



# Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Química

Departamento de Físicoquímica

Colegio de Superficies e Interfaces

---

GUÍA PARA EXAMEN EXTRAORDINARIO

FISICOQUÍMICA DE INTERFASES (1502)

Y

FENÓMENOS DE SUPERFICIES (1542)

---

Octubre del 2024

---

El contenido de esta guía es responsabilidad del Colegio de Superficies e Interfases durante el semestre 2025-1, a continuación, listados en orden alfabético.

- Jesús Gracia Fadrique
- Ma. Guadalupe Lemus Barajas
- José Luis López Cervantes
- Mario Alberto Martínez Vitela

Esperamos que esta guía te sirva de apoyo en tu próximo examen extraordinario o departamental. Si encuentras errores u omisiones, te agradeceríamos que nos lo hagas saber al siguiente correo [fenomenossuperficies104@gmail.com](mailto:fenomenossuperficies104@gmail.com). ¡Éxito!

---

### **Al estudiante:**

Esta guía para el examen extraordinario de las asignaturas *Fisicoquímica de Interfases* (clave 1502) y *Fenómenos de Superficies* (clave 1542) contiene ejercicios resueltos alineados con los contenidos del programa de estudios vigente. En la primera parte, encontrarás preguntas diseñadas para orientar tu estudio, junto con la bibliografía recomendada para cada tema y enlaces a videos preparados por el Colegio de Superficies y otros recomendados.

Es importante recordar que esta guía no reemplaza los cursos formales ni la literatura indicada en el programa de la asignatura, pues aquí no se abordan en profundidad los conceptos, modelos o teorías fundamentales que necesitas conocer. En su lugar, este material complementa el estudio de los temas clave, mostrando cómo resolver los casos y ejercicios representativos de la asignatura, e incluye explicaciones concisas para seguir la solución de ejercicios tanto numéricos como conceptuales.

Además, te sugerimos que acompañes esta guía con el material de apoyo señalado en cada sección para una comprensión más completa.

---

## TEMA 1. INTERFASE FLUIDAS

1. ¿Qué es una interfase y que características presenta?
2. ¿Qué es la tensión superficial y cuáles son sus unidades?
3. ¿Cuál es el efecto de las fuerzas intermoleculares en la tensión superficial?
4. ¿Qué variables afectan a la tensión superficial?
5. Definición de trabajo superficial
6. Potenciales termodinámicos para la interfase
7. Métodos para determinar la tensión superficial e interfacial
8. En que se basa el método de pesado o volumen de gota. ¿Por qué necesita corrección?
9. En que se basa el método del anillo. ¿Por qué necesita corrección?
10. ¿Cuál es el fundamento del ascenso capilar?

### Bibliografía

1. Adamson, A. W. (1998). Physical chemistry of surfaces. John Wiley and Sons.
2. Fadrique, J. G., & Trejo, J. V. (2018). Curvatura y termodinámica. Educación Química, 18(2), 128. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2007.2.65963>
3. Kronberg, B., Holmberg, K., & Lindman, B. (2014). Surface Chemistry of Surfactants and Polymers. Wiley.

### Enlace a los videos sobre el tema:

1. [https://drive.google.com/file/d/1r1q1Y-jgYNBjJGHqVju7L1xitglJp07W/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/1r1q1Y-jgYNBjJGHqVju7L1xitglJp07W/view?usp=drive_link)
2. [https://drive.google.com/file/d/1Z5GfsoZ8bovYHc0eVt68QoAzGBNJZ17d/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/1Z5GfsoZ8bovYHc0eVt68QoAzGBNJZ17d/view?usp=drive_link)
3. [https://drive.google.com/file/d/1aY47T9DKuepK9Zsg5\\_kl9leSK3m\\_9bdx/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/1aY47T9DKuepK9Zsg5_kl9leSK3m_9bdx/view?usp=drive_link)
4. [https://drive.google.com/file/d/1CJ3VxoWyDaP-DoXD4kWtN30Hsq0I2nWF/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/1CJ3VxoWyDaP-DoXD4kWtN30Hsq0I2nWF/view?usp=drive_link)

- 
5. [https://drive.google.com/file/d/100jfx1-Tu51W0z06lcWqTd1AURZbH7vz/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/100jfx1-Tu51W0z06lcWqTd1AURZbH7vz/view?usp=drive_link)
  6. [https://drive.google.com/file/d/1q8FXobuw8EH\\_eJEfeqAVmYarhzf3RM4t/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/1q8FXobuw8EH_eJEfeqAVmYarhzf3RM4t/view?usp=drive_link)
  7. [https://drive.google.com/file/d/1j1ydDvApHeFs7kX0gINp46zmPs3b0poH/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/1j1ydDvApHeFs7kX0gINp46zmPs3b0poH/view?usp=drive_link)
  8. [https://drive.google.com/file/d/1RtYFAxjrLn965v8yBbAACFGUq0K0oL0\\_/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/1RtYFAxjrLn965v8yBbAACFGUq0K0oL0_/view?usp=drive_link)
  9. [https://drive.google.com/file/d/1sW0yQl2\\_1hCPxR7HvABQgYIpJgqwDfoe/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/1sW0yQl2_1hCPxR7HvABQgYIpJgqwDfoe/view?usp=drive_link)
  10. [https://drive.google.com/file/d/14ecnKJbdDy4sfq6GMUF9VUxt5MmQKHh1/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/14ecnKJbdDy4sfq6GMUF9VUxt5MmQKHh1/view?usp=drive_link)
  11. <https://drive.google.com/file/d/1GmPbSCDMFKL6dXxmNFT6Jb8FbqCcfiAr/view?usp=sharing>
  12. <https://goldbook.iupac.org/>

## **TEMA 2. INTERFASES FLUIDAS. DISOLUCIONES DE AGENTES CON ACTIVIDAD SUPERFICIAL.**

1. ¿Qué características presenta una molécula anfifílica?
2. ¿Qué es un tensoactivo?
3. Clasificación y aplicaciones de los tensoactivos
4. ¿Qué es la CMC de un tensoactivo y como se determina?
5. ¿Cómo se modifica la CMC por el cambio de la parte hidrofílica o hidrofóbica?
6. Ecuación de adsorción de Gibbs.
7. ¿Cómo se determina la concentración de saturación a partir de la ecuación de adsorción de Gibbs?
8. ¿Cómo se determina la energía libre de Gibbs de micelización?

