de exceso superficial y área superficial de soluciones del Bromuro Octiltrimetilamonio en mezclas 1,2-propanodiol $X_{OH}=0.04951$ (293.15; 298.15; 303.15; y 308.15) K

X	γ	Γ	A	γ	Γ	A
	293.15K			298.15K		
0	59.89			59.17		
0.00065	55.37	0.00091	1.8E-21	53.78	0.00090	1.85E-21
0.00101	53.28	0.00102	1.6E-21	52.35	0.00100	1.66E-21
0.00203	49.42	0.00118	1.4E-21	47.15	0.00116	1.43E-21
0.00301	45.49	0.00127	1.3E-21	44.46	0.00125	1.33E-21
0.00404	44.41	0.00134	1.2E-21	43.56	0.00132	1.26E-21
0.00506	41.94	0.00140	1.2E-21	41.10	0.00137	1.21E-21
0.00709	41.82	0.00148	1.1E-21	40.97	0.00145	1.14E-21
0.00800	41.45	0.00151	1.1E-21	40.93	0.00148	1.12E-21
0.01006	41.41	0.00156	1.1E-21	40.91	0.00153	1.08E-21
0.01061	41.03	0.00157	1.1E-21	40.82	0.00155	1.07E-21
0.01303	40.71	0.00162	1.0E-21	40.78	0.00159	1.04E-21
	303.15K			308.15K		
0	58.51					
0.00065	57.78	0.000882	1.88E-21	57.78	0.00087	1.91E-21
0.00101	54.27	0.000983	1.69E-21	54.16	0.00097	1.72E-21
0.00203	50.09	0.001141	1.45E-21	49.98	0.00112	1.48E-21
0.00301	46.39	0.001232	1.35E-21	46.29	0.00121	1.37E-21
0.00404	44.48	0.001299	1.28E-21	44.38	0.00128	1.30E-21
0.00506	42.03	0.001351	1.23E-21	41.93	0.00133	1.25E-21
0.00709	41.89	0.001428	1.16E-21	41.79	0.00140	1.18E-21
0.00800	41.60	0.001456	1.14E-21	41.55	0.00143	1.16E-21
0.01006	41.41	0.001508	1.10E-21	41.31	0.00148	1.12E-21
0.01061	40.98	0.001520	1.09E-21	40.88	0.00150	1.11E-21
0.01303	40.92	0.001568	1.06E-21	40.82	0.00154	1.08E-21

γ : $mN \cdot m^{-1}$; Γ : $mol \cdot m^{-2}$ A : m^{-2}

Anexo E5. Tabla de Tensión superficial, concentración de exceso superficial y área superficial de soluciones del Bromuro deciltrimetilamonio en agua a (293.15; 298.15; 303.15; y 308.15) K

X	γ	Γ	A	γ	Γ	A
	293.15K			298.15K		
0.00000	72.55			71.83		
0.00018	63.35	0.00187	8.892E-22	63.04	0.00184	9.042E-22
0.00035	56.47	0.00232	7.170E-22	56.10	0.00226	7.361E-22
0.00053	51.55	0.00259	6.424E-22	51.42	0.00251	6.623E-22
0.00079	46.30	0.00285	5.824E-22	46.10	0.00276	6.025E-22
0.00106	42.17	0.00304	5.463E-22	42.10	0.00293	5.663E-22
0.00122	40.72	0.00314	5.294E-22	40.58	0.00302	5.493E-22
0.00141	40.54	0.00323	5.140E-22	40.56	0.00311	5.338E-22
0.00177	40.48	0.00338	4.909E-22	40.47	0.00325	5.105E-22
0.00211	40.28	0.00350	4.746E-22	40.31	0.00336	4.940E-22
0.00243	40.19	0.00359	4.624E-22	40.26	0.00345	4.816E-22
0.00282	40.06	0.00369	4.500E-22	40.24	0.00354	4.691E-22
	303.15K			308.15K		
0.00000	70.99			70.36		
0.00018	62.88	0.00185	9.00E-22	62.70	0.00188	8.85E-22
0.00035	55.88	0.00222	7.47E-22	55.65	0.00221	7.52E-22
0.00053	51.28	0.00245	6.78E-22	51.14	0.00241	6.90E-22
0.00079	45.81	0.00267	6.22E-22	45.13	0.00260	6.38E-22
0.00106	42.08	0.00283	5.87E-22	42.05	0.00274	6.05E-22
0.00122	40.47	0.00291	5.71E-22	40.31	0.00281	5.90E-22
0.00141	40.39	0.00299	5.55E-22	40.18	0.00288	5.76E-22
0.00177	40.29	0.00312	5.33E-22	40.10	0.00300	5.54E-22
0.00211	40.14	0.00321	5.17E-22	40.06	0.00308	5.39E-22
0.00243	40.09	0.00329	5.04E-22	40.00	0.00315	5.27E-22
0.00282	40.05	0.00337	4.92E-22	39.95	0.00322	5.15E-22