---

## Bibliografía

1. Adamson, A. W. (1998). Physical chemistry of surfaces. John Wiley and Sons.
2. Alanis-García, M. A., & Gracia-Fadrique, J. (2018). Ecuación de estado superficial de Volmer líquidos simples y tensoactivos. *Educación Química*, 29(2), 36. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2018.1.63704>
3. Kronberg, B., Holmberg, K., & Lindman, B. (2014). Surface Chemistry of Surfactants and Polymers. Wiley.
4. Rosen, M. J. & Kunjappu, T. (2012). Surfactants and interfacial phenomena. Wiley-interscience Publication.
5. Sandoval-Ibarra, F. D., López-Cervantes, J. L., & Gracia-Fadrique, J. (2015). Ecuación de Langmuir en líquidos simples y tensoactivos. *Educación Química*, 26(4), 307-313. <https://doi.org/10.1016/j.eq.2015.03.002>
6. Tadros, T. F. (2013). Encyclopedia of Colloid and Interface Science. En Springer eBooks
7. Torres, A. M. N., & Fadrique, J. G. (2018a). Concentración micelar crítica mediante la ecuación de adsorción de Gibbs. *Educación Química*, 16(1), 63. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2005.1.66139>
8. Torres, A. M. N., & Fadrique, J. G. (2018b). Idealidad en superficies fluidas. *Educación Química*, 14(4), 220.

### Enlace a los videos sobre el tema:

1. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2003.4.66229>
2. [https://drive.google.com/file/d/1khEHGLYS4N2HLHKMH6sHTn0TLaZPwFlV/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/1khEHGLYS4N2HLHKMH6sHTn0TLaZPwFlV/view?usp=drive_link)
3. [https://drive.google.com/file/d/1tC2RwSMi-5He0IHcmFApxEG5GflNy9Zg/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/1tC2RwSMi-5He0IHcmFApxEG5GflNy9Zg/view?usp=drive_link)
4. [https://drive.google.com/file/d/1mlJkC0koMnnCUk3-N2HKqrzdpn6b9sio/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/1mlJkC0koMnnCUk3-N2HKqrzdpn6b9sio/view?usp=drive_link)

---

### TEMA 3. INTERFASES SÓLIDO /LÍQUIDO Y SÓLIDO/GAS

1. ¿Qué es el ángulo de contacto?
2. ¿De qué depende el ángulo de contacto? Ecuación de Dupré.
3. ¿Cuál es el valor de ángulo de contacto para considerar que un líquido moja, moja parcialmente y no moja?
4. ¿Qué es el trabajo de adhesión y el trabajo de cohesión?
5. ¿Qué es el coeficiente de extensión entre dos líquidos inmiscible y como se determina?
6. ¿Qué es la tensión crítica de mojado?
7. ¿Qué es adsorción y absorción?
8. ¿Cuál es la diferencia entre una adsorción física y una adsorción química?
9. ¿Cuáles son los postulados de la isoterma de Lagmuir?

#### Bibliografía

1. Tadros, T. F. (2013). Encyclopedia of Colloid and Interface Science. En Springer eBooks
2. Adamson, A. W. (1998). Physical chemistry of surfaces. John Wiley and Sons.
3. V Kronberg, B., Holmberg, K., Lindman, B. (2014). Surface Chemistry of Surfactants and Polymers. Wiley.
4. Rosen, M. J. Kunjappu, T. (2012). Surfactants and interfacial phenomena. Wiley-interscience Publication.

#### Enlace a los videos sobre el tema:

1. <https://youtu.be/03fYQcAnswc?feature=shared>
2. <https://youtu.be/yNzzPIk67fo?feature=shared>

---

## TEMA 4. SISTEMAS DISPERSOS

1. ¿Qué es un sistema disperso?
2. ¿Cómo se clasifican de acuerdo con la naturaleza de las fases?
3. ¿Cuáles son sus propiedades físicas, cinética y reológicas?
4. ¿Por qué son termodinámicamente inestables?
5. ¿Qué es una emulsión? ¿Cómo se clasifican?
6. Mecanismos de segregación de emulsiones
7. Tipos de emulsificantes
8. ¿Qué es el HLB de un tensoactivo?
9. ¿Cuál es su importancia en la fabricación de una emulsión?

### Bibliografía

1. Hunter, R. J. (1987). Foundations of Colloid Science. Oxford.
2. Kronberg, B., Holmberg, K., & Lindman, B. (2014). Surface Chemistry of Surfactants and Polymers. Wiley.
3. Morrison, I. D., & Ross, S. (2002). Colloidal Dispersions: Suspensions, Emulsions, and Foams. Wiley-Interscience.
4. Morrison, I. D., & Ross, S. (2002b). Colloidal Dispersions: Suspensions, Emulsions, and Foams. Wiley-Interscience.
5. Rosen, M. J. & Kunjappu, T. (2012). Surfactants and interfacial phenomena. Wiley-interscience Publication.
6. Tadros, T. F. (2013). Encyclopedia of Colloid and Interface Science. En Springer eBooks

### Enlace a los videos sobre el tema:

1. [https://drive.google.com/file/d/1jYvdJP18cteyGQRZ11QLJ-jDIz44ejXj/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/1jYvdJP18cteyGQRZ11QLJ-jDIz44ejXj/view?usp=drive_link)

---

## EJERCICIOS RESUELTOS

A continuación se muestran algunos ejemplos de ejercicios y su resolución. Estos ejercicios muestran el nivel de los problemas a resolver en los exámenes extraordinarios. En los textos recomendados, puedes encontrar otros problemas que pueden apoyar tu preparación.