γ : mN*m⁻¹ ; Γ : mol*m² A: m⁻²

Anexo E6. Tabla de Tensión superficial, concentración de exceso superficial y área superficial de soluciones del Bromuro deciltrimetilamonio en mezclas 1,2-propanodiol $X_{OH}=0.02481$ (293.15; 298.15; 303.15; y 308.15) K

X	γ	Γ	A	γ	Γ	A
	293.15K			298.15K		
0.00000	61.39			60.79		
0.00019	56.03	0.00079	2.092E-21	56.26	0.00094	1.762E-21
0.00038	51.50	0.00154	1.079E-21	51.45	0.00157	1.056E-21
0.00057	48.75	0.00200	8.305E-22	48.52	0.00196	8.460E-22
0.00086	44.33	0.00244	6.801E-22	44.15	0.00234	7.106E-22
0.00115	40.07	0.00276	6.015E-22	40.12	0.00261	6.370E-22
0.00133	39.64	0.00293	5.677E-22	39.58	0.00275	6.047E-22
0.00154	39.89	0.00308	5.388E-22	39.53	0.00288	5.768E-22
0.00190	39.58	0.00331	5.013E-22	39.49	0.00307	5.403E-22
0.00228	39.47	0.00351	4.726E-22	39.36	0.00324	5.119E-22
0.00267	39.32	0.00369	4.505E-22	39.30	0.00339	4.898E-22
0.00303	39.25	0.00383	4.340E-22	39.23	0.00351	4.733E-22
	303.15K			308.15K		
0.00000	60.51			59.92		
0.00019	55.93	0.00097	1.71E-21	55.49	0.00094	1.76E-21
0.00038	51.34	0.00158	1.05E-21	51.10	0.00152	1.09E-21
0.00057	48.35	0.00196	8.49E-22	48.17	0.00188	8.84E-22
0.00086	44.10	0.00232	7.17E-22	44.00	0.00222	7.47E-22
0.00115	40.23	0.00258	6.44E-22	40.36	0.00247	6.72E-22
0.00133	39.62	0.00271	6.12E-22	39.49	0.00260	6.39E-22
0.00154	39.50	0.00284	5.85E-22	39.39	0.00272	6.11E-22
0.00190	39.36	0.00303	5.48E-22	39.32	0.00290	5.73E-22
0.00228	39.32	0.00319	5.20E-22	39.27	0.00305	5.44E-22
0.00267	39.20	0.00333	4.98E-22	39.15	0.00319	5.21E-22
0.00303	39.12	0.00345	4.82E-22	39.11	0.00330	5.04E-22

γ : mN*m⁻¹ ; Γ : mol*m² A: m⁻²

Anexo E7. Tabla de Tensión superficial, concentración de exceso superficial y área superficial de soluciones del Bromuro deciltrimetilamonio en mezclas 1,2-propanodiol $X_{OH}=0.03466$ (293.15; 298.15; 303.15; y 308.15) K

X	γ	Γ	A	γ	Γ	A
	293.15K			298.15K		
0.00000	59.81			59.10		
0.00019	55.44	0.00099	1.68E-21	55.25	0.00095	1.757E-21
0.00034	51.70	0.00138	1.21E-21	51.62	0.00133	1.248E-21
0.00059	48.17	0.00176	9.42E-22	48.11	0.00171	9.696E-22
0.00088	44.02	0.00204	8.12E-22	44.00	0.00199	8.332E-22
0.00118	40.95	0.00224	7.40E-22	40.97	0.00219	7.580E-22
0.00137	40.06	0.00235	7.07E-22	40.05	0.00230	7.235E-22
0.00157	39.73	0.00244	6.80E-22	39.71	0.00239	6.956E-22
0.00176	39.43	0.00252	6.58E-22	39.43	0.00247	6.729E-22
0.00196	39.28	0.00260	6.40E-22	39.15	0.00254	6.536E-22
0.00235	39.25	0.00272	6.10E-22	39.09	0.00266	6.232E-22
0.00271	39.13	0.00282	5.89E-22	38.98	0.00276	6.008E-22
0.00313	39.00	0.00292	5.69E-22	38.97	0.00286	5.803E-22
	303.15K			308.15K		
0.00000	58.42			57.85		
0.00019	55.20	0.00099	1.6708E-21	55.06	0.00096	1.74E-21
0.00034	51.45	0.00132	1.2536E-21	51.30	0.00128	1.30E-21
0.00059	47.95	0.00165	1.0053E-21	47.98	0.00160	1.04E-21
0.00088	43.99	0.00189	8.776E-22	43.98	0.00184	9.03E-22
0.00118	41.03	0.00206	8.0536E-22	41.09	0.00200	8.28E-22
0.00137	40.09	0.00215	7.7192E-22	40.14	0.00209	7.94E-22
0.00157	39.75	0.00223	7.4453E-22	39.68	0.00217	7.65E-22
0.00176	39.46	0.00230	7.2218E-22	39.41	0.00224	7.42E-22
0.00196	39.34	0.00236	7.0306E-22	39.33	0.00230	7.22E-22
0.00235	39.13	0.00247	6.7278E-22	39.11	0.00240	6.91E-22
0.00271	39.01	0.00255	6.5035E-22	38.97	0.00249	6.68E-22
0.00313	38.94	0.00264	6.2968E-22	38.83	0.00257	6.46E-22