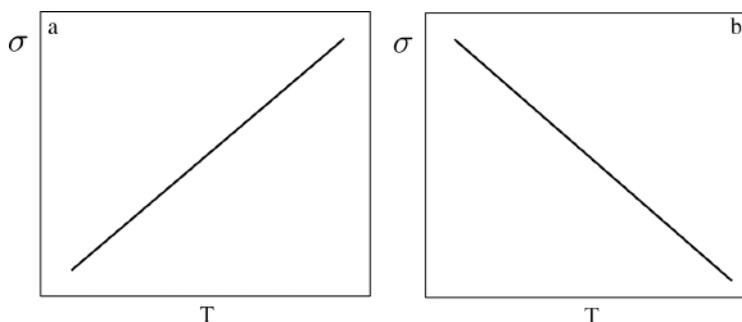
1. Ordene de mayor a menor los valores de tensión superficial del pentano, pentanol, ácido pentanoico, agua y mercurio.

**Solución:**

La tensión superficial depende de las fuerzas intermoleculares atractivas. En los alcanos la fuerza intermoleculares dominantes es la fuerzas de dispersión de London, en los alcoholes son las fuerzas de dispersión de London y los puentes de hidrógeno, en los ácidos carboxílicos son las fuerzas de dispersión de London y los puentes de hidrógeno, pero a diferencia de los alcoholes, los ácidos carboxílicos pueden formar un puente de hidrógeno más. En el agua la fuerza intermolecular dominante son los puentes de hidrógeno, alrededor de tres puentes de hidrógeno, y en el mercurio la fuerzas intermoleculares son los enlaces metálicos. Por tanto la respuesta es:

$$\text{mercurio} > \text{agua} > \text{ácido pentanoico} > \text{pentanol} > \text{pentano}$$

2. En la siguiente gráfica se muestran dos comportamientos de la tensión superficial en función de la temperatura. ¿Cuál de los dos comportamientos es el frecuentemente mostrado en la interfases líquido vapor?



**Solución:** La respuesta es b, se espera que la tensión superficial disminuya con el incremento de la temperatura.

3. Para una sustancia pura la tensión superficial en función de la temperatura sigue el siguiente comportamiento  $\sigma = 20 - 1.1T + 0.0001T^2$  donde  $\sigma$  es la tensión superficial en [mN/m] y  $T$  es la temperatura en K. Determine la entropía de superficie por unidad de área a 298.15 K.

---

**Solución:**

La entropía de superficie por unidad de área se puede determinar de la siguiente forma:

$$S^{**} = -\frac{d\sigma}{dT}$$

Por lo tanto, es necesario derivar la expresión de la tensión superficial en función de la temperatura.

$$S^{**} = -\frac{d\sigma}{dT} = -\frac{d}{dT} (20 - 1.1T + 0.0001T^2) = 1.1 - 2(0.0001)T$$

sustituyendo valores:

$$S^{**} = 1.1 + 2(0.0001)(298.15) = 1.16 \text{ mN m}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

4. Determine el trabajo de superficie cuando el área de una superficie de líquido aumenta de  $10 \text{ cm}^2$  a  $20 \text{ cm}^2$ . La tensión superficial del líquido a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  es  $61.8 \text{ mN/m}$ . El resultado debe estar en erg.

**Solución:** Para determinar el trabajo de superficie se debe considerar la siguiente ecuación:

$$W_{\text{superficie}} = \sigma \Delta a$$

Para resolver este problema es importante recordar el factor de conversión.

$$\sigma = 61.8 \frac{\text{mN}}{\text{m}} \times \frac{1 \text{ erg cm}^{-2}}{1 \text{ mN m}^{-1}} = 61.8 \frac{\text{erg}}{\text{cm}^2}$$

Por lo tanto el trabajo de superficie es:

$$W_{\text{superficie}} = 61.8 \frac{\text{erg}}{\text{cm}^2} \times (20 - 10) \text{ cm}^2 = 618 \text{ erg}$$

5. Determine la tensión superficial o interfacial entre el xileno y el aire, si la masa de líquido levantada por el anillo es  $0.3879 \text{ [g]}$ .

Geometría del anillo y datos del sistema		
$P =$	5.992	[cm]
$R/r =$	53.6	adimensional
$g =$	977.9416	[cm/s <sup>2</sup> ]
$T =$	25	[°C]
$\rho_{\text{xileno}} =$	0.8660	[g/cm <sup>3</sup> ]
$\rho_{\text{aire}} =$	0.0013	[g/cm <sup>3</sup> ]

---

**Solución:**

**Paso 1** Se calcula el radio del anillo con el perímetro:

$$P = 2\pi R = 5.992 \text{ [cm]}$$
$$R = \frac{5.992 \text{ [cm]}}{2 \times 3.141516} = 0.9537 \text{ [cm]}$$

**Paso 2** Calculamos el valor de la tensión superficial sin considerar el factor de corrección:

$$\sigma = \frac{mg}{4\pi R}$$
$$\sigma = \frac{0.3879 \text{ [g]} \times 977.9416 \text{ [cm s}^{-2}\text{]}}{4 \times 3.141516 \times 0.954 \text{ [cm]}} = 31.65 \text{ [g s}^{-2}\text{]}$$

**Paso 2** Calculamos el valor de la tensión superficial sin considerar el factor de corrección:

$$\sigma = 31.65 \text{ [g s}^{-2}\text{]} = 31.65 \frac{\text{g cm}}{\text{cm s}^2} = 31.65 \frac{\text{dina}}{\text{cm}}$$

Considerando los siguientes factores de conversión:

$$1 \text{ dina} = 10^{-5} \text{ N} \quad , \quad 1 \text{ N} = 1000 \text{ mN} \quad \text{y} \quad 100 \text{ cm} = 1 \text{ m}$$

$$\sigma = 31.65 \frac{\text{dina}}{\text{cm}} \times \frac{10^{-5} \text{ N}}{1 \text{ dina}} \times \frac{1000 \text{ mN}}{1 \text{ N}} \times \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} = 31.65 \frac{\text{mN}}{\text{m}}$$

**Paso 3** Determinar el valor de factor de corrección con la ecuación Zuidema y Watters:

$$F = a + \sqrt{\frac{bg}{\pi^3} \left( \frac{V}{R^3} \right) + 0.04534 - 1.679 \left( \frac{r}{R} \right)}$$

donde  $a = 0.7250$  y  $b = 0.0009075 \text{ s}^2 \text{ cm}^{-1}$ , por lo que se requiere determinar  $V/R^3$ . El volumen se determina con la masa del líquido levantado:

$$V = \frac{m}{\Delta\rho}$$

es necesario considerar el  $\Delta\rho = \rho_{xileno} - \rho_{aire}$  para toma en cuenta el efecto de flotación:

$$V = \frac{0.3879 \text{ g}}{(0.8660 - 0.0013) \text{ [g cm}^{-3}\text{]}} = 0.4486 \text{ [cm}^3\text{]}$$

---

**Paso 3** Determinar el valor de factor de corrección:

$$\frac{V}{R^3} = \frac{0.4486 \text{ cm}^3}{0.954^3 [\text{cm}^3]} = 0.5172$$

$$\frac{bg}{\pi^3} \left( \frac{V}{R^3} \right) = \frac{0.0009075 \frac{\text{s}^2}{\text{cm}} \times 977.9416 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}}{(3.141516)^3} \times 0.5172 = 0.01480229$$

como  $R/r = 53.6$

$$\frac{bg}{\pi^3} \left( \frac{V}{R^3} \right) + 0.04534 - 1.679 \left( \frac{r}{R} \right) = 0.01480229 + 0.04534 - 1.679/53.6$$

$$\frac{bg}{\pi^3} \left( \frac{V}{R^3} \right) + 0.04534 - 1.679 \left( \frac{r}{R} \right) = 0.02881766$$

**Paso 3** Determinar el valor de factor de corrección con la ecuación de Zuidema-Waters

$$\frac{bg}{\pi^3} \left( \frac{V}{R^3} \right) + 0.04534 - 1.679 \left( \frac{r}{R} \right) = 0.02881766$$

$$F = a + \sqrt{\frac{bg}{\pi^3} \left( \frac{V}{R^3} \right) + 0.04534 - 1.679 \left( \frac{r}{R} \right)}$$

donde  $a = 0.7250$

$$F = 0.7250 + \sqrt{0.02881766} = 0.8948$$

**Paso 4** Se determina el valor de la tensión interfacial xileno-aire corregido:

$$\sigma = \frac{mg}{4\pi R} \times F = 31.65 \times 0.8948 = 28.32 \frac{\text{mN}}{\text{m}}$$

$$\sigma = 28.32 \frac{\text{mN}}{\text{m}}$$

- 
6. Determinar la tensión superficial de xileno mediante el método de volumen de gota con los datos mostrados en la siguiente tabla.

Datos del sistema		
V (total)	1.50	[cm <sup>3</sup> ]
Número de gotas	21	adimensional
Radio del capilar	0.25	[cm]
$g =$	977.9416	[cm/s <sup>2</sup> ]
$T =$	25	[°C]
$\rho_{xileno} =$	0.8660	[g/cm <sup>3</sup> ]
$\rho_{aire} =$	0.0013	[g/cm <sup>3</sup> ]

Considerar como factor de corrección la siguiente expresión.

$$F = 0.6 + 0.4 \left(1 - \frac{r}{V^{1/3}}\right)^3$$

### Solución

Para determinar la tensión superficial por el método de volumen de gota es necesario considerar la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{V \Delta \rho g}{2\pi r} F \quad (1)$$

Esta ecuación resulta del balance de fuerzas entre la tensión superficial y el peso de la gota.  $V$  es el volumen de la gota, para calcularlo, dividimos el volumen total entre el número de gotas:

$$V = \frac{1.50 \text{ cm}^3}{21} = 0.07142 \text{ cm}^3$$

El valor de  $\Delta\rho$  corresponde a la diferencia de densidad de la fase de mayor densidad menos la fase con menor densidad:

$$\Delta\rho = \rho_{xileno} - \rho_{aire} = 0.8660 \text{ g cm}^{-3} - 0.0013 \text{ g cm}^{-3} = 0.8647 \text{ g cm}^{-3}$$

$g$  es la gravedad y  $r$  es el radio de capilar.  $F$  corresponde al factor de corrección debido a que durante el proceso de caída de la gota, parte de la gota queda adherida al capilar. Para determinar el factor de corrección se sustituyen los valores en la ecuación indicada:

$$F = 0.6 + 0.4 \left(1 - \frac{0.25 \text{ cm}}{(0.07142 \text{ cm}^3)^{1/3}}\right)^3 = 0.6251$$

---

Ahora se sustituyen los datos en la ecuación:

$$\sigma = \frac{V\Delta\rho g}{2\pi r} \times F$$

$$\sigma = \frac{(0.07142 \text{ cm}^3) (0.8647 \text{ g cm}^{-3}) (977.9416 \text{ cm s}^{-2})}{2\pi (0.25 \text{ cm})} \times 0.6251$$

Tensión no corregida

$$\sigma = 38.5 \frac{\text{mN}}{\text{m}}$$

Factor de corrección

$$F = 0.6251$$

Tensión corregida

$$\sigma = 24.1 \frac{\text{mN}}{\text{m}}$$

7. Determine la tensión interfacial agua-aire a 25 °C y 1 atm mediante el método de ascenso capilar con los siguientes datos

Datos del sistema		
h (ascenso capilar)	14.7	[mm]
d (diámetro interno del capilar)	0.200	mm
$g =$	977.9416	[cm/s <sup>2</sup> ]
$T =$	25	[°C]
$\rho_{\text{agua}} =$	0.997	[g/cm <sup>3</sup> ]
$\rho_{\text{aire}} =$	0.0013	[g/cm <sup>3</sup> ]

Para este problema considerar que se presenta un mojado total entre el líquido y la superficie de vidrio que forma el capilar. No considere el peso del menisco.