γ : mN*m⁻¹ ; Γ : mol*m² A: m⁻²

Anexo E8. Tabla de Tensión superficial, concentración de exceso superficial y área superficial de soluciones del Bromuro deciltrimetilamonio en mezclas 1,2-propanodiol $X_{OH}=0.04981$ (293.15; 298.15; 303.15; y 308.15) K

X	γ	Γ	A	γ	Γ	A
	293.15K			298.15K		
0.00000	57.02			56.28		
0.00021	53.70	0.01107	1.500E-22	53.45	0.00090	1.851E-21
0.00063	47.06	0.02957	5.616E-23	47.03	0.00153	1.088E-21
0.00091	43.68	0.03955	4.199E-23	43.62	0.00173	9.583E-22
0.00123	40.75	0.05001	3.321E-23	40.80	0.00190	8.719E-22
0.00143	39.93	0.05713	2.907E-23	39.90	0.00199	8.340E-22
0.00164	39.57	0.06486	2.560E-23	39.54	0.00207	8.030E-22
0.00184	39.24	0.07229	2.297E-23	39.23	0.00213	7.782E-22
0.00205	39.14	0.08031	2.068E-23	39.06	0.00219	7.567E-22
0.00246	39.02	0.09612	1.728E-23	38.91	0.00230	7.227E-22
0.00287	38.84	0.11135	1.491E-23	38.80	0.00238	6.967E-22
0.00309	38.76	0.11961	1.388E-23	38.75	0.00242	6.848E-22
	303.15K			308.15K		
0.00000	55.71			54.99		
0.00980	53.22	0.00084	1.97E-21	52.95	0.00084	1.97E-21
0.01934	46.96	0.00164	1.01E-21	46.97	0.00164	1.01E-21
0.02946	43.62	0.00190	8.75E-22	43.64	0.00190	8.75E-22
0.04412	40.96	0.00211	7.86E-22	41.01	0.00211	7.86E-22
0.05906	39.96	0.00222	7.47E-22	40.02	0.00222	7.47E-22
0.06864	39.50	0.00232	7.16E-22	39.51	0.00232	7.16E-22
0.07923	39.22	0.00240	6.91E-22	39.21	0.00240	6.91E-22
0.09779	39.03	0.00248	6.70E-22	39.03	0.00248	6.70E-22
0.11756	38.86	0.00261	6.36E-22	38.92	0.00261	6.36E-22
0.13768	38.76	0.00272	6.11E-22	38.77	0.00272	6.11E-22
0.15645	38.66	0.00277	5.99E-22	38.69	0.00277	5.99E-22

γ : $\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$; Γ : $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}$ A: m^{-2}

Bibliografía

- [1] L. Wattebled, "Oligomeric Surfactants as Novel Type of Amphiphiles : Structure – Property Relationships and Behaviour with Additives," Universität Potsdam, 2006.
- [2] D. Myers, *Surfaces, interfaces, and colloids: Principles and Applications*, 2nd ed., vol. 4. New York, 1999.
- [3] G. Kume, M. Gallotti, and G. Nunes, "Review on Anionic / Cationic Surfactant Mixtures," *J. Surfact. Deterg.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–11, 2008.
- [4] K. Holmberg, J. Bo, and B. Kronberg, *Surfactants and polymers in aqueous solution*, 2nd ed. England, 2002.
- [5] O. L. Matvyeyeva, O. A. Vasylenko, and O. R. Aliieva, Microbial Biosurfactants Role in Oil Products Biodegradation, *Int. J. Environ. Bioremediation Biodegrad.*, vol. 2, no. 2, pp. 69–74, 2014.
- [6] D. Myers, *Surfactant science and technology*, Third edit. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2006.
- [7] M. J. Rosen, *Surfactants and interfacial phenomena*, 3rd ed. New York, 2004.
- [8] U. Zoller, *Handbook of Detergents*. New York: CRC Press, 2010.
- [9] T. F. Tadros, *Applied Surfactants Principles and Applications*, 1st ed. 2005.
- [10] B. Kronberg, M. Castas, and R. Silveston, Understanding the Hydrophobic Effect, *J. Dispers. Sci. Technol.*, vol. 15, no. 3, pp. 333–351, Jan. 1994.
- [11] D. F. Evans, Self-organization of amphiphiles, *Langmuir*, vol. 4, no. 1, pp. 3–12, Jan. 1988.
- [12] N. T. Southall, K. A. Dill, and A. D. J. Haymet, A view of the Hydrophobic Effect, *J. phys. chem*, vol. 186, no. 3, pp. 521–533, 2002.
- [13] M. Costas, B. Kronberg, and R. Silveston, General thermodynamic analysis of the