**Solución:**

Para determinar la tensión superficial por ascenso capilar es necesario emplear la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{(\rho_{\text{agua}} - \rho_{\text{aire}})ghr_{\text{cap}}}{2} \quad (2)$$

---

Se determinará la diferencia de densidades:

$$\rho_{\text{agua}} - \rho_{\text{aire}} = 0.977 - 0.001 = 0.996 \text{ g cm}^{-3}$$

Se determina el radio del capilar mediante el diámetro del capilar y se cambian las unidades a cm:

$$r_{\text{cap}} = \frac{0.200 \text{ mm}}{2} \times \frac{1 \text{ cm}}{10 \text{ mm}} = 0.0100 \text{ cm}$$

Sustituyendo en la ecuación 2:

$$\sigma = \frac{0.996 \text{ g cm}^{-3} \times 977.9416 \text{ cm s}^{-2} \times 14.7 \text{ cm} \times 0.0100 \text{ cm}}{2}$$

$$\sigma = 71.59 \text{ g s}^{-2} = 71.59 \frac{\text{g cm}}{\text{cm s}^2} = 71.59 \frac{\text{dina}}{\text{cm}} = 71.59 \frac{\text{mN}}{\text{m}}$$

8. La presión superficial de un anfifilo en disolución puede ser representada por la siguiente ecuación:

$$\pi = 10 \ln(1 + 600x)$$

donde  $\pi$  es la presión superficial en mN/m y  $x$  corresponde a la fracción molar del anfifilo. Determine el área mínima de superficie, la fracción de espacios ocupados y la energía estándar de adsorción.

**Solución:**

Para resolver el problema es importante identificar la ecuación de estado superficial de Langmuir:

$$\pi = \Gamma_s RT \ln(1 + \beta x)$$

de donde se puede concluir que  $\Gamma_s RT = 10 \text{ mN/m}$  y  $\beta = 600$  (adimensional). Además el área mínima de superficie  $A_m$  se puede calcular con:

$$A_m = \frac{1}{\Gamma_s}$$

por tanto,

$$A_m = \frac{RT}{\Gamma_s RT} = \frac{(8.314 \text{ N m mol}^{-1} \text{ K}^{-1})(298.15 \text{ K})}{(10 \text{ mN m}^{-1}) \left(\frac{1 \text{ N}}{1000 \text{ mN}}\right)} = 247889 \text{ m}^2 \text{ mol}^{-1}$$

Este resultado se puede expresar en unidades de  $\text{\AA}^2/\text{molécula}$ :

$$A_m = \left(247889 \frac{\text{m}^2}{\text{mol}}\right) \times \left(\frac{10^{-10} \text{ \AA}}{1 \text{ m}}\right)^2 \times \left(\frac{1 \text{ mol}}{6.023 \times 10^{23} \text{ molécula}}\right) = 41.15 \frac{\text{\AA}^2}{\text{molécula}}$$

---

Para determinar la fracción de espacios ocupados es necesario emplear la isoterma de adsorción de Langmuir:

$$\theta = \frac{\beta x}{1 + \beta x} = \frac{600 \times x}{1 + 600 \times x} = 0.996$$

Para determinar la energía estándar de adsorción se usa la siguiente ecuación:

$$-\frac{\Delta G_{\text{ad}}}{RT} = \ln(\beta \Gamma_s RT) = \ln\left(\frac{600 \times 10 \text{mN/m}}{1 \text{mN/m}}\right) = 8.699$$

9. El comportamiento de la presión superficial en función de la fracción molar de un tensoactivo puede ser representada por la siguiente ecuación:

$$\pi = 100 + 10 \ln x$$

donde  $\pi$  es la presión superficial en mN/m y  $x$  corresponde a la fracción molar del tensoactivo. La presión superficial a saturación o máxima es 40 mN/m a 25 °C. Determine la concentración micelar crítica (fracción molar) y la energía de Gibbs de micelización.

**Solución:**

Para resolver este problema es necesario considerar la ecuación de Gibbs integrada.

$$\pi = \pi_m - \Gamma_s RT \ln x_{\text{cmc}} + \Gamma_s RT \ln x$$

de donde se puede concluir que:

$$\pi_m - \Gamma_s RT \ln x_{\text{cmc}} = 100 \text{ mN/m} \quad (3)$$

y

$$\Gamma_s RT = 10 \text{ mN/m}$$

de la ecuación 3 se despeja  $\ln x_{\text{cmc}}$ :

$$\ln x_{\text{cmc}} = \frac{40 \text{ mN/m} - 100 \text{ mN/m}}{10 \text{ mN/m}} = -6.0$$

y por tanto  $x_{\text{cmc}} = 2.48 \times 10^{-4}$ .

Para determinar la energía estándar de micelización usamos la siguiente ecuación:

$$\frac{\Delta G_{\text{mic}}}{RT} = \ln x_{\text{cmc}} = -6.0$$

---

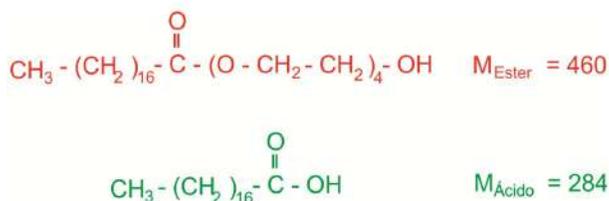
10. Determine el HLB del tetraetilenglicol mono estearato. ¿Es soluble en agua?

**Solución:** Para determinar el valor de HLB debemos recurrir a la siguiente ecuación:

$$\text{HLB} = 20 \left[ \frac{M_{\text{éster}} - M_{\text{ácido}}}{M_{\text{éster}}} \right]$$

donde  $M_{\text{éster}}$  y  $M_{\text{ácido}}$  corresponde a las masas moleculares del éster y del ácido, respectivamente.

En el caso del tetraetilenglicol mono estearato, las masas moleculares son:



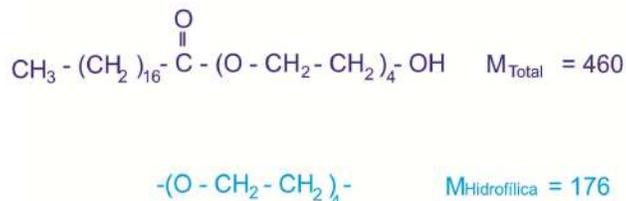
Por lo tanto el HLB es:

$$\text{HLB} = 20 \left[ \frac{460 - 284}{460} \right] = 7.65$$

Sin embargo, también es posible calcular este valor de HLB con la siguiente ecuación:

$$\text{HLB} = 20 \left[ \frac{M_{\text{hidrofilica}}}{M_{\text{total}}} \right]$$

Para el caso del tetraetilenglicol mono estearato, las masas moleculares bajo este esquema son:

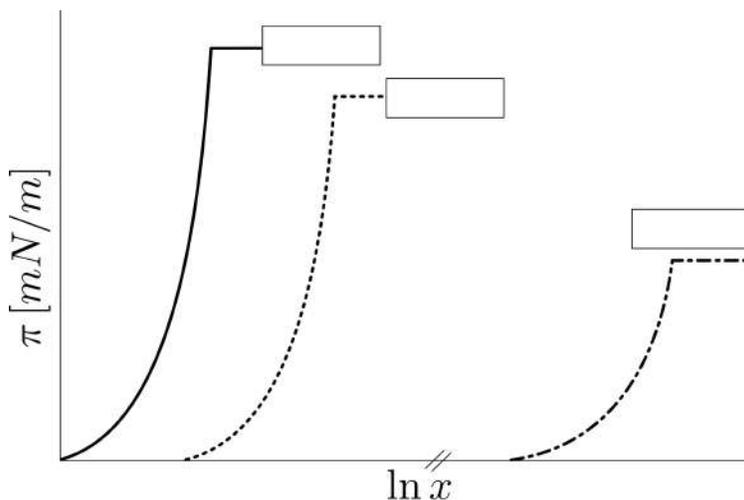


sustituyendo valores:

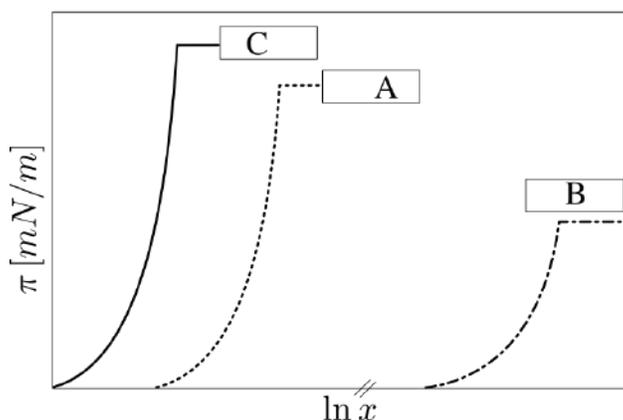
$$\text{HLB} = 20 \left[ \frac{176}{460} \right] = 7.65$$

Debido a que el HLB es menor a la unidad este tensoactivo es insoluble en agua.

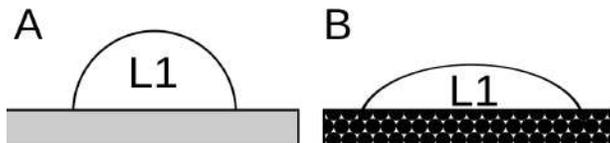
11. La siguiente figura muestra el comportamiento de la presión superficial en función del logaritmo natural de la fracción mol de tres tensoactivos,  $A=C_8E_4$ ,  $B=C_8E_4SO_3Na$  y  $C= C_9E_4$  en disolución acuosa a  $25^\circ C$ . Asigne a cada curva de la Figura un tensoactivo y explique su respuesta.



**Solución:** La respuesta está relacionada con la solubilidad de los tensoactivos en solución acuosa. A mayor solubilidad, mayor es la concentración micelar crítica (CMC). En general, los tensoactivos iónicos son más solubles que los no iónicos, por lo que tienen una CMC más alta. Entre los tensoactivos no iónicos, al aumentar el número de carbonos, la solubilidad disminuye y, en consecuencia, también disminuye la CMC.



12. A partir de la ecuación de Young-Dupré ordene los siguientes sistemas solido-liquido de acuerdo al trabajo de adhesión que presentan, nota: el líquido es el mismo en todos los dos casos.

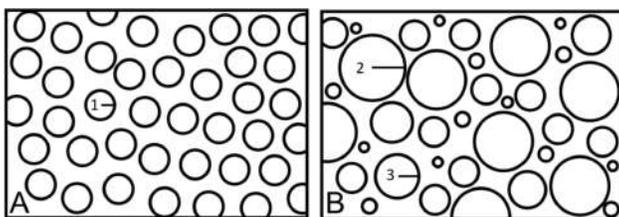


**Solución:** La ecuación de Young-Dupré indica que:

$$W_{\text{adh, SL}} = \sigma_{\text{LV}} (1 + \cos \theta)$$

Por lo tanto, cuando el ángulo de contacto,  $\theta$ , disminuye el  $\cos \theta$  aumenta y el trabajo de cohesión también aumenta. Por lo tanto, en el sistema B, la adhesión es mayor que en el sistema A.

13. La siguiente figura muestra dos emulsiones (A y B). a) ¿Cuál emulsión es más estable mecánicamente? b) Ordene de mayor a menor a las gotas señaladas en la siguiente figura de acuerdo a su presión interna.



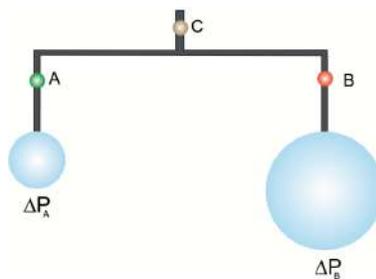
**Solución:** Para resolver este problema se debe tener presente la ecuación de Young-Laplace-Gauss para una geometría esférica:

$$\Delta P = \frac{2\sigma}{r}$$

Donde  $\Delta P$  es la diferencia de presión interna y externa de una gota,  $\sigma$  es la tensión superficial y  $r$  es el radio de la gota.