- dissolution of non-polar molecules into water, *J. Chem Soc, Faraday Trans*, vol. 90, no. 11, pp. 1513–1522, 1994.
- [14] S.Marfisi, Estabilidad de emulsiones relacionada con el proceso de deshidratación de crudos , Tesis doctorado.Universidad de los Andes, 2005.
- [15] M. N. Khan, *Micellar Catalysis*. United States of America: Taylor & Francis, 2007.
- [16] C. R. Haramagatti, Structure , Dynamics and Phase Behaviors of Cationic Micellar Solutions: Raman and Neutron Scattering Study of Alkyltrimethylammonium Bromides, Universität zu Göttingen, 2006.
- [17] A. Laschewsky, Molecular Concepts , Self-Organisation and Properties of Polysoaps, in *Polysoaps/Stabilizers/Nitrogen-15 NMR*, vol. 124, P. Sci, Ed. 1995, p. 26,42.
- [18] S. K. N. Kumaraguru, K. Santhakumar, Studies on Thermodynamics of Micellization and Solvophobic Interactions of Novel Surfactant – Cr (III) Complexes in Non-aqueous Solvents,*J. Solution Chem.*, vol. 40, no. 10, pp. 1673–1686, 2011.
- [19] P. K. J. M. Mukerjee, *critical micelle concentrations of aqueous surfactant systems*. Washington: National Bureay of Standards, 1971.
- [20] L. R.Fisher, Micelles in Aqueous Solution, *Chem.Soc.Rev*, vol. 6, no. 1, pp. 25–42, 1977.
- [21] B. Lindman, A Bromine-79 Nuclear Magnetic Resonance Study of the Structure of Aqueous Solutions of Mono-,Di-, and Trialkylammonium Bromides, vol. 74, no. 4, pp. 754–760, 1970.
- [22] A. Domínguez, A. Fernández, N. González, E. Iglesias, and L. Montenegro, Determination of Critical Micelle Concentration of Some Surfactants by Three Techniques, *J. Chem. Educ*, vol. 74, no. 10, pp. 1227–1231, 1997.
- [23] R. Mandavi, Kinetic studies of some Esters and Amides in presence of micelles, Ravishankar Shukla University, 2011.
- [24] V. Balzani, K. N. Houk, H. Kessler, J.-M. Lehn, S. V. Ley, A. Meijere, S. L. Schreiber, J. Thiem, B. M. Trost, P. Vogel, F. Vögtle, and H. Yamamoto, *Topics in Current Chemistry*. Germany: Springer Verlag, 1980.

-
- [25] H. Evans, D.F.; Wennerström, *The Colloidal Domain: Where Physics, Chemistry, Biology, and Technology Meet*, 2nd ed. Wiley, 1999.
- [26] R. L. Porto, control de la síntesis dirigida por micelas para la obtención de nanoestructuras de óxidos de manganeso con uso potencial en capacitores electroquímicos, tesis,2010.
- [27] J. N. Israelachvili, D. J. Mitchell, and B. W. Ninham, Theory of self-assembly of hydrocarbon amphiphiles into micelles and bilayers,*J. Chem. Soc., Faraday Trans. 2*, vol. 72, p. 1525, Jan. 1976.
- [28] V. Mosquera, del Río JM, D. Attwood, M. García, M. Jones, G. Prieto, M. Suarez, and F. Sarmiento, A Study of the Aggregation Behavior of Hexyltrimethylammonium Bromide in Aqueous Solution., *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 206, no. 1, pp. 66–76, Oct. 1998.
- [29] S. Kumar, A. Naqvi, and V. Aswal, A SANS study on growth of anionic micelles with quaternary ammonium bromide, *Curr. Sci*, vol. 84, no. 10, pp. 1346–1349, 2003.
- [30] Y. Bayrak, Micelle Formation in Sodium Dodecyl Sulfate and Dodecyltrimethylammonium Bromide at Different temperatures ,*Turkish J. Chem.*, vol. 27, no. 4, pp. 487–492, 2003.
- [31] F. S. J.M. del Rio, C. Pombo, G. Prieto, V. Mosquera, Effect of Temperature and Alkyl Chain Length on the Micellar Properties of n-Alkyltrimethylammonium Bromides in a Low pH Medium, *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 172, no. 1, pp. 137–141, 1995.
- [32] R. Hargreaves, D. T. Bowron, and K. Edler, Atomistic structure of a micelle in solution determined by wide Q-range neutron diffraction.,*J. Am. Chem. Soc.*, vol. 133, no. 41, pp. 16524–36, Oct. 2011.
- [33] V. Degiorgio, Laser Light Scattering in Micellar Solutions . Absolute Intensity Calibration., *Nuovo Cim. D*, vol. 3, no. 1, p. 45,50, 1984.
- [34] A. Rohde, Quasielastic Light-Scattering Studies of Micellar Sodium Dodecyl Sulfate Solutions at the Low Concentration Limit Experimentelle, Abteilung, *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 70, no. 3, pp. 494–505, 1979.
- [35] P. T. Jacobs, R. D. Geer, and E. . Anacker, “A comparison of micellar aggregation numbers as determined by dye solubilization and light scattering,” *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 39, no. 3, pp. 611–620, Jun. 1972.

- [36] P. Becher and H. Arai, Nonionic surface-active compounds. XI. Micellar size, shape, and hydration from light-scattering and hydrodynamic measurements, *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 27, no. 4, pp. 634–641, Aug. 1968.
- [37] R. G. Alargova, I. I. Kochijashky, M. L. Sierra, and R. Zana, Micelle Aggregation Numbers of Surfactants in Aqueous Solutions: A Comparison between the Results from Steady-State and Time-Resolved Fluorescence Quenching, *Langmuir*, vol. 14, no. 19, pp. 5412–5418, 1998.
- [38] G. Weber, M. Shinitzky, A. C. Dianoux, and C. Gitler, Microviscosity and order in the hydrocarbon region of micelles and membranes determined with fluorescent probes. I. Synthetic micelles, *Biochemistry*, vol. 10, no. 11, pp. 2106–2113, May 1971.
- [39] D. D. Miller and D. F. Evans, Fluorescence Quenching in Double-Chained Surfactants. 1. Theory of Quenching in Micelles and Vesicles, *J. Phys. Chem.*, vol. 93, no. 1, pp. 323–333, 1989.
- [40] P. P. Infelta, Fluorescence quenching in micellar solutions and its application to the determination of aggregation number, *Chem. Phys. Lett.*, vol. 61, no. 1, pp. 88–91, 1979.
- [41] J. Mata, D. Varade, and P. Bahadur, Aggregation behavior of quaternary salt based cationic surfactants, *Thermochim. Acta*, vol. 428, no. 1–2, pp. 147–155, Apr. 2005.
- [42] J. van Stam, S. Depaemelaere, and F. C. De Schryver, Micellar Aggregation Numbers - A Fluorescence Study, *J. Chem. Educ.*, vol. 75, no. 1, p. 93, Jan. 1998.
- [43] K. Maiti, D. Mitra, S. Guha, and S. P. Moulik, Salt effect on self-aggregation of sodium dodecylsulfate (SDS) and tetradecyltrimethylammonium bromide (TTAB): Physicochemical correlation and assessment in the light of Hofmeister (lyotropic) effect, *J. Mol. Liq.*, vol. 146, no. 1–2, pp. 44–51, May 2009.
- [44] M.k.Baloch, Effect of electrolyte concentration and temperature on CMC of surfactants, *jour.chem.soc.pak*, vol. 24, no. 2, pp. 77–86, 2002.
- [45] B. Lindman and H. Wennerstrom, Micelles Amphiphile Aggregation in Aqueous Solution, in *Topics in Current Chemistry*, 1980, pp. 8–11.
- [46] S. Thomaier, Formulation and Characterization of New Innovative Colloidal

Systems Involving Ionic Liquids for the Application at High Temperatures, Universität Regensburg, 2009.