La diferencia de presión depende del tamaño de la gota: a medida que el tamaño de la gota disminuye, la diferencia de presión aumenta. Cuando dos gotas de diferente tamaño entran en contacto, la gota más pequeña, con mayor diferencia de presión, genera un flujo de material hacia la gota más grande.

La emulsión A y la emulsión B difieren en la distribución del tamaño de sus gotas. En la emulsión A, las gotas son homogéneas en tamaño, mientras que en la emulsión B



hay gotas de diferentes tamaños. Esta variación en la emulsión B provoca un flujo de material de las gotas pequeñas hacia las grandes, lo que inicia un proceso de coalescencia y conduce a la eventual separación de la emulsión. Por tanto, la emulsión A, es la más estable.

En relación a la pregunta: *Ordene de mayor a menor a las gotas señaladas en la siguiente figura de acuerdo a su presión interna*, se debe tener en cuenta la relación inversa entre la diferencia de presiones y el tamaño de las gotas. La gota de mayor tamaño es la 2, sigue la 3 y la más pequeña es la 1, por tanto la diferencia de presiones es:  $\Delta P_1 > \Delta P_3 > \Delta P_2$ .

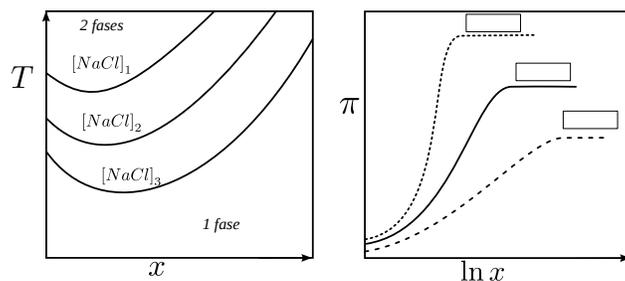
14. En una familia homologa de alcoholes lineales la  $-\Delta G_{ad}^o$  sigue un comportamiento lineal de la forma:

$$-\Delta G_{ad}^o = A + Bn$$

donde  $n$  es el número de carbonos del anfífilo. a) ¿Cuál es el sentido físico de  $-\Delta G_{ad}^o$ ? b) ¿Cuál es la interpretación de la pendiente,  $B$ ?

**Solución:**

- a) La  $-\Delta G_{ad}^o$  es el negativo de la energía estándar de adsorción. Este parámetro indica la tendencia del anfífilo a adsorberse, entre mayor sea este parámetro mayor será la tendencia a la adsorción.
- b) La pendiente indica la contribución del grupo  $\text{CH}_2$  en el alcohol a la tendencia a la adsorción.
15. En la siguiente figura se muestra el diagrama de fases  $T - x$  y el comportamiento de la presión superficial en función del logaritmo natural de la composición para un tensoactivo en disolución acuosa a tres diferentes concentraciones de electrolitos  $[\text{NaCl}]_1$ ,  $[\text{NaCl}]_2$  y  $[\text{NaCl}]_3$ . Ordene de mayor a menor la concentración de electrolito e indíquelo en la gráfica de  $\pi - \ln x$ . Explique su respuesta.



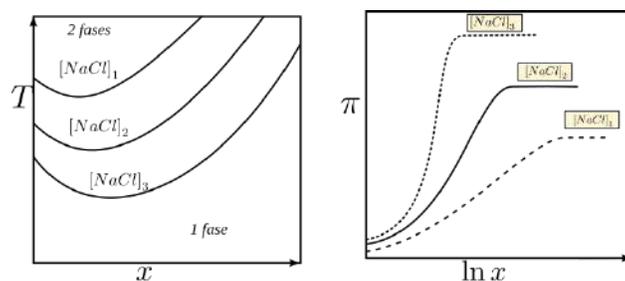
**Solución:** La gráfica de  $T - x$  muestra la solubilidad del tensoactivo en función de la temperatura. Por encima de esta curva, el sistema es insoluble y presenta dos fases. Por debajo de la curva, el sistema es soluble y consta de una sola fase.

La adición de electrolito promueve la insolubilidad del tensoactivo: a medida que se aumenta la concentración de electrolito, la temperatura a la que ocurre la separación en dos fases disminuye. Así, a mayor concentración de electrolitos, menor es la temperatura necesaria para la segregación en dos fases.

El orden en la concentración de electrolitos es el siguiente:

$$[\text{NaCl}]_3 > [\text{NaCl}]_2 > [\text{NaCl}]_1$$

El aumento de la insolubilidad provocado por la adición de electrolito incrementa la actividad superficial. Esto se refleja en un aumento de la presión superficial y una disminución de la concentración micelar crítica.



16. La tensión superficial del agua al 20 °C es 72.75 mN/m. A esta misma temperatura, una disolución de etanol al 33.24 % en volumen tienen una tensión superficial de 33.24 mN/m. Las diferencias de densidades del agua y de la disolución a 20 °C son 0.9982 g cm<sup>-3</sup> y 0.9614 g cm<sup>-3</sup>, respectivamente. ¿Cual es el porcentaje de ascenso de la disolución en relación con el agua en un capilar de idéntico radio?