- [47] H. B. Klevens, Structure and aggregation in dilute solution of surface active agents, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, vol. 30, no. 2, pp. 74–80, Feb. 1953.
- [48] R. Zana, S. Yiv, C. Strazielle, and P. Lianos, Effect of alcohol on the properties of micellar systems, *Colloid Interface Sci.*, vol. 80, no. 1, pp. 208–223, 1981.
- [49] R. Leung, Dynamic Properties of Micellar Solutions: Effects of Short-Chain Alcohols and Polymers on Micellar Stability., *Colloid Interface Sci.*, vol. 113, no. 2, pp. 484–499, 1986.
- [50] K. M. G.M. Førland, J. Samseth, and H. Høiland, The Effect of Medium Chain Length Alcohols on the Micellar Properties of Sodium Dodecyl Sulfate in Sodium Chloride Solutions, *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 164, no. 1, pp. 163–167, 1994.
- [51] S. M. Stephany, T. M. Kole, and M. R. Fisch, Light Scattering Study of the Effects of 1-Pentanol on Solutions of Sodium Dodecyl Sulfate in NaCl-H₂O Solutions,” *J. Phys. Chem*, vol. 98, no. 43, pp. 11126–11128, 1994.
- [52] K.-H. Kang, H.-U. Kim, and K.-H. Lim, Effect of temperature on critical micelle concentration and thermodynamic potentials of micellization of anionic ammonium dodecyl sulfate and cationic octadecyl trimethyl ammonium chloride, *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.*, vol. 189, no. 1–3, pp. 113–121, Sep. 2001.
- [53] B. May, E. Mahmood, and D. A. F. Al-koofee, “Effect of Temperature Changes on Critical Micelle Concentration for Tween Series Surfactant,” *Glob. J. Sci. Front. Res. Chem.*, vol. 13, no. 4, pp. 1–7, 2013.
- [54] E.-M. C. Li-Jen Chen, Shi-Yow Lin, Chiung-Chang Huang, Temperature dependence of critical micelle concentration of polyoxyethylenated non-ionic surfactants, *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.*, vol. 135, no. 1–3, pp. 175–181, 1998.
- [55] B. D. Flockhart, The effect of temperature on the critical micelle concentration of some paraffin-chain salt, *J. Colloid Sci.*, vol. 16, no. 5, pp. 484–492, 1961.
- [56] E. H. Crook, D. B. Fordyce, and G. F. Trebbi, Molecular weight distribution of nonionic surfactants. I. Surface and interfacial tension of normal distribution and homogeneous p,t-Octylphenoxyethoxyethanols (OPE’S), *J. Phys. Chem.*, vol. 67, no. 10, pp. 1987–1994, Oct. 1963.

- [57] B. Elaine N, B. Stasiuka, Laurier L. Schramma, The Temperature Dependence of the Critical Micelle Concentrations of Foam-Forming Surfactants, *Colloid Interface Sci.*, vol. 178, no. 1, pp. 324–333, Mar. 1996.
- [58] T. S. K.Fukada, A. Oishi, M.Fujii, T.Shirakawa, T.Kato, effect of pressure on adiabatic compressibility of aqueous solutions of decyltrimethylammonium bromide, *Colloid Interface .Sci*, vol. 170, pp. 31–37, 1995.
- [59] Vanos.N, II.I Alkyltrimethylammonium salts, in *Physico-Chemical Properties of Selected. Anionic, Cationic and Nonionic Surfactants*, 1st ed., Amsterdam. Elsevier, 1993, pp. 109–136.
- [60] R. Zielinski, S. Ikeda, H. Nomura, and S. Kato, Effect of Temperature on Micelle Formation in Aqueous Solutions of Alkyltrimethylammonium Bromides, *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 129, no. 1, pp. 16–20, 1989.
- [61] P. Carpena, J. Aguiar, and C. C. Ruiz, Problems Associated with the Treatment of Conductivity–Concentration Data in Surfactant Solutions: Simulations and Experiments, *Langmuir*, vol. 18, no. 16, pp. 6054–6058, 2002.
- [62] J. Oremusová, Micellization of Alkyl Trimethyl Ammonium Bromides in Aqueous Solutions–Part 1: Critical Micelle Concentration (CMC) and Ionization Degree, vol. 49, no. 3. pp. 231–240, 2012.
- [63] D. F. Evans, M. Allen, B. W. Ninham, and A. Fouda, Critical micelle concentrations for alkyltrimethylammonium bromides in water from 25° to 160°C, *J. Solution Chem.*, vol. 13, no. 2, pp. 87–101, Feb. 1984.
- [64] D. Evans and P. Wightman, Micelle Formation above 100 ° C, *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 86, no. 2, pp. 515–524, 1982.
- [65] A. C. F. Ribeiro, V. M. M. Lobo, A. J. M. Valente, E. F. G. Azevedo and H. D. Burrows, Transport properties of alkyltrimethylammonium bromide surfactants in aqueous solutions, *Colloid Polym. Sci.*, vol. 283, no. 3, pp. 277–283, May 2004.
- [66] R. De Lisi, C. Ostiguy, G. Perron, and J. E. Desnoyers, Complete thermodynamic properties of nonyl- and decyltrimethylammonium bromides in water, *Colloid Interface Sci.*, vol. 71, no. 1, pp. 147–166, Aug. 1979.
- [67] B. S. Diego Gómez-Díaz and José M. Navaza, Density , Kinematic Viscosity , Speed of Sound , and Surface Tension of Hexyl , Octyl , and Decyl Trimethyl Ammonium Bromide Aqueous Solutions, *J. Chem. Eng*, vol. 52, no. 3, pp. 889–891, 2007.

- [68] M. Drifford, L. Belloni, and M. Dubois, Light scattering on concentrated micellar systems: Influence of monomers, *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 118, no. 1, pp. 50–67, Jul. 1987.
- [69] R. Zana, Effect of Alcohol on the Properties of Micellar Systems, *J. Colloid Interface .Sci*, vol. 80, no. 1, pp. 208–223, 1981.
- [70] A. Rodríguez, M. Muñoz, M. Graciani, and M. L. Moyá, Role of the counterion in the effects of added ethylene glycol to aqueous alkyltrimethylammonium micellar solutions, *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 298, pp. 942–951, 2006.
- [71] M. L. Moyá, A. Rodríguez, M. D. M. Graciani, and G. Fernández, Role of the solvophobic effect on micellization.,, vol. 316, no. 2, pp. 787–795, Dec. 2007.
- [72] W. Li, Y. Han, J. Zhang, and B. Wang, “Effect of Ethanol on the Aggregation Properties of Cetyltrimethylammonium Bromide Surfactant, *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 67, no. 2, pp. 159–163, 2005.
- [73] G. D. Errico, D. Ciccarelli, and O. Ortona, Effect of glycerol on micelle formation by ionic and nonionic surfactants at 25 °C, *Colloid Interface Sci.*, vol. 286, no. 2, pp. 747–754, 2005.
- [74] P. K. Sansanwal, “Effect of co-solutes on the physico-chemical properties of surfactant solutions,” *J. Sci. Ind. Res. (India)*., vol. 65, no. 1, pp. 57–64, 2006.
- [75] M. L. M. María Amalia Rodríguez, María Muñoz, María del Mar Graciani, María Soledad Fernández Pachón, Effects of head group size on micellization of cetyltrialkylammonium bromide surfactants in water – ethylene glycol mixtures, *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.*, vol. 298, no. 3, pp. 177–185, 2007.
- [76] L. Wei, Z. Ming, Z. Jinli, and H. Yongcai, Self-assembly of cetyl trimethylammonium bromide in ethanol-water mixtures, *Front. Chem. China*, vol. 1, no. 4, pp. 438–442, 2006.
- [77] A. Rodríguez , M. Graciani and M. Muñoz, Water-Ethylene Glycol Alkyltrimethylammonium Bromide Micellar Solutions as Reaction Media : Study of Spontaneous Hydrolysis of Phenyl Chloroformate, *Langmuir*, vol. 19, no. 18, pp. 7206–7213, 2003.
- [78] A. Rodríguez, M. D. M. Graciani, and M. L. Moyá, Effects of addition of polar organic solvents on micellization., *Langmuir*, vol. 24, no. 22, pp. 12785–92, Nov.

2008.

- [79] M. L. Moyá, A. Rodríguez, M. Graciani, and V. I. Martín, Micellization in Water-Polar Organic Solvent Binary Mixtures, *Curr. Phys. Chem.*, vol. 1, no. 4, pp. 352–368, 2011.
- [80] D. Attwood, V. Mosquera, J. Rodriguez, M. Garcia, and M. J. Suarez, Effect of alcohols on the micellar properties in aqueous solution of alkyltrimethylammonium bromides, *Colloid Polym. Sci.*, vol. 272, no. 5, pp. 584–591, 1994.
- [81] C. C. Ruiz, Thermodynamics of micellization of tetradecyltrimethylammonium bromide in ethylene glycol- water binary mixtures, *Colloid Polym. Sci.*, vol. 277, pp. 701–707, 1999.
- [82] E. W.-J. R. Palepu, H. Gharibi, D. M. Bloor, Electrochemical Studies Associated with the Micellization of Cationic Surfactants in Aqueous Mixtures of Ethylene Glycol and Glycerol, *Langmuir*, vol. 9, no. 1, pp. 110–112, 1993.
- [83] T. W. Sune Backlund, Björn Bergenståhl, Ove Molander, Aggregation of Tetradecyltrimethylammonium Bromide in Water, 1, 2-Ethanediol, and Their Mixtures, *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 131, no. 2, p. 393, 1989.
- [84] M. L. M. Amalia Rodriguez, Maria del Mar Graciani, Gaspar Fernandez, Effects of glycols on the thermodynamic and micellar properties of TTAB in water, *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 338, no. 1, pp. 207–215, 2009.
- [85] C. C. Ruiz and J. Aguiar, Self-assembly of tetradecyltrimethylammonium bromide in glycerol aqueous mixtures: A thermodynamic and structural study, *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 305, pp. 293–300, 2007.
- [86] a Castedo, J. Castillo, M. Suárez-Fillooy, and J. Rodríguez, Effect of Temperature on the Mixed Micellar Tetradecyltrimethylammonium Bromide-Butanol System., *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 196, no. 2, pp. 148–156, Dec. 1997.
- [87] I. Rao, Micellization Behavior in the Presence of Alcohols, *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 113, no. 2, pp. 375–387, 1986.
- [88] T. Tomi, T. Maeda, I. Satake, and K. Hayakawa, Micelle formation of a cationic surfactant in the presence of 1, n-alkanediol and the miscibility of alcohols in micelles, *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.*, vol. 346, pp. 28–33, 2009.
- [89] S. N. Macmillan and M. J. Mcalduff, The interaction of isomeric hexanediols with