**Solución:** Para resolver este problema es necesario recordar la ecuación de ascenso capilar suponiendo mojado total y no se considerará el peso del menisco. Escrita para

---

el agua:

$$\sigma_A = \frac{\Delta\rho_A g h_A r_{\text{cap}}}{2}$$

y para la disolución:

$$\sigma_D = \frac{\Delta\rho_D g h_D r_{\text{cap}}}{2}$$

Estas ecuaciones se pueden acomodar de forma que del derecho de la ecuación se encuentren propiedades del capilar y de lado izquierdo propiedades del líquido o disolución: Para el agua:

$$\frac{\sigma_A}{h_A \Delta\rho_A} = \frac{g r_{\text{cap}}}{2}$$

y para disolución:

$$\frac{\sigma_D}{h_D \Delta\rho_D} = \frac{g r_{\text{cap}}}{2}$$

Como se trata del mismo capilar, es posible igualar ambas ecuaciones, de esta forma se obtiene:

$$\frac{\sigma_A}{h_A \Delta\rho_A} = \frac{\sigma_D}{h_D \Delta\rho_D}$$

de donde se puede despejar el cociente de las alturas:

$$\frac{h_D}{h_A} = \left( \frac{\sigma_D}{\sigma_A} \right) \left( \frac{\Delta\rho_A}{\Delta\rho_D} \right)$$

sustituyendo valores:

$$\frac{h_D}{h_A} = \left( \frac{33.24}{72.75} \right) \left( \frac{0.9982}{0.9614} \right) = 0.474$$

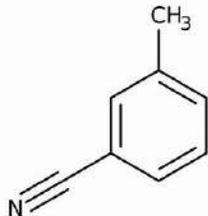
Por lo tanto, la altura del ascenso capilar de la disolución será 47.4 % la altura del ascenso capilar del agua.

17. Estima la tensión superficial y el paracoro del tolunitrilo ( $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{CN}$ ). La diferencia de densidad es  $0.985 \text{ g cm}^{-3}$ . Considere que el paracoro del C, H, N, doble enlace, triple enlace y un anillo de seis miembros son: 4.8, 17.1, 12.5, 23.2, 46.6 y 6.1, respectivamente.

**Solución:** El paracoro (P) del tolunitrilo con la suma de las contribuciones por grupo:

$$P = 8 \times P_C + 7 \times P_H + P_N + P_{\text{triple enlace}} + P_{\text{anillo de seis miembros}} + 3 \times P_{\text{doble enlace}}$$

$$P = 8 \times 4.8 + 7 \times 17.1 + 12.5 + 46.6 + 6.1 + 3 \times 23.2 = 292.9$$



De la expresión del paracoro se determina la tensión superficial:

$$\sigma = \left( \frac{P\Delta\rho}{M} \right)^4 = \left( \frac{298.9 \times 0.985}{117.14} \right)^4 = 36.6 \text{ mN/m}$$

18. Determine el porcentaje de incremento de la presión de vapor de una gota en relación a la presión de vapor en una superficie plana a 25 °C. El radio de la gota es 0.1 cm. A esta temperatura la tensión superficial del agua es 71.97 mN/m y la densidad es 0.9997044 g cm<sup>-3</sup>.

**Solución:**

La ecuación de Kelvin relaciona la presión de vapor de una superficie esférica en relación al presión de vapor de una superficie plana de la siguiente forma:

$$\ln \frac{P_{i,\text{esfera}}^s}{P_{i,\text{plana}}^s} = \frac{2\sigma M}{r\rho RT}$$

donde  $\sigma$ ,  $\rho$ ,  $M$  y  $r$  corresponde a la tensión superficial, densidad, masa molecular y radio de la gota esférica.

$$\ln \frac{P_{i,\text{esfera}}^s}{P_{i,\text{plana}}^s} = \frac{2 (71.97 \times 10^{-3} \text{ N m}^{-1}) (18.01 \text{ g mol}^{-1}) (10^{-3} \text{ kg g}^{-1})}{(1 \times 10^{-3} \text{ m}) (0.997044 \times \text{ kg m}^{-3}) (8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}) (298.15 \text{ K})} = 1.05 \times 10^{-6}$$

Por lo tanto el cociente  $\frac{P_{i,\text{esfera}}^s}{P_{i,\text{plana}}^s}$  es 1.000000105

19. Obtener el área por mol de una superficie ideal cuando la presión superficial es 10 mN/m a 25 °C.

**Solución:**

Para una superficie ideal se cumple que:

$$\pi A = RT$$

---

De donde se puede despejar el área:

$$A = \frac{RT}{\pi} = \frac{(9.3143 \times 10^7 \text{ erg mol}^{-1}\text{K})(298.15 \text{ K}^{-1})}{10 \text{ erg cm}^{-2}} = 2.479 \times 10^9 \text{ cm}^2 \text{ mol}^{-1}$$

20. Mediante la ecuación general de Young-Laplace-Gauss

$$\Delta P = \sigma \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

donde  $\sigma$  es la tensión superficial,  $R_1$  y  $R_2$  son los radios de curvatura y  $\Delta P$  es la diferencia de presiones. Obtener las ecuaciones correspondientes para una esfera, un cilindro, una superficie plana y un catenoide.

**Solución:**

- a) En una esfera  $R = R_1 = R_2$ , por tanto:  $\Delta P = \frac{2\sigma}{R}$
  - b) En un cilindro  $R_1 = R$  y  $R_2 \rightarrow \infty$ , por tanto:  $\Delta P = \frac{\sigma}{R}$
  - c) En una superficie plana  $R_1 = R_2 \rightarrow \infty$ , por tanto:  $\Delta P = 0$
  - d) En un catenoide  $R_1 = -R_2$ , por tanto,  $\Delta P = 0$
21. Si un líquido en un capilar en un capilar muestra un menisco plano, ¿cuál será la altura del ascenso capilar?

**Solución:**

Si la superficie es plana, de acuerdo con la ecuación de Young-Laplace-Gauss la diferencia de presión es cero y por tanto la altura será cero.

22. Un tensoactivo en disolución tiene la capacidad de desinfectar debido a que:

- a) Reacción química con la pared celular
- b) Diferencia en densidades con el medio
- c) Disminución de la tensión superficial

**Solución:** La respuesta correcta es la opción c, ya que el tensoactivo puede reducir la tensión superficial mediante el proceso de adsorción. Esta disminución de la tensión superficial favorece la solubilización de materiales orgánicos, en este caso, los fosfolípidos que componen la pared celular. Como resultado, se produce la destrucción de la bacteria.