- sodium dodecyl sulfate and dodecyltrimethylammonium bromide micelles, *Colloid Polym. Sci.*, vol. 279, pp. 1–7, 2001.
- [90] E. Aicart, D. J. Jobe, B. Skalski, and R. E. Verrau, Ultrasonic Relaxation Studies of Mixed Micelles Formed from Propanol-Decyltrimethylammonium Bromide-Water, *J. phys. chem*, vol. 96, no. 5, pp. 2348–2355, 1992.
- [91] R. Zieliński, S. Ikeda, H. Nomura, and S. Kato, Temperature dependence of adiabatic compressibility of aqueous solutions of alkyltrimethylammonium bromides, *J. Chem Soc, Faraday Trans.*, vol. 84, no. 1, p. 151, 1988.
- [92] J. M. Corkill, J. F. Goodman, and T. Walker, "Partial Molar Volumes of Surface-Active Agents in Aqueous Solution," *Trans. Faraday Soc.*, vol. 63, pp. 768–772, 1967.
- [93] D. E. Goveli, J. B. Kayes, and S. S. Davis, Partial Molal Volume and Light Scattering Studies on Certain Alkyltrimethylammonium Bromides , and the Effect of Added 1-Alkanols, vol. 82, no. 2, 1981.
- [94] R. De Lisi, S. Milioto, and R. E. Verrall, Partial Molar volumes and Compressibilities of alkyltrimethylammonium Bromides, *J. Sol. Chem.*, vol. 19, no. 7, pp. 665–692, 1990.
- [95] R. De Lisi, C. Ostiguy, G. Perron, and J. E. Desnoyers, "Complete thermodynamic properties of nonyl- and decyltrimethylammonium bromides in water," *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 71, no. 1, pp. 147–166, 1979.
- [96] D. E. Guvelit, Viscosity B Coefficients of Some Alkyltrimethylammonium Bromides and the Effect of Added Alkan-1-ols, *j.chem.soc.,Faraday Trans.*, vol. 78, no. 1, pp. 1377–1388, 1981.
- [97] A. W. Adamson, *Physical Chemistry of Surfaces*, 6th ed. United States of America, 1997.
- [98] J. C. Cadena, Efecto de la temperatura sobre propiedades termodinámicas de soluciones acuosas de α , ω -aminoácidos, Universidad Nacional de Colombia, 2012.
- [99] L. K. H. Strnadová, Micellar systems-factors influencing critical micelle concentration and measuring methods, 2005.
- [100] T. Chakraborty, I. Chakraborty, and S. Ghosh, The methods of determination of

-
- critical micellar concentrations of the amphiphilic systems in aqueous medium, *Arab. J. Chem.*, vol. 4, no. 3, pp. 265–270, 2011.
- [101] M. F. Hossain, T. K. Biswas, M. N. Islam, and M. E. Huque, Volumetric and viscometric studies on dodecyltrimethylammonium bromide in aqueous and in aqueous amino acid solutions in pre-micellar region, *Monatshefte für Chemie - Chem. Mon.*, vol. 141, no. 12, pp. 1297–1308, 2010.
- [102] C. M. Romero, E. Jiménez, and F. Suárez, Effect of temperature on the behavior of surface properties of alcohols in aqueous solution, *J. Chem. Thermodynamics*, vol. 41, no. 4, pp. 513–516, 2009.
- [103] F. Suárez and C. M. Romero, Apparent Molar Volume and Surface Tension of Dilute Aqueous Solutions of Carboxylic Acids, *J. Chem. Eng. Data*, vol. 56, no. 2, pp. 1778–1786, 2011.
- [104] S. Chavda, K. Singh, D. G. Marangoni, V. K. Aswal, and P. Bahadur, Cationic Micelles Modulated in the Presence of α , ω -Alkanediols: A SANS, NMR and Conductometric Study, *J. Surfact Deterg*, vol. 15, pp. 317–325, 2012.
- [105] R. Nagarajan and C. C. Wang, Theory of surfactant aggregation in water/ethylene glycol mixed solvents, *Langmuir*, vol. 16, no. 12, pp. 5242–5251, 2000.
- [106] R. Nagarajan and C. Wang, Solution Behavior of Surfactants in Ethylene Glycol: Probing the Existence of a CMC and of Micellar Aggregates, *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 178, pp. 471–482, 1996.
- [107] B. Sohrabi, A. Bazyari, and M. Hashemianzadeh, Effect of ethylene glycol on micellization and surface properties of Gemini surfactant solutions, *Colloids Surf A Physicochem. Eng. Asp.*, vol. 364, no. 1–3, pp. 87–93, 2010.